

---

## **Guide pédagogique**

***Module ECOMAP 8.1 (5 crédits ECTS)***

Matières Métalliques et Minérales

---

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

Le module Matières Métalliques et Minérales a pour objectif de faire (re)découvrir au futur ingénieur les classes de matériaux pour lesquelles l'énergie de cohésion est élevée. Les différentes familles de matériaux inorganiques sont présentées : métaux et alliages, céramiques et verres, bétons, ainsi que les phases présentes à l'équilibre thermodynamique (au moyen des diagrammes de phase) et les transformations de phase qui ont lieu dans ces matériaux. A l'issue de ce module, le futur ingénieur aura une bonne connaissance et compréhension des propriétés de ces matériaux au regard de leur microstructure, leurs procédés et traitements établis pour les obtenir. Les problématiques de disponibilité des ressources et de réutilisation / recyclage seront également abordées.

---

## **Teaching guide and syllabus**

***Module ECOMAP 8.1 (5 ECTS credits)***

Inorganic and metallic materials

---

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

The purpose of the Inorganic and Metallic Materials module is to (re) discover for the future engineer the classes of materials for which the cohesion energy is high. The different families of inorganic materials are presented: metals and alloys, ceramics and glasses, concretes, as well as the phases present at thermodynamic equilibrium (using phase diagrams) and the phase transformations that take place in these materials. At the end of this module, the future engineer will have a good knowledge of the properties of these materials with regard to their microstructure, processes and treatments established to obtain them. The resource availability and reuse/recycling will also be discussed.

**Responsable : Aurélie TAGUET**

Téléphone : 04 66 78 56 87

Courriel : aurelie.taguet@mines-ales.fr

ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES	Volume horaire	Détail des coefficients	Crédits
<b>Matières métalliques et minérales</b>	<b>89</b>		
○ Diagrammes de phases, transformations de phases	26	3	<b>7</b>
○ Céramiques et Verres	20		
○ Bétons	21	2	
○ Métaux et alliages	14	2	
○ TP Métaux et bétons	8	1	
		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 :**

Diagrammes de phases et transformations de phases	
<b>Code : ECOMAP 8.1.1</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</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
24	26	24	0	0	0	2	6	3	

<b>Titre</b>	Diagrammes de phases et transformations de phases
<b>résumé</b>	Les diagrammes de phase et les mécanismes de transformation de phases sont décrits et expliqués afin de comprendre la structure établies lors des opérations d'élaboration et de mise en forme et les propriétés qui en découlent.

<b>Responsable</b>	Laurent FERRY
<b>Equipe enseignante</b>	Laurent FERRY (Transformations de phases) – C2MA – IMT Mines Alès Jean Charles BENEZET (Diagrammes de phases) – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Thermodynamique, diagrammes binaires, diagrammes ternaires, cinétique
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'Ingénieur, Thermodynamique

<b>Contexte et objectif général :</b> Lors des opérations d'élaboration et de mise en forme ou encore pendant leur utilisation, les matériaux sont soumis à des variations des conditions thermodynamiques (température et pression). Ces variations peuvent entraîner des changements dans l'organisation de la matière et donc modifier les propriétés des matériaux. Le diagramme de phases est un outil graphique qui représente l'état physique d'un système en fonction des variables T, P et des concentrations. Les transformations de phases désignent les mécanismes par lesquels les changements d'organisation dans la matière s'opèrent. La première partie du cours a pour objectif de présenter les aspects fondamentaux de l'équilibre entre phases dans un système, la construction et la lecture des diagrammes de phases unaires, binaires et ternaires, leur utilisation en ingénierie des matériaux. La seconde partie du cours a pour objectif de présenter les différents mécanismes de transformations de phases, d'établir un lien entre transformations de phases et microstructures des matériaux, de mettre en exergue l'enjeu technologique des transformations de phases.
<b>Programme et contenu :</b> <u>1- Diagrammes de phases</u>

1.1- Introduction sur les diagrammes de phases, origine thermodynamique, représentation
1.2- Etude de mélanges binaires
1.3- Etude de mélanges ternaires
<u>2- Transformations de phases</u>
2.1- Introduction aux transformations de phases : thermodynamique et cinétique
2.2- Germination - Croissance
2.3- Décomposition spinodale
2.4- Transformation martensitique
2.5- Transition vitreuse
2.6- Transformations du second ordre et phénomènes critiques
<b>Méthode et organisation pédagogique :</b> Cours magistraux contenant des exercices d'application (24 h)
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> Etre capable de lire et interpréter un diagramme de phase pour comprendre l'histoire thermodynamique d'un matériau. Comprendre et être capable d'appliquer les principes de base gouvernant les transformations de phases dans les matériaux métalliques, céramiques ou polymères de façon à pouvoir choisir des matériaux répondant à des spécifications particulières et maîtriser des procédés de transformation pour contrôler microstructure et propriétés des matériaux.
<b>Evaluation :</b> CE 2 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> </ul> Délais de correction des examens : 3 semaines
<b>Support pédagogique et références :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation Power Point</li> <li>• Fascicule de cours et d'exercices complétant la présentation</li> </ul>

**Matière 2 :**

Céramiques et verres	
<b>Code : ECOMAP 8.1.2</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</b>
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement : Département ECOMAP</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel évalué (oral + écrit)	Coef /module	ECTS
15,5	20	15,5	0	0	4	0,5	4	2	

<b>Organisation du module</b>	<i>Matière 2 s'organise en 2 blocs de volume horaire équivalent (10H chacun) :</i>
	Bloc 1 : Matériaux céramiques et Bloc 2 : Les verres

**Bloc 1 :**

<b>Titre</b>	Céramiques techniques
<b>Résumé</b>	Présentation des matériaux céramiques ( structures, microstructures, propriétés, formulation, consolidation, élaboration et mise en œuvre, disponibilité des ressources minérales et recyclage)

<b>Responsable</b>	Nathalie AZEMA
<b>Equipe enseignante</b>	Nathalie AZEMA

<b>Mots-clés</b>	Atomistique, structures et microstructures, ressources minérales, formulation, consolidation et frittage, procédés de mise en forme et mise en œuvre, propriétés, rupture fragile.
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'Ingénieur, diagramme et transformation de phases

<b>Contexte et objectif général :</b> Bien que matériau très ancien, les céramiques sont des matériaux présentant des caractéristiques et propriétés particulières notamment à hautes températures ce qui peut en faire des matériaux de choix, voire incontournables, dans de multiples applications technologiques.
--

L'objectif est de présenter leurs particularités et les éléments nécessaires à la compréhension de leurs structures, microstructures et propriétés, au choix des procédés de mise en forme et mise en œuvre. Les liens et impacts entre ces différents aspects seront mis en évidence ainsi qu'un focus sur les ressources minérales disponibles et le recyclage / réutilisation potentiel de cette classe de matériau.
<p><b>Programme et contenu :</b></p> <p>Module 1. - Présentation de l'organisation et des méthodes pédagogiques mises en place pour les cours céramiques et verres _Généralités et différentes structures des céramiques : Introduction et historique, céramiques silicatées, non silicatées à base d'oxydes, non oxydes.</p> <p>Module 2 – Ressources minérales – formulation – consolidation : minéraux industriels, spécificités des poudres céramiques, formulation des pâtes et suspensions, rôles des additifs, traitements thermiques et consolidation, frittage.</p> <p>Module 3 – Procédés de mise en œuvre et recyclage : procédés de mise en forme des pâtes, granules et suspensions, possibilité ou non de recyclage</p> <p>Module 4 – Microstructures et propriétés : structures et microstructures, influence sur les propriétés optiques, thermiques, mécaniques (rupture).</p>
<p><b>Méthode et organisation pédagogique :</b></p> <p>9h30 de cours structurées en 4 modules présentant quelques animations et exercices (wooclap) sur les fondamentaux qui serviront également de bases aux modules sur les verres. Ces fondamentaux et les aspects spécifiques aux matériaux céramiques seront évalués par un QCM de 30 minutes.</p>
<p><b>Acquis d'apprentissage visés :</b></p> <p>Connaissance de base sur les ressources minérales, les propriétés et modes d'élaboration des céramiques, ainsi que les éléments qui les impactent et les déterminent et conditionnent leur recyclage / réutilisation potentiel.</p>
<p><b>Evaluation : 30 min de qcm</b></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 de l'élève</li> </ul> <p>Délais de correction des examens : 3 semaines</p>
<p><b>Support pédagogique et références :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Présentation Power Point et un photocopié pour chacun des 4 modules</li> </ul>

**Bloc 2 :**

Verres	
<b>Code : ECOMAP 8.1.3</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</b>
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement : Département ECOMAP</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Classe inversée	Contrôles (restitutions orales + évaluation écrite)	Travail personnel	Coef /module	ECTS
10	10	6	0	0	4	1	4	1	

<b>Titre</b>	Verres
<b>Résumé</b>	Présentation des verres (structures et microstructures, propriétés et mise en œuvre des verres, recyclage)

<b>Responsable</b>	Nathalie AZEMA
<b>Equipe enseignante</b>	Nathalie AZEMA

<b>Mots-clés</b>	Etat vitreux, structures et microstructures, propriétés, recyclage, procédés d'élaboration
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'Ingénieur, diagrammes et transformations de phases

<b>Contexte et objectif général :</b>
Les verres sont des matériaux maîtrisés et utilisés par l'homme depuis des siècles et omniprésents. Ils restent encore aujourd'hui d'une très grande importance technologique et intéressent de nombreux secteurs industriels (emballage,

construction, automobile, énergie, aéronautique...). Si ces matériaux sont utilisés pour des applications de grande diffusion, ils font également l'objet de nouveaux développements pour des applications à haute valeur ajoutée (écrans, verres bio-actifs, photonique, confinement des déchets nucléaires...).

L'objectif de ce cours est de sensibiliser les futurs ingénieurs aux particularités et propriétés fonctionnelles de ces matériaux, aux procédés employés pour leur mise en forme et mise en œuvre en lien avec leurs structures, microstructures et caractéristiques spécifiques, ainsi qu'à la diversité de leurs applications dans notre société. Ce dernier aspect ainsi que la facilité de recyclage de ces matériaux seront abordés en fin de cours lors des 4H de classes inversées (travail de groupe comprenant une restitution orale à l'ensemble des élèves (notée) et une évaluation écrite des supports réalisés).

**Programme et contenu :**

Module 1. Qu'est-ce que le verre ? : les systèmes vitrifiables et leurs structures (généralités et origines, ordre et désordre, verres de silice, vitrification, focus sur la structure des verres de silice, formateurs et modificateurs de réseaux).

Module 2. Propriétés thermiques et mécaniques : Comme pour le module 3, aborder les principales propriétés comme la viscosité qui pourront être complétées dans la phase finale de classe inversée (Tg, Tf, masse volumique, dilatabilité, dureté, densification, viscosité, rupture et renforcement).

Module 3. Propriétés chimiques, optiques et de transport : immiscibilité, durabilité et altération, propriétés de surface, transparence, réfraction et réflexion, diffusion, diélectrique, conductivité thermique.

Module 4. Classe inversée : d'innombrables applications ! – Sur 5 thèmes précis relevant du domaine des verres : présentation de certains procédés de mise en œuvre et de mise en évidence des relations structures – propriétés – technologies verrières, développement durable.

3 objectifs sont visés :

\* Moyen de découvrir la diversité des applications relevant du domaine des verres et les aspects de recyclage.

\* Mettre en évidence et comprendre les liens entre la structure de ces matériaux, leurs propriétés et les procédés mis en œuvre dans ce domaine.

\* S'approprier les notions vues dans les 3 premières séances en les replaçant dans un contexte appliqué.

**Méthode et organisation pédagogique :**

Le cours est structuré en 4 modules qui se répartissent en 6h de cours (les principales notions sont données par le professeur – utilisation de Wooclap) et 4 H de classe inversée qui permettent une participation importante des élèves lors de cette dernière partie du cours effectuée en co-construction et conduisant à 5 mini cours de 10 min chacun réalisés par les élèves. Une salle projet permettant la réalisation de ce travail pédagogique est prévue, des articles et livres sont mis à disposition des élèves en séance par le professeur.

**Acquis d'apprentissage visés :**

Connaissance de base sur les structures et microstructures des verres et leurs influences sur les propriétés et procédés, ainsi que sur le recyclage de ces matériaux. La particulièrement grande diversité des applications sera également mise en évidence.

**Evaluation :** La note finale est composée de l'évaluation orale du mini cours de 10 min lors de la phase de restitution (/10) et de l'évaluation écrite du support de présentation (/10)

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

- Consultation des copies sur demande de l'élève

Délais de correction des examens : 3 semaines

**Support pédagogique et références :**

- Présentation Power Point et un polycopié pour chaque module seront disponibles sur campus

**Matière 4 :**

Bétons	
<b>Code : ECOMAP 8.1.4</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</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
19	21	19	0	0	0	2	6	2	

<b>Titre</b>	Bétons
<b>résumé</b>	Les bétons étudiés sont ceux couramment utilisés pour la structure (bétons de structures) et l'enveloppe (agro-bétons) des constructions. Le matériau béton est décrit comme un empilement granulaire dont les espaces intergranulaires sont remplis par une phase liante : la pâte de ciment durcie. Les mécanismes de durcissement (chimie du ciment) sont passés en revue. Une méthode de formulation basée sur l'optimisation des empilements granulaire est présentée. Fort de l'ensemble de ces connaissances une méthodologie pour formuler des bétons bas-carbone est proposée.

<b>Responsable</b>	Eric GARCIA-DIAZ – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Eric GARCIA-DIAZ – C2MA – IMT Mines Alès Gwenn LE SAOUT – C2MA – IMT Mines Alès Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Liants hydrauliques, éco-bétons, mécanisme d'hydratation, formulation, états frais et durcis
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'ingénieur

**Contexte et objectif général :**

Ce module est axé sur le matériau béton, matériau de construction le plus utilisé dans le monde. Il aborde les liants hydrauliques, en particulier le ciment ainsi que les granulats constituant de base des bétons puis le matériau béton lui-même. Une introduction aux éco-bétons sera également présentée. Le cours portera essentiellement sur:

- la chimie des matériaux cimentaires (ciments et matériaux de substitution) : donner aux élèves des notions de base permettant de comprendre les mécanismes d'hydratation, ses paramètres, ses conséquences sur le matériau durci et les problèmes de durabilité qui peuvent survenir,
- granulats et bétons : connaissance des règles de formulation et essais de caractérisation ou de contrôle inhérents à leur utilisation. Les propriétés étudiées sont celles relatives à l'état frais (affaissement et comportement rhéologique) et à l'état durcis (caractéristiques mécaniques et de transfert)
- éco béton : présentation de cette nouvelle famille de bétons : ressources utilisées, formulation et intérêt de ces bétons dans la régulation hygrothermique des bâtiments.

L'objectif est d'aborder la formulation des bétons à travers les constituants, la caractérisation des bétons et la normalisation.

**Programme et contenu :**

1. Les liants : composition, propriétés et spécificités, usages
2. Hydratation du ciment Portland, relation microstructure/ propriétés
3. Le béton : relation propriétés/ composition
4. La formulation du béton
5. Les éco bétons

**Méthode et organisation pédagogique :**

21h de cours

**Acquis d'apprentissage visés :**

Connaitre les bases de la chimie du ciment, Connaitre les grandes familles de bétons, leurs propriétés et leurs applications. Savoir formuler un béton de structure.

**Evaluation : 2h de EC****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 :**

- Présentation Power Point

Fascicule de cours et d'exercices complétant la présentation

**Matière 5 :**

Métaux et alliages	
<b>Code : ECOMAP 8.1.5</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</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
12	14	10	2	0	0	2	4	1	

<b>Titre</b>	Matériaux métalliques
<b>résumé</b>	En introduction sont présentés les données concernant la production des matériaux métalliques, les enjeux des ressources et de l'approvisionnement en matière première à l'échelle européenne et mondiale. Puis, les microstructures des matériaux métalliques obtenues à l'équilibre thermodynamique (diagrammes de phase) sont présentées. Et les méthodes de durcissement de ces alliages et leurs transformations de phase sont décrites au travers des diagrammes de transformation et des traitements thermiques

<b>Responsable</b>	Aurélie TAGUET – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Aurélie TAGUET – C2MA – IMT Mines Alès Mathieu BUGAUT – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Consommation et Ressources, diagrammes de phase, acier, fontes, diagrammes TTT, TRC et TCC, traitements thermiques
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'ingénieur

<p><b>Contexte et objectif général :</b> Les matériaux métalliques sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels (construction, transport, énergie...). Le cahier des charges de ces matériaux impose certaines propriétés qui dépendent fortement de la microstructure et donc de la mise en œuvre de ces matériaux. L'objectif du cours est (1) de comprendre les grands enjeux autour des matériaux métalliques (consommation, production, ressource, recyclage) et (2) de comprendre les microstructures obtenues à l'équilibre thermodynamique (diagrammes de phase) et hors équilibre (traitements thermo-mécaniques et transformation de phases).</p>
<p><b>Programme et contenu :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introduction (historique, contexte, consommation, recyclage)</li> <li>2. Rappels (liaisons, structure) – Notions de solutions solides</li> <li>3. Quels sont les propriétés intrinsèques aux métaux ?</li> <li>4. Les alliages ferreux à l'équilibre thermodynamique (aciers et fontes)</li> <li>5. Les traitements des métaux et alliages</li> <li>6. Diagrammes de transformation (TTT, TRC, TCC)</li> <li>7. Les alliages non ferreux</li> </ol>
<p><b>Méthode et organisation pédagogique :</b> 10h de cours (utilisation de Kahoot ou woodlap) et 2h de TD en présentiel et 2h de contrôle.</p>
<p><b>Acquis d'apprentissage visés :</b> Connaître les propriétés et applications des principales familles de métaux. Etre capable de lire et interpréter un diagramme de phases et de transformation de phases dans l'optique de maîtriser un procédé de transformation d'un matériau ou bien de comprendre l'histoire thermodynamique d'un matériau.</p>
<p><b>Evaluation :</b> 2h de contrôle écrit</p>
<p><b>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</b> Consultation des copies sur demande de l'élève Délais de correction des examens : 3 semaines</p>
<p><b>Support pédagogique et références :</b> Présentation Power Point Fascicule de cours et contrôles corrigés des années précédentes</p>

**Matière 6 :**

TP Métaux et bétons	
<b>Code : ECOMAP 8.1.6</b>	<b>Titre du module : Matières métalliques et minérales</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
8	8	0	0	8	2	0	4	1	

<b>Titre</b>	TP Métaux et bétons
<b>résumé</b>	Les cours bétons et matériaux et alliages sont illustrés par 2 travaux pratiques

<b>Responsable</b>	Gwenn LE SAOUT
<b>Equipe enseignante</b>	Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès Gwenn LE SAOUT– C2MA – IMT Mines Alès Jean Charles BENEZET – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Microstructure, micro-dureté
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'ingénieur

**Contexte et objectif général :**

TP Métaux : Le cahier des charges des matériaux métalliques utilisés dans l'industrie impose des propriétés mécaniques qui dépendent de la microstructure et donc de la composition (taux de Carbone) et du traitement thermique (trempe, par exemple).

Dans ce TP, des aciers de nuances et d'usage différents seront utilisés

TP Bétons :

Ce TP comprend 2 parties de 2h chacune

La première partie du TP porte sur la caractérisation de propriétés thermiques de différentes familles de bétons : béton traditionnel et agro-bétons. L'objectif est de voir l'influence de la formulation sur les propriétés isolantes de ces matériaux.

La seconde partie du TP de deux heures est de déterminer les conséquences d'un ajout d'adjuvant et du rapport eau sur ciment sur la consistance d'une pâte de ciment. Il est important de pouvoir maîtriser la fluidité du mélange lors de la mise en place du matériau. La méthode d'écoulement au mini cône est simple, économique et rapide afin d'obtenir une première idée de la rhéologie d'une pâte de ciment.

**Programme et contenu :**TP Métaux :

Observation microscopique des échantillons d'acier (notion de microstructure)

Mesures de propriétés mécaniques (microdureté Vickers)

TP Bétons :

Consistance d'une pâte de ciment (2h)

Mesures de propriétés thermiques de bétons (Cp, conductivité thermique) (2h)

**Méthode et organisation pédagogique :**

8h de TP (2x4h)

**Acquis d'apprentissage visés :**TP Métaux :

Mesurer les propriétés des principales familles d'aciers. Etre capable de lire et interpréter un diagramme de phases (en lien avec le cours) et de transformation de phases. Faire le lien concret (par l'expérience) entre microstructure/composition/traitement thermique en vue d'obtenir une propriété désirée (mécanique dans le TP via la microdureté).

TP Bétons :

- Fabrication d'une pâte de ciment adjuvantée ou non.

- Méthode pratique d'évaluation de la rhéologie de la pâte de ciment.

-Etudier l'influence de la formulation de bétons sur leurs propriétés thermiques et sur leurs usages

**Evaluation : CR de TP****Retour sur l'évaluation fait à l'élève :****Support pédagogique et références :**



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

Basés sur une méthode et une organisation pédagogique classiques (cours en présentiel) ou un peu moins classiques (classes inversées), les enseignants mettent en œuvre des méthodes pour vérifier la bonne compréhension des notions présentées en cours. Les méthodes peuvent varier d'une Matière à l'autre et d'une année sur l'autre dépendamment du nombre d'élèves dans la promotion et de leur niveau d'écoute et compréhension: qcm d'autoévaluation, quizz kahoot ou wooclap, présentations d'élèves...

## 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
Diagrammes de phases et transformations de phases	Contrôle écrit	3	Individuel	1,2,3	tous
Céramiques et Verres	QCM + Projet de classe inversée (orale et écrit)	2	Individuel et En groupe	1,2, 3	tous
Bétons	Contrôle écrit	2	Individuel	1,2, 3	tous
Métaux et alliages	Contrôle écrit	1	Individuel	1,2, 3	tous
TP Métaux et bétons	Compte rendus de TP	1	En groupe	2, 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 30 min de travail personnel de compréhension et d'approfondissement par séance de 2h de cours.

**Nombre d'heures estimées de préparation aux travaux pratiques (TP) :**

Pas de préparation spécifique

**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 (présenter ici l'équipe enseignante, son expertise, ses coordonnées)

<b>Nom</b>	<b>Domaine d'expertise</b>	<b>Courriel/Téléphone</b>
Jean Charles Bénézet	Composites à fibres végétales	Jean-charles.benezet@mines-ales.fr
Laurent Ferry	Comportement au feu des polymères	Laurent.ferry@mines-ales.fr
Eric GARCIA-DIAZ	Formulation et propriétés des bétons	Eric.garcia-diaz@mines-ales.fr
Gwen LE SAOUT	Diffraction des rayons X	<a href="mailto:Gwen.le-saout@mines-ales.fr">Gwen.le-saout@mines-ales.fr</a>
Laurent CLERC	Granulats, broyage, formulation des bétons	<a href="mailto:Laurent.clerc@mines-ales.fr">Laurent.clerc@mines-ales.fr</a>
Aurélié TAGUET	Physico-chimie des polymères	Aurelie.taguet@mines-ales.fr
Nathalie AZEMA	Matériaux minéraux et physico-chimie des suspensions	Nathalie.azema@mines-ales.fr

If the modules are made of several different classes, indicate the syllabus for each class and present module organisation in the following manner: (see the « Mechanics of deformable solids » as an example)

ACADEMIC TEACHING	Teaching hours	Coefficients	Credits
<b>Inorganic and metallic materials</b>	<b>89</b>	<b>9</b>	7
○ Phase diagrams and phase transitions	26	3	
○ Ceramics and Glasses	20	22	
○ Concretes	21	1	
○ Metallic materials	14	1	
○ Practical works on metals and concretes	8		

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

**Class 1**

Phase diagrams and phase transitions	
<b>Code: ECOMAP 8.1.1</b>	<b>Module title: Inorganic and metallic materials</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
24	26	24	0	0	0	2	6	3	

<b>Title</b>	Phase diagrams, Phase transitions and microstructures
<b>Summary</b>	Phase diagrams and phase transformation mechanisms are described and explained in order to understand the structure established during processes operations and the resulting properties.

<b>Head</b>	Laurent FERRY – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Teaching team</b>	Laurent FERRY (phases transformations) Jean Charles BENEZET (phase diagrams)

<b>Keywords</b>	Thermodynamics, binary phase diagrams, ternary phase diagrams, kinetics
<b>Prerequisites</b>	Materials for the Engineer, Thermodynamics

<p><b>Context and general objective:</b></p> <p>During the elaboration and processes operations or during their use, the materials are submitted to variations in thermodynamic conditions (temperature and pressure). These variations can lead to changes in the organization of the material and thus modify the properties of the materials. The phase diagram is a graphical tool that represents the physical state of a system based on T, P and concentration variables. Phase transformations refer to the mechanisms by which organizational changes in matter occur.</p> <p>The first part of the course aims to present the fundamental aspects of phase balance in a system, the construction and reading of unary, binary and ternary phase diagrams, their use in materials engineering. The second part of the course aims to present the different mechanisms of phase transformations, to establish a link between phase transformations and microstructures of materials, to highlight the technological challenge of phase transformations.</p> <p><b>Program and contents:</b></p> <p>1- Phase diagrams</p> <p>1.1- Introduction to phase diagrams, thermodynamic origin, representation</p> <p>1.2- Study of binary mixtures</p> <p>1.3- Study of ternary mixtures</p> <p>2- Phase transformations</p> <p>2.1- Introduction to phase transformations: thermodynamics and kinetics</p> <p>2.2- Germination - Growth</p> <p>2.3- Spinodal decomposition</p> <p>2.4- Martensitic transformation</p> <p>2.5- Glass transition</p>
---

2.6- Second order transformations and critical phenomena
<b>Method and pedagogic organisation:</b> Lectures containing applicative exercises
<b>Targeted skills or knowledge:</b> To be able to read and interpret a phase diagram to understand the thermodynamic history of a material. Understand and be able to apply the basic principles governing phase transformations in metallic, ceramic or polymeric materials in order to be able to choose materials meeting particular specifications and to master transformation processes to control microstructure and properties of materials.
<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 copies at the student's express request</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks.</li> </ul>
<b>Teaching material and references:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Point presentation</li> <li>• Course and exercise booklet supplementing the presentation</li> </ul>

**Class 2**

Ceramics and Glasses	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.1.2	<b>Module title:</b> Inorganic and metallic materials
<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
15.5	20	15.5	0	0	4	0.5	4	2	

<b>Organisation of class 2</b>	<i>Class 2 includes 2 parts of 10 hours :</i>
	Part 1 : Ceramics (10H) and part 2 : glasses (10H)

**Part 1 :**

<b>Title</b>	Ceramics
<b>Summary</b>	Presentation of of ceramic materials (structure, microstructure, formulation, consolidation, elaboration, development, properties and processing)

<b>Head</b>	Nathalie AZEMA
<b>Teaching team</b>	Nathalie AZEMA

<b>Keywords</b>	Atomistic, brittle fracture, microstructure, sintering, mineral resources, processing
<b>Prerequisites</b>	Basic knowledge on Materials , phase and transformation diagrams

<b>Context and general objective:</b> Although a very old material, ceramics is presented as a material with special characteristics that can make it a material of choice in many technological applications. The objective is to present the particularity of ceramic materials in a simple and lively way. The elements necessary to understand the specificities of this type of material will be given with a focus on availability of mineral resources and reuse or recycling
<b>Program and contents:</b> Module 1. Presentation of the organization , methods. Definition, different families and structure of ceramics Module 2. Mineral resources, formulation of the suspensions and slurry, additives, thermal treatments, consolidation sintering Module 3. Processing of ceramics., forming and recycling. Module 4. Microstructures and properties

<b>Method and pedagogic organisation:</b> Lectures with animations / wooclap and 30 min of evaluation MQC
<b>Targeted skills or knowledge:</b> Basic knowledge on materials, Phase diagrams, transformation diagrams
<b>Evaluation:</b> 30 min of mqc
<b>Feedback made to the student:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of copies at the student's express request</li> <li>• Exam correction times : 3 weeks.</li> </ul>
<b>Teaching material and references:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Point presentation</li> <li>• Course and exercise booklet supplementing the presentation</li> </ul>

**Part 2 :**

Glasses	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.1.3	<b>Module title:</b> Inorganic and metallic materials
<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
10	10	6	0	0	4	1	4	1	

<b>Title</b>	Glasses
<b>Summary</b>	Presentation of glasses (structure, elaboration, properties and processes, recycling)

<b>Head</b>	Nathalie AZEMA
<b>Teaching team</b>	Nathalie AZEMA

<b>Keywords</b>	Glassy state, structure and microstructure, elaboration, properties, processes
<b>Prerequisites</b>	Basic knowledge on materials , Phase diagrams, transformation diagrams

<b>Context and general objective:</b> Glasses are materials that have been processed and used by humans for centuries. They still remain of great technological importance and concern many industrial sectors (packaging, construction, automotive, energy, aeronautics ...). If these materials are used for large-scale applications, they are also the subject of new developments for applications with high added value (flat panel displays, bio-active glasses, photonics, nuclear waste confinement ...). The objective of this course is to make future engineers aware of the elaboration, development and processing technologies as well as the functional properties of these materials. The applications and recycling of glasses will be part of a project (4h) conducted by the students.
<b>Program and contents:</b> Module 1. Generalities about glasses and glassy condition Module 2. Mechanical and thermal properties Module 3. Chemical, optical properties of the glasses Module 4. Student projects: applications and recycling
<b>Method and pedagogic organisation:</b> Lectures and one project
<b>Targeted skills or knowledge:</b> Basic knowledge on applications, elaboration, processing, recycling and properties of glasses
<b>Evaluation:</b> oral presentation of project and written evaluation of the presentation support
<b>Feedback made to the student:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of copies at the student's express request</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks.</li> </ul>

**Teaching material and references:**

- Power Point presentation
- Course and exercise booklet supplementing the presentation

**Class 4**

Concretes	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.1.4	<b>Module title:</b> Inorganic and metallic materials
<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
19	21	21	0	0	0	2	6	2	

<b>Title</b>	Concretes
<b>Summary</b>	The concretes studied are those commonly used for the structure (structural concretes) and the envelope (agro-concretes) of constructions. The concrete material is described as a granular stack whose intergranular spaces are filled with a binding phase: hardened cement paste. Hardening mechanisms (cement chemistry) are reviewed. A formulation method based on the optimization of granular stacks is presented. Based on all of this knowledge, a methodology for formulating low-carbon concrete is proposed.

<b>Head</b>	Eric GARCIA-DIAZ – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Teaching team</b>	Eric GARCIA-DIAZ – C2MA – IMT Mines Alès Gwenn LE SAOUT – C2MA – IMT Mines Alès Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Keywords</b>	Hydraulic binders, eco-concrete, hydration mechanism, formulation, fresh and hardened states
<b>Prerequisites</b>	Materials for the Engineer

**Context and general objective:**

This module focuses on the concrete materials, the most widely used building material in the world. It deals with hydraulic binders, in particular the cement and the aggregates constituting the base of concretes and mortars, and finally concrete material properties. An introduction to eco-concrete will also be presented. The course will focus on:

- the chemistry of cementitious materials (cements and substitute materials): to give the students basic notions to understand the mechanisms of hydration, its parameters, its consequences on the hardened material and the problems of durability that may arise,
- aggregates and concretes: knowledge of the rules of mix-design and tests of characterization or control inherent to their use. The properties studied are those relating to the fresh state (subsidence and rheological behavior) and the hardened state (mechanical and transfer characteristics).
- eco-concrete: presentation of this new family of concretes: resources used, formulation and interest of these concretes in hygrothermal regulation of buildings.

The objective is to address concrete mix-design through constituents, concrete characterization and standardization.

**Program and contents:**

1. Binders: composition, properties and specificities, uses
2. Hydration of Portland cement, relationship microstructure / properties
3. Concrete: relation properties / composition
4. Concrete formulation
5. The eco-concrete

**Method and pedagogic organisation:**

Lectures

**Targeted skills or knowledge:**

Know the basics of cement chemistry, Know the big families of concretes, their properties and their applications. Know how to formulate a structural concrete.

**Evaluation:** 2h of written exam

**Feedback made to the student:**

- Consultation of copies at the student's express request

- Exam correction times: 3 weeks.

**Teaching material and references:**

- Power Point presentation
- Course and exercise booklet supplementing the presentation

## Class 5

Metals and alloys	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.1.5	<b>Module title:</b> Inorganic and metallic materials
<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
12	14	10	2	0	0	2	4	1	

<b>Title</b>	Metallic materials
<b>Summary</b>	In the introduction, data concerning the production of metallic materials, the challenges of resources and the supply of raw materials on a European and global scale are presented. The microstructures of the metallic materials obtained at thermodynamic equilibrium (phase diagrams) are presented. Then the hardening methods of the alloys are described and finally the phase transformations of the metal alloys are described through the transformation diagrams and heat treatments.

<b>Head</b>	Aurélie TAGUET – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Teaching team</b>	Aurélie TAGUET – C2MA – IMT Mines Alès Mathieu BUGAUT – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Keywords</b>	Phase diagrams, steel, cast iron, TTT, CCT and CHT diagrams, heat treatments
<b>Prerequisites</b>	Materials for the Engineer

<p><b>Context and general objective:</b> Metallic materials are used in many industrial sectors (construction, transport, energy ...). The specifications of these materials impose certain properties that depend strongly on the microstructure and therefore the implementation of these materials. The objective of the course is to understand the microstructures obtained at thermodynamic equilibrium (phase diagrams) and out of equilibrium (thermomechanical treatments and phase transformation).</p>
<p><b>Program and contents:</b> 1. Introduction (history, context, consumption, recycling) 2. Reminders (links, structure) - Notions of solid solutions 3. What are the intrinsic properties of metals? 4. Ferrous alloys with thermodynamic equilibrium (steels and irons) 5. Treatment of metals and alloys 6. Transformation diagrams (TTT, CCT, CHT) 7. Nonferrous alloys</p>
<p><b>Method and pedagogic organisation:</b> Lectures (10h) with exercises (Kahoot, wooclap), exercises (2h), exam (2h)</p>
<p><b>Targeted skills or knowledge:</b> To know the properties and applications of the main families of metals. To be able to read and interpret a phase diagram and phase transformation diagram in order to control a material transformation process or to understand the thermodynamic history of a material.</p>
<p><b>Evaluation:</b> 2h of written exam</p>
<p><b>Feedback made to the student:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of copies at the student's request</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks.</li> </ul>
<p><b>Teaching material and references:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Point presentation</li> <li>• Course and exercise booklet supplementing the presentation</li> <li>• Annals of exams and corrected</li> </ul>



## Class 6

Practical works on metals and concretes	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.1.5	<b>Module title:</b> Inorganic and metallic materials
<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
8	8	0	0	8	2	0	4	1	

<b>Title</b>	Practical works on metals and concretes
<b>Summary</b>	The concrete and metals courses are illustrated by 2 practical works

<b>Head</b>	Gwenn LE SAOUT
<b>Teaching team</b>	Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès Gwenn LE SAOUT– C2MA – IMT Mines Alès Jean Charles BENEZET – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Keywords</b>	
<b>Prerequisites</b>	Materials for the Engineer

**Context and general objective:**TP Metals:

The specifications for metallic materials used in industry impose mechanical properties that depend on the microstructure and therefore on the composition (carbon content) and heat treatment (quenching, for example). In this lab, steels of different grades and uses will be used.

TP Concrete:

This practical work includes 2 parts of 2 hours each.

The first part of the practical work relates to the characterization of thermal properties of different families of concrete: traditional concrete and agro-concretes. The objective is to evaluate the influence of the formulation on the insulating properties of these materials.

The second part of the two hour lab is to determine the consequences of adding admixture and the water to cement ratio on the consistency of a cement paste. This is a keypoint for controlling the fluidity of the mixture when placing the material. The mini cone flow method is simple, economical and fast to get a first idea of the rheology of a cement paste.

**Program and contents:**TP Metals:

Microscopic observation of steel samples (notion of microstructure)

Mechanical property measurements (Vickers microhardness)

TP Concrete:

Consistency of cement paste (2h)

Measurements of thermal properties of concrete (Cp, thermal conductivity) (2h)

**Method and pedagogic organisation:**

Labs (8h): 2\*4h

**Targeted skills or knowledge:**TP Metals:

Measure the properties of the main families of steels. To be able to read and interpret a phase diagram (linked to the course) and phase transformation. Make a link (through experience) between microstructure / composition / heat treatment in order to obtain a desired property (mechanical in TP via microhardness).

TP Concrete:

- Manufacture of a cement paste with or without admixture.
- Practical method of evaluating the rheology of cement paste.
- Study the influence of the concrete formulation on their thermal properties and their uses.

**Evaluation:** Report of practical work

**Feedback made to the student:**

Teaching material and references:
-----------------------------------

## Method and teaching organisation

Based on a traditional method and pedagogical organization (face-to-face course), teachers implement methods to check the understanding of the concepts presented in class. The methods may vary from one subject to another and from one year to another depending on the number of students in the class and their level of listening and comprehension: mcq of self-evaluation, Kahoot mcq, presentations of students.

## 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
Phase diagrams, transformation diagrams and microstructures	Exam	2	Individual	1,2,3	all
Ceramics and Glasses	MCQ and Project (oral and written)	2	Individual and group	1,2, 3	all
			Individual	1,2, 3	all
Concretes	Exam	2	Individual	1,2, 3	all
Metallic materials	exam and lab report	2, 1	Individual, in group	1,2, 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 30min of personal study time per hour spent in class.

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

*Not specified*

**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 per day of delay.


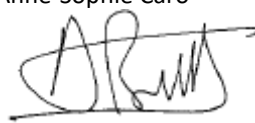
**Teaching team** (list the names of the teachers and what they teach, with contact information (phone and email))

<b>Nom</b>	<b>Areas of expertise</b>	<b>Courriel/Téléphone</b>
Jean Charles Bénézet	Natural fiber composites	Jean-charles.benezet@mines-ales.fr
Laurent Ferry	Fire behavior of polymers and composites	Laurent.ferry@mines-ales.fr
Eric GARCIA-DIAZ	Formulation and properties of concretes	Eric.garcia-diaz@mines-ales.fr
Gwen LE SAOUT	X ray Diffraction	<a href="mailto:Gwen.le-saout@mines-ales.fr">Gwen.le-saout@mines-ales.fr</a>
Laurent CLERC	Aggregates, grinding, concrete formulation	<a href="mailto:Laurent.clerc@mines-ales.fr">Laurent.clerc@mines-ales.fr</a>
Aurélie TAGUET	Physico-chemistry of polymers	Aurelie.taguet@mines-ales.fr
Nathalie AZEMA	materials and physicochemistry of colloids	Nathalie.azema@mines-ales.fr

## 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

Rédaction	Vérification	Validation
L'enseignant responsable du module : Aurélié Taguet 	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 :