



Guide pédagogique

Module ECOMAP 9.2 (5 crédits ECTS)

Place du module et enjeux

Les procédés de fabrication de produits ont considérablement évolué ces dernières années. L'objectif de ce module est de faire le point sur les technologies existantes. On retrouve des procédés classiques (usinage, moulage...) et plus récents comme la fabrication additive.

Teaching guide and syllabus

Module ECOMAP 9.2 (4 ECTS credits)

Subject matter importance and associated issues

Product manufacturing processes have considerably evolved nowadays. The objective of this module is to review actual processes (machining, moulding ...) in link with the type of material and to focus on innovative processes as additive manufacturing.

Responsable : Claire LONGUET

Téléphone : 04 66 78 53 45

Courriel : claire.longuet@mines-ales.fr

Procédés usuels et émergents

| ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES | Volume horaire | Détail des coefficients | Crédits |
|--|-------------------|----------------------------|---------|
| Procédés usuels et émergents | 70 | | |
| ○ Procédés métallurgiques | 16 | 2 | 5 |
| ○ Procédés plasturgiques et composites | 23 | 2 | |
| ○ Modélisation en plasturgie et composites | 19 | 2 | |
| ○ TP Fabrication additive et simulation du procédé d'injection | 12 | 1 | |

Matière 1 :

| | |
|--------------------------------|---|
| <i>Procédés métallurgiques</i> | |
| Code : ECOMAP 9.2.1 | Titre du module : Procédés usuels et émergents |
| Semestre : S9 | Cursus de rattachement : Département ECOMAP |

| Heures présentiel | Heures total | Cours | TD | TP | Projet | Contrôles | Travail personnel | Coef /module | ECTS |
|----------------------|-----------------|-------|----|----|--------|-----------|----------------------|-----------------|------|
| 16 | 16 | 11 | 3 | 0 | 0 | 2 | 7 | 2 | |

| | |
|---------------|---|
| Titre | Procédés métallurgiques |
| Résumé | Dans ce cours sont introduits les procédés industriels de mise en forme associés aux matériaux métalliques. On y traitera entre autres la fonderie, le frittage, le forgeage, l'usinage, l'emboutissage, la découpe et l'assemblage |

| | |
|---------------------------|---|
| Responsable | Aurélie NIEL MARCHAL – Polytech Montpellier |
| Équipe enseignante | Aurélie NIEL MARCHAL – Polytech Montpellier Christian BARBERIS – Société CFO |

| | |
|------------------|--|
| Mots-clés | Formage, forgeage, usinage, assemblage, outils de découpe, emboutissage, tôle |
| Prérequis | Matériaux pour l'ingénieur (S5), Diagrammes et transformations de phases (S8), Métaux et alliages (S8), TP métaux et bétons (S8) |

| | |
|---|--|
| Contexte et objectif général : | |
| Les procédés de fabrication de produits ou de matériaux ont considérablement évolué ces dernières années vers des technologies de plus en plus pointues. L'objectif de ce cours est de présenter les technologies classiques adaptées aux métaux. | |
| Programme et contenu : | |
| 1. Aurélie NIEL MARCHAL (11 h de cours) | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Objectifs Cette matière permet d'apporter des connaissances sur les différents procédés de fabrication (usinage, fonderie, forge...). Elle permet de sensibiliser le futur concepteur aux problèmes rencontrés en bureau des méthodes pour réaliser des pièces à partir d'un dessin de définition. Sur la base d'un cahier des charges et/ou d'un dessin de définition, les étudiants doivent être capables de choisir un procédé d'obtention ou d'assemblage en réalisant la mise en plan liée au procédé. Enfin, elle permet d'acquérir les règles de dessin classiques des pièces mécaniques en adéquation avec les modes d'obtention des bruts les plus courants. ● Programme Sidérurgie Découpe Mise en forme des matériaux : <ul style="list-style-type: none"> - A partir de l'état liquide : fonderie, coulée continue - A partir de l'état granulaire : frittage - A l'état solide : formage des métaux en feuilles (laminage, emboutissage, ...), forgeage, usinage Assemblage | |
| 2. Christian BARBERIS (3 h de cours + visite entreprise CFO) | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Objectifs : comprendre les principes de transformation d'une tôle fine par procédé de découpe, de pliage et d'emboutissage, et découvrir les principaux termes d'un cahier des charges ainsi que les méthodes de conception d'un outillage de production de grande série. ● Programme : <ul style="list-style-type: none"> - Domaines d'application des outils de découpe et d'emboutissage en grande série | |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Les différents principes de transformation de tôle : découpe, pliage, emboutissage - Principes de conception d'un outillage, décomposition des différentes étapes - Les moyens de production, choix des matériaux, des composants du commerce, sources d'approvisionnement - Illustration durant la visite d'un atelier de production d'outillages |
| <p>Méthode et organisation pédagogique : Cet enseignement se présente sous la forme d'un cours magistral et d'une visite d'atelier de mécanique. Des supports sont mis à disposition des étudiants. L'évaluation du cours se fait par contrôle écrit dont l'objectif est d'évaluer les connaissances assimilées par l'étudiant ainsi que sa capacité de réflexion.</p> |
| <p>Acquis d'apprentissage visés : Sur la base d'un cahier des charges et/ou d'un dessin de définition, les étudiants doivent être capables de choisir un procédé d'obtention ou d'assemblage en réalisant la mise en plan de la pièce en fonction du procédé choisi.</p> |
| <p>Évaluation : CE 2 h</p> |
| <p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève : Consultation des copies sur demande expresse de l'élève Délais de correction des examens : 3 semaines</p> |
| <p>Support pédagogique et références : Présentations PowerPoint Fascicule de cours et d'exercices de TD complétant la présentation</p> |

Matière 2 :

| | |
|---|---|
| <i>Procédés plasturgiques et composites</i> | |
| Code : ECOMAP 9.2.2 | Titre du module : Procédés usuels et émergents |
| Semestre : S9 | Cursus de rattachement : Département ECOMAP |

| Heures présentiel | Heures total | Cours | TD | TP | Projet | Contrôles | Travail personnel | Coef /module | ECTS |
|-------------------|--------------|-------|----|----|--------|-----------|-------------------|--------------|------|
| 23 | 23 | 21 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 2 | |

| | |
|---------------|---|
| Titre | Procédés plasturgiques et composites |
| Résumé | Dans ce cours sont introduits les différents procédés plasturgiques et composites, des plus classiques aux plus innovants. On y parlera fabrication additive, extrusion, moulage par injection, infusion sous vide, ... |

| | |
|---------------------------|--|
| Responsables | Anne BERGERET – C2MA – IMT Mines Alès Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |
| Équipe enseignante | Anne BERGERET – C2MA – IMT Mines Alès Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |

| | |
|------------------|---|
| Mots-clés | Plasturgie, composites, fabrication additive |
| Prérequis | Matériaux pour l'ingénieur (S5), Matériaux polymères (S8), Alliages polymères (S8), TP Polymères (S8) |

| |
|--|
| <p>Contexte et objectif général : Ce cours a pour objectif de présenter les principales technologies de transformation des matières plastiques (extrusion, injection, rotomoulage, thermoformage, fabrication additive, etc.) et des composites thermodurcissables (moulage, projection, thermocompression, enroulement filamentaire, pultrusion, infusion sous vide, etc) et thermoplastiques (extrusion, moulage par injection, pultrusion, fabrication additive, etc) de définir les principales variables de ces procédés, et de mettre en relation matériaux polymères et composites, applications et procédés.</p> |
| <p>Programme et contenu :</p> <p>1. Procédés de transformation des polymères (Claire LONGUET – 8 h de cours)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extrusion (principe et technologies, physico-chimie de l'extrusion, défauts d'extrusion, technologies apparentées, cas des caoutchoucs – TPE) • Thermoformage (principe et technologies, applications, défauts de thermoformage) • Injection (principe et technologies, physico-chimie de l'injection, technologies apparentées, cas des caoutchoucs – TPE, défauts d'injection, technologies concurrentes et/ou complémentaires : rotomoulage et moulage par compression) • Principes de base de la conception de pièces plastiques/procédés • Finitions |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre, toxicité et environnement Quelle technologie choisir : choix économique, technique et environnemental Ouverture sur les composites particuliers et nanocomposites <p>2. Procédés de transformation des composites (Anne Bergeret – 8 h de cours)</p> <ul style="list-style-type: none"> Composites thermodurcissables : moulage au contact et sous vide, projection simultanée, thermocompression SMC et BMC, enroulement filamentaire, pultrusion, injection/infusion de résine (RFI, LRI, RTM, BMC, RIM), dépose automatisée (ATL, AFP) Composites thermoplastiques : procédés fibres courtes, fibres longues discontinues et continues Principes, caractéristiques, avantages, inconvénients <p>3. Fabrication additive (Marcos BATISTELLA – 5 h de cours)</p> <ul style="list-style-type: none"> Définition et historique Marché et applications Étapes, chaîne numérique Technologies Prototypage, outillage et fabrication rapides Forces/faiblesses Problématiques et enjeux scientifiques Développement des procédés et matériaux Avenir de la FA |
| <p>Méthode et organisation pédagogique : Cet enseignement se présente sous la forme d'un cours magistral impliquant différents intervenants. Des supports sont mis à disposition des étudiants. L'évaluation du cours se fait par contrôle écrit dont l'objectif est d'évaluer les connaissances assimilées par l'étudiant ainsi que sa capacité de réflexion.</p> |
| <p>Acquis d'apprentissage visés : Être capable de choisir de manière pertinente un procédé de mise en œuvre ou en forme adapté de matériaux polymères ou composites à matrice polymère</p> |
| <p>Évaluation : CE 2 h</p> |
| <p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève : Consultation des copies sur demande expresse de l'élève Délais de correction des examens : 3 semaines</p> |
| <p>Support pédagogique et références : Présentations PowerPoint Fascicule de cours et d'exercices de TD complétant la présentation</p> |

Matière 3 :

| | |
|---|---|
| <i>Modélisation en plasturgie et composites</i> | |
| Code : ECOMAP 9.2.3 | Titre du module : Procédés usuels et émergents |
| Semestre : S9 | Cursus de rattachement : Département ECOMAP |

| Heures présentiel | Heures total | Cours | TD | TP | Projet | Contrôles | Travail personnel | Coef /module | ECTS |
|-------------------|--------------|-------|----|----|--------|-----------|-------------------|--------------|------|
| 19 | 19 | 13 | 5 | 0 | | 1 | 12 | 2 | |

| | |
|---------------|--|
| Titre | Modélisation en plasturgie et composites |
| Résumé | Ce cours aborde la modélisation et la simulation des procédés de mise en œuvre des polymères thermoplastiques à l'état fondu d'une part et l'élaboration de composites par les procédés par voie liquide. Les illustrations et applications porteront essentiellement sur trois procédés : le moulage par injection de thermoplastiques, l'injection de thermodurcissable à l'état liquide dans une préforme fibreuse (RTM) et l'infusion sous vide. Le logiciel Moldflow sera utilisé pour les applications au moulage par injection de thermoplastiques. |

| | |
|---------------------------|--|
| Responsable | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès |
| Équipe enseignante | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès |

Procédés usuels et émergents

| | |
|------------------|--|
| Mots-clés | Modélisation, moulage par injection, Resin Transfer Molding (RTM), infusion sous vide, simulation numérique |
| Prérequis | Matériaux pour l'ingénieur (S5), Matériaux polymères (S8), Alliages polymères (S8), TP Polymères (S8), Rhéologie (S8), Mécanique des milieux continus (S6) |

| |
|--|
| <p>Contexte et objectif général : Les objectifs du cours sont multiples :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Appréhender la logique des principaux procédés plasturgiques (extrusion, moulage par injection) • Prendre conscience des principes de modélisation • Acquérir les bases de la simulation numérique en générale et appliquée au domaine • Se donner la possibilité de dialoguer avec des spécialistes du domaine |
| <p>Programme et contenu : Le cours aborde tout d'abord des notions générales et transversales puis des applications au moulage par injection, à l'injection de thermoplastique dans une préforme fibreuse et à l'infusion sous vide. L'aspect simulation numérique sera supporté par le logiciel Autodesk Moldflow. Les différentes parties abordées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Généralités sur la mise en forme des polymères TP à l'état fondu • Aspects thermiques des écoulements de polymères fondus • Simulation des procédés • Procédé RTM et infusion sous vide – grandeurs caractéristiques • Simulation numérique du moulage par injection (Moldflow) |
| <p>Méthode et organisation pédagogique : Cet enseignement se présente sous la forme de cours, TD, TP sur logiciel.</p> |
| <p>Acquis d'apprentissage visés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développer des aptitudes à la modélisation sur des cas relativement simples (formuler des hypothèses, proposer des simplifications de géométrie, ...) • Connaître l'architecture générale de logiciels de simulation du moulage par injection |
| <p>Évaluation : CE 1 h</p> |
| <p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consultation des copies sur demande expresse de l'élève • Délais de correction des examens : 3 semaines |
| <p>Support pédagogique et références :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Présentation PowerPoint • Documents multimédias • Fascicule de cours et d'exercices complétant la présentation |

Matière 4 :

| | |
|---|---|
| <i>TP Fabrication additive et simulation du procédé d'injection</i> | |
| Code : ECOMAP 9.2.4 | Titre du module : Procédés usuels et émergents |
| Semestre : S9 | Cursus de rattachement : Département ECOMAP |

| Heures présentiel | Heures total | Cours | TD | TP | Projet | Contrôles | Travail personnel | Coef /module | ECTS |
|-------------------|--------------|-------|----|----|--------|-----------|-------------------|--------------|------|
| 12 | 12 | 0 | 0 | 12 | | | 6 | 1 | |

| | |
|---------------|--|
| Titre | TP Fabrication additive et simulation du procédé d'injection |
| Résumé | L'objectif de ce cours est de mettre en application certains notions vues dans les matières 2 et 3 : fabrication additive et modélisation des procédés plasturgiques |

| | |
|---------------------------|---|
| Responsables | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès Arnaud REGAZZI – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |
| Équipe enseignante | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès Arnaud REGAZZI – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |

| | |
|------------------|--|
| Mots-clés | Impression 3D, fabrication par filament fondu (FFF), fusion sur lit de poudre par laser (SLS), modélisation, simulation du moulage par injection |
|------------------|--|

| | |
|------------------|--|
| Prérequis | Matériaux pour l'ingénieur (S5), Rhéologie (S8), Transferts thermiques (S9), Procédés plasturgiques et composites (S9), Modélisation des procédés plasturgiques (S9) |
|------------------|--|

| |
|--|
| <p>Contexte et objectif général : Pratique : appréhender le triptyque matériau/procédé/propriétés pour une application en fabrication additive, modéliser le procédé d'injection</p> |
| <p>Programme et contenu :</p> <ol style="list-style-type: none"> TP fabrication additive : <ul style="list-style-type: none"> Mise en application par la prise en main de machines et la réalisation de pièces par dépôt de fil fondu (FFF) et frittage laser de poudres (SLS) Observation des pièces réalisées et analyse quantitative par mesure de densité apparente, absolue et essais de traction TP simulation du procédé d'injection : ce TP comporte une partie expérimentale (moulage de pièces et acquisition de signaux sur une presse à injecter) et une partie simulation à l'aide du logiciel Moldflow. L'objectif est de confronter l'expérimentation et la simulation et d'en faire une analyse critique |
| <p>Méthode et organisation pédagogique : Cet enseignement se présente sous la forme de TP</p> |
| <p>Acquis d'apprentissage visés : Autonomie sur des machines de fabrication additive de type FFF et SLS et maîtrise de l'influence des principaux paramètres sur la microstructure et les propriétés mécanique des pièces ainsi réalisées. Autonomie sur l'utilisation d'un logiciel de simulation du moulage par injection tel que Moldflow.</p> |
| <p>Évaluation : Compte rendus</p> |
| <p>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</p> |
| <p>Support pédagogique et références : Guides de TP + tutoriels vidéo. Utilisation du logiciel Moldflow v2021</p> |

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 | 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 pour exemple le module de Mécaniques des milieux déformables

| Matière | Contrôle | Coefficients | Type de notation | Indicateurs évalués | Chapitres |
|--|----------------|--------------|------------------|---------------------|-----------|
| Procédés métallurgiques | Contrôle | 1 | Individuelle | 1, 2, 3 | Tous |
| Procédés plasturgiques et composites | Contrôle | 1 | Individuelle | 1, 2, 3 | Tous |
| Modélisation en plasturgie et composites | Contrôle | 1 | Individuelle | 1, 2, 3 | Tous |
| TP Fabrication additive et procédé d'injection | Comptes rendus | 1 | Individuelle | 1, 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 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 (présenter ici l'équipe enseignante, son expertise, ses coordonnées)

| Nom | Domaine d'expertise | Courriel/Téléphone |
|------------------------|--|---|
| Pierre-Jacques LIOTIER | Modélisation des procédés plasturgiques | pierre-jacques.liotier@mines-ales.fr / 04 66 78 56 86 |
| Arnaud REGAZZI | Transferts thermiques | arnaud.regazzi@mines-ales.fr / 04 66 78 56 00 |
| Marcos BATISTELLA | Fabrication additive | marcos.bastistella@mines-ales.fr / 04 66 78 53 42 |
| Claire LONGUET | Procédés plasturgiques | claire.longuet@mines-ales.fr / 04 78 56 53 45 |
| Aurélien NIEL MARCHAL | Procédés métallurgiques | aurelie.marchal@polytech.univ-montp2.fr / 04 67 14 31 78 |
| Christian BARBERIS | Moules et plasturgie | barberis.chris@gmail.com |
| Anne BERGERET | Mise en œuvre et en forme des composites | anne.bergeret@mines-ales.fr / 06 55 78 53 44 |

Innovative and current processes

| ACADEMIC TEACHING | Teaching hours | Coefficients | Credits |
|--|----------------|--------------|----------|
| Innovative and current processes | 70 | | 5 |
| ○ Metallurgical processes | 16 | 2 | |
| ○ Polymer and composites processing | 23 | 2 | |
| ○ Modeling in plastics processing and composites | 19 | 2 | |
| ○ Practical works on additive manufacturing and simulation of injection moulding process | 12 | 1 | |

Class 1

| | |
|--------------------------------|---|
| <i>Metallurgical processes</i> | |
| Code: ECOMAP 9.2.1 | Module title: Innovative and current processes |
| Semester: S9 | Classification: ECOMAP department |

| Hours of presence | Total hours | Lectures | Works hop | Labs | Project | Testing | Personal work | Coef /module | ECTS |
|-------------------|-------------|----------|-----------|------|---------|---------|---------------|--------------|------|
| 16 | 16 | 11 | 3 | 0 | 0 | 2 | 7 | 2 | |

| | |
|----------------|--|
| Title | Metallurgical processes |
| Summary | This course introduces the industrial forming processes associated with metallic materials. Foundry, sintering, forging, machining, stamping, cutting and assembling will be covered |

| | |
|----------------------|---|
| Head | Aurélie Niel Marchal – Polytech Montpellier |
| Teaching team | Aurélie Niel MARCHAL – Polytech Montpellier Christian BARBERIS – Company CFO |

| | |
|----------------------|---|
| Keywords | <i>Forming, forging, machining, assembly, cutting tools, stamping, sheet metal</i> |
| Prerequisites | <i>CMI (S5), Materials for engineering (S5), Diagrams and phase transformations (S8), Metals and alloys (S8), Practical works metals and concretes (S8)</i> |

Context and general objective:

The manufacturing processes of products or materials have evolved considerably in recent years towards more and more advanced technologies. The objective of this course is to present the classical technologies adapted to metals.

Program and contents:

1. Aurélie NIEL MARCHAL (11 h of lectures)

- **Objectives**

This subject provides knowledge of the various manufacturing processes (machining, foundry, forging, etc.). It allows the future designer to be aware of the problems encountered in the methods department to produce parts from a definition drawing.

On the basis of a specification and/or a definition drawing, the students must be able to choose a production or assembly process by carrying out the layout related to the process. Finally, it allows students to acquire the classical drawing rules for mechanical parts in accordance with the most common methods of obtaining raw materials.

- **Program**

Steel industry

Cutting

Materials forming:

- From the liquid state: foundry, continuous casting
- From the granular state: sintering
- From the solid state: sheet metal forming (rolling, stamping, ...), forging, machining

Assembly

2. Christian BARBERIS (3 h of lectures + CFO company visit)

- **Objectives:** Understand the principles of transformation of a thin sheet by cutting, bending and stamping process, and discover the main terms of a specification as well as the design methods of a mass production tooling.

- **Program:**

- Fields of application of cutting and stamping tools in large series
- The different principles of sheet metal transformation: cutting, bending, stamping
- Principles of tooling design, breakdown of the different steps
- The means of production, choice of materials, trade components, sources of supply

| |
|---|
| - Illustration during the visit of a tooling production workshop |
| Method and pedagogic organization: This course is presented in the form of a lecture and a visit to a mechanical workshop. The students are provided with aids. The evaluation of the course is done by written test whose objective is to evaluate the knowledge assimilated by the student as well as his capacity of reflection. |
| Targeted skills or knowledge: On the basis of a specification and/or a definition drawing, students must be able to choose a production or assembly process by drawing up the part according to the chosen process |
| Evaluation: <i>written exam (2 h)</i> |
| 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: PowerPoint presentations Course booklet and exercises to complement the presentation |

Class 2

| | |
|--|---|
| <i>Polymer and composites processing</i> | |
| Code: ECOMAP 9.2.2 | Module title: Innovative and current processes |
| Semester: S9 | Classification: ECOMAP department |

| Hours of presence | Total hours | Lectures | Works hop | Labs | Project | Testing | Personal work | Coef /module | ECTS |
|-------------------|-------------|----------|-----------|------|---------|---------|---------------|--------------|------|
| 23 | 23 | 21 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 2 | |

| | |
|----------------|--|
| Title | Polymer and composites processing |
| Summary | This course introduces the various plastics and composite processes, from the most classical to the most innovative. We will talk about additive manufacturing, single-screw extrusion, injection moulding, vacuum infusion, ... |

| | |
|----------------------|--|
| Head | Anne BERGERET – C2MA – IMT Mines Alès Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |
| Teaching team | Christian GONDARD – CELEMENT Company Anne BERGERET – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |

| | |
|----------------------|--|
| Keywords | <i>Plastics processing, composites, additive manufacturing</i> |
| Prerequisites | Engineering materials (S5), Polymeric materials (S8), Polymeric alloys (S8), Polymers practical works (S8) |

| |
|---|
| Context and general objective: The objective of this course is to present the main processing technologies for plastics (extrusion, injection, rotational moulding, thermoforming, additive manufacturing, etc.), thermoset composites (moulding, spraying, thermocompression, filament winding, pultrusion, vacuum infusion, etc.) and thermoplastics composites (extrusion, injection moulding, pultrusion, additive manufacturing, etc.), to define the main variables of these processes, and to relate polymeric materials and composites, applications and processes. |
| Program and contents: 1. Polymer processing (Claire LONGUET – 8 h of lectures) <ul style="list-style-type: none"> • Extrusion (principle and technologies, physical chemistry of extrusion, extrusion defects, related technologies, case of rubbers – TPE) • Thermoforming (principle and technologies, applications, thermoforming defects) • Injection moulding (principle and technologies, physico-chemistry of injection, related technologies, case of rubber – TPE, injection defects, competing and/or complementary technologies: rotomoulding and compression moulding) • Basic principles of plastic part/process design • Finishing stages • Processing, toxicity and environment |

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Which technology to choose: economic, technical and environmental choice |
| <p>2. Composite processing (Anne BERGERET – 8 h of lectures)</p> <ul style="list-style-type: none"> Thermoset composites: contact and vacuum moldings, simultaneous projection, SMC, and BMC thermocompression, filament winding, pultrusion, resin injection/infusion (RFI, LRI, RTM, BMC, RIM), automated deposition (ATL, AFP) Thermoplastic composites: short fibres, long discontinuous and continuous fibres processes Principles, characteristics, advantages, disadvantages |
| <p>3. Additive manufacturing (Arnaud REGAZZI – 5 h of lectures)</p> <ul style="list-style-type: none"> Definition and history Market and applications Stages, digital chain Technologies Rapid prototyping, tooling and manufacturing Strengths/weaknesses Scientific issues and challenges Process and material development Future of AM |
| <p>Method and pedagogic organization: This teaching is presented in the form of a lecture involving various speakers. Supporting material is made available to the students. The evaluation of the course is done by written test whose objective is to evaluate the knowledge assimilated by the student as well as his capacity of reflection.</p> |
| <p>Targeted skills or knowledge: To be able to choose in a relevant forming process for polymeric materials or polymer matrix composites</p> |
| <p>Evaluation: <i>written exam (2 h)</i></p> |
| <p>Feedback made to the student: Possibility to consult the copy on request of the student. Deadlines for giving correction of exams: 3 weeks</p> |
| <p>Teaching material and references: PowerPoint presentations Course booklet and exercises to complement the presentation</p> |

Class 3

| | |
|---|---|
| <i>Modeling in plastics processing and composites</i> | |
| Code: ECOMAP 9.2.3 | Module title: Innovative and current processes |
| Semester: S9 | Classification: <i>ECOMAP department</i> |

| Hours of presence | Total hours | Lectures | Workshop | Labs | Project | Testing | Personal work | Coef /module | ECTS |
|-------------------|-------------|----------|----------|------|---------|---------|---------------|--------------|------|
| 19 | 19 | 13 | 5 | 0 | | 1 | 12 | 2 | |

| | |
|----------------|--|
| Title | Modeling in plastics processing and composites |
| Summary | This course deals with the modelling and simulation of melt thermoplastic or thermosetting polymers processing. The illustrations and applications will focus on three processes: single-screw extrusion, injection moulding and vacuum infusion. Moldflow software will be used for applications concerning injection moulding of thermoplastic polymers. |

| | |
|----------------------|--|
| Head | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès |
| Teaching team | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès |

| | |
|----------------------|--|
| Keywords | <i>Modelling, single-screw extrusion, injection moulding, vacuum infusion, digital simulation</i> |
| Prerequisites | <i>Engineering Materials (S5), Polymeric Materials (S8), Polymer Alloys (S8), Polymer practical works (S8), Rheology (S8), Continuous Media Mechanics (S6)</i> |

| |
|---|
| <p>Context and general objective: The objectives of the course are multiple:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Understand the logic of the main thermoplastic polymers processes (extrusion, injection moulding) • Become aware of modelling principles • Acquire a first idea of the possibilities of digital simulation in this domain • Offer the students the opportunity to interact with specialists in the field |
| <p>Program and contents: The course begins with general and transversal notions and then with single-screw extrusion, injection moulding and vacuum infusion applications. The digital simulation aspect will be supported by Autodesk Moldflow software. The different parts are:</p> <ul style="list-style-type: none"> • General information on shaping TP polymers in the molten state • Thermal aspects of molten polymer flows • Process simulation • Vacuum infusion process • Numerical simulation of injection moulding (Moldflow) |
| <p>Method and pedagogic organization: This teaching is presented in the form of courses, TD, TP on software.</p> |
| <p>Targeted skills or knowledge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop modelling skills on relatively simple cases (formulate hypotheses, propose geometric simplifications, etc.) • Know the general architecture of injection moulding simulation software |
| <p>Evaluation: <i>written exam (1 h)</i></p> |
| <p>Feedback made to the student:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possibility to consult the copy on request of the student. • Deadlines for giving correction of exams: 3 weeks |
| <p>Teaching material and references:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PowerPoint presentations • Multimedia documents • Course booklet and exercises to complement the presentation |

Class 4

| | |
|---|---|
| <i>Practical works on additive manufacturing and simulation of the injection moulding process</i> | |
| Code: ECOMAP 9.2.4 | Module title: Innovative and current processes |
| Semester: S9 | Classification: ECOMAP department |

| Hours of presence | Total hours | Lectures | Works hop | Labs | Project | Testing | Personal work | Coef /module | ECTS |
|-------------------|-------------|----------|-----------|------|---------|---------|---------------|--------------|------|
| 12 | 12 | 0 | 0 | 12 | | | 6 | 1 | |

| | |
|----------------|--|
| Title | <i>Practical works on additive manufacturing and simulating of injection process</i> |
| Summary | The objective of this course is to apply some of the notions seen in classes 2 and 3: Additive manufacturing and Modelling of polymer processing |

| | |
|----------------------|---|
| Head | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès Arnaud REGAZZI – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |
| Teaching team | Pierre-Jacques LIOTIER – C2MA – IMT Mines Alès Arnaud REGAZZI – C2MA – IMT Mines Alès Marcos BATISTELLA – C2MA – IMT Mines Alès |

| | |
|----------------------|---|
| Keywords | <i>3D printing, fused filament fabrication (FFF), selective laser sintering (SLS), modelling, injection moulding simulation</i> |
| Prerequisites | Engineering Materials (S5), Rheology (S8), Heat Transfer (S9), Plastics and Composites Processes (S9), Modelling of polymer processing (S9) |

| |
|--|
| <p>Context and general objective: Practical: understanding the triptych material/process/properties for an application in additive manufacturing, model the injection moulding process</p> |
| <p>Program and contents:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Practical work in additive manufacturing: <ul style="list-style-type: none"> • Application through the use of machines and the production of parts by fused filament fabrication (FFF) and selective laser sintering (SLS) • Observation of the parts produced and quantitative analysis by measuring apparent and absolute density and tensile tests 2. Practical work in simulation of injection moulding process: this practical work includes an experimental part (moulding of parts and acquisition of signals on an injection moulding machine) and a simulation part using the Moldflow v2021 software. The objective is to compare experimentation and simulation and to make a critical analysis. |
| <p>Method and pedagogic organization: This course is presented in the form of practical work.</p> |
| <p>Targeted skills or knowledge: Autonomy on FFF and SLS type additive manufacturing machines and mastery of the influence of the main parameters on the microstructure and mechanical properties of the parts thus produced. Autonomy in the use of injection moulding simulation software such as Moldflow</p> |
| <p>Evaluation: Practical work reports</p> |
| <p>Feedback made to the student: Possibility to consult the copy on request of the students.</p> |
| <p>Teaching material and references: Practical works documents</p> |

Method and teaching organization *(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 | Analyze, interpret, model, hypothesize and solve problems |

Grading scheme:

| Class | Exam | Coefficients | Administration mode | Evaluated Indicators | Chapters |
|---|---------|--------------|---------------------|----------------------|----------|
| Metallurgical processes | Exam | 1 | Individual | 1,2, 3 | All |
| Polymers and composites processing | Exam | 1 | Individual | 1, 2, 3 | All |
| Modeling in plastics processing and composites | Exam | 1 | Individual | 1, 2, 3 | All |
| Practical works on additive manufacturing and simulation of injection process | Reports | 1 | Individual | 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 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 (list the names of the teachers and what they teach, with contact information (phone and email))

| Name | Field of expertise | Email/phone |
|------------------------|---------------------------------|---|
| Pierre-Jacques LIOTIER | Modeling of plastics processing | pierre-jacques.liotier@mines-ales.fr / 04 66 78 56 86 |
| Arnaud REGAZZI | Heat transfer | arnaud.regazzi@mines-ales.fr / 04 66 78 56 00 |
| Marcos BATISTELLA | Additive manufacturing | marcos.bastistella@mines-ales.fr / 04 66 78 53 42 |
| Claire LONGUET | Plastics processing | claire.longuet@mines-ales.fr / 04 78 56 53 45 |
| Aurélie NIEL MARCHAL | Metals processing | aurelie.marchal@polytech.univ-montp2.fr / 04 67 14 31 78 |
| Anne BERGERET | Composites processing | anne.bergeret@mines-ales.fr / 06 55 78 53 44 |
| Christian BARBERIS | Plastics processing | barberis.chris@gmail.com |

Approbation

Ce guide pédagogique entre en vigueur à compter du 01/09/2024

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

| Rédaction | Vérification | Validation |
|--|--|---|
| L'enseignante responsable du module : Claire LONGUET  | Le responsable d'UE / de département : Belkacem OTAZAGHINE  | Le directeur de l'école, Pour le directeur et par délégation, Le directeur de la DFA / de la DE : |