
PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES

4^{ème} année

METALLURGIE

Cours : 28 h - TD : 16 h

• 1^{ère} Partie : Métallurgie Structurale

(approche descriptive, relation microstructure-propriétés d'usage des alliages métalliques)

Description des évolutions microstructurales

- Microstructure d'un métal pur réel (défauts structuraux, déformation plastique, restauration - recristallisation),
- Microstructure des alliages métalliques (solution solide, transformations diffusionnelles et displacives),
- Représentation des évolutions micro-structurales (diagrammes TTT, TRC, TCC),
- Rappels relations microstructure-propriétés mécaniques.

Etudes de cas dans les principales familles de métaux

- Alliages d'Aluminium (cas de l'Al industriel, cas des alliages avec et sans durcissement structural, cas des alliages de fonderie),
- Alliages à base de Fer (principales familles, cas des aciers extradoux, cas des aciers de construction à traitement thermique, cas des fontes),
- Alliages à usage spécifique (cas des aciers inoxydables et des "super alliages", cas des alliages de Ti, cas des matériaux composites à matrice métallique).

• 2^o Partie : Transformations Structurales

(approche thermodynamique des changements structuraux dans les alliages métalliques)

Forces motrices des transformations structurales

- Définitions,
- Cas de la solidification,
- Cas des transformations à l'état solide.

Cinétiques des transformations structurales

- Transformations avec diffusion (cinétique de transformations, structure de solidification, croissance dendritique, ségrégations, germination d'une nouvelle phase),
- Transformations sans diffusion ou displacives.

• 3^o Partie : Métallurgie d'Elaboration

(notions pour introduire les métallurgies extractives et "primaires")

- Illustration dans le cas de la sidérurgie,
- Illustration dans le cas de l'élaboration de l'aluminium.

Travaux Dirigés

- Rappel diagrammes d'équilibres (cas Fe-C),
- Situations hors équilibre (atteinte progressive de l'équilibre, pseudo-solidus : cas de Al-Mg),
- Rappel diffusion à l'état solide (application à la cémentation, cas du solide réel),
- Solidification (germination des cristaux, solidification planaire et dentritique),
- Germination de phases stables et métastables à l'état solide,
- Durcissement structural (cas du système Al-Mg),
- Austénitisation et traitements thermiques des aciers de construction,
- Etude de cas : choix de la nuance d'acier et des traitements à réaliser pour un poinçon de découpe.

MATERIAUX ET DISPOSITIFS SEMICONDUCTEURS

Cours : 42 h - TD : 20 h

• 1^{ère} Partie : Physique et Matériaux Semiconducteurs

- Rappels sur les propriétés des semiconducteurs,

- Les semiconducteurs à l'équilibre,
- Les semiconducteurs hors équilibre,
- Propriétés de transport dans les semiconducteurs,
- Equation de continuité,
- Introduction aux composants : homojonction et hétérojonction,
- Le contact métal - semi-conducteur : contact ohmique - barrière Schottky,
- Exemples de techniques de caractérisation des semiconducteurs.

• 2^o Partie : Technologie des Semiconducteurs

- Introduction générale,
- Elaboration des substrats : CZ, FZ, Bridgman,
- Elaboration des couches actives : Epitaxies Techniques de dépôt CVD - Diffusion thermique – Implantation ionique,
- Croissance et dépôt de couches diélectriques : oxyde, nitrure
- Réalisation des contacts métalliques,
- La technologie planaire : photolithographie - techniques de gravure,
- Exemples de réalisation de composants élémentaires : transistor MOS, inverseur CMOS.

• 3^o Partie : Physique des Dispositifs à Semiconducteurs

- La capacité MOS,
- Le transistor MOSFET,
- Le transistor bipolaire,
- Les dispositifs photoniques (photoémetteurs, photorécepteurs).

INTRODUCTION AUX MICROSYSTEMES

Cours : 12 h

Compétences

Modèles génériques, architectures élémentaires et bases de la technologie des micro-nanosystèmes mécaniques (MEMS) et optiques (MOEMS).

Objectif

Maîtriser les connaissances multi-physiques nécessaires pour la conception et la fabrication de composants micro-nanosystèmes.

Contenus

1. Introduction : définitions, besoins de réduction des dimensions, corps d'épreuves pour les MEMS,
2. Modèles pour les MEMS : mécanique du solide pour micro-nanostructures, origine et contrôle des contraintes et des déformations,
3. Micro-nanotechnologie silicium pour les MEMS,
4. Exemples de MEMS : technologie et architecture,
5. Introduction à la micro-nanophotonique : Des semiconducteurs pour des applications optiques,
6. Une illustration : Les microsystèmes optomécaniques (MOEMS).

MATERIAUX POLYMERES

Cours : 35 h - TD : 20 h

• 1^{ère} Partie : Elaboration et caractérisation des polymères

Rappel sur polymères linéaires et réticulés

- Elaboration sans/et avec réaction chimique,
- Synthèse et mise en forme.

Caractérisation des polymères linéaires

Etude des solutions macromoléculaires

- Aspects qualitatifs de la solubilité des polymères. Rappel sur les forces intermoléculaires,
- Thermodynamique statistique. Théorie de Flory-Huggins,
- Equilibres de phases (binaires et ternaires), fractionnement
- Théorie de Flory-Krigbaum,
- Viscosité de solutions diluées, semi-diluées et concentrées (Rouse et Zimm),
- Différentes méthodes de mesures des masses molaires : viscosité et chromatographie sur gel perméable, osmométrie et lois de Raoult, diffusion de la lumière.

Caractérisation et élaboration des polymères réticulés

- Rappel sur les différentes méthodes de synthèse des matériaux polymères - relation avec le processus d'élaboration des

réseaux.,

- Grandeurs caractérisant un réseau polymère,
- Notion d'élasticité caoutchoutique,
- Modèles : réseaux affines, fantôme ou à fluctuations de jonctions,
- Méthodes de caractérisation d'un réseau polymère : gonflement et modules,
- Formation des réseaux :
 - . Transformations structurales intervenant au cours de la réaction : phénomènes de gélification et de vitrification,
 - . Diagrammes de phase (TTT...),
 - . Caractère (in)homogène des réseaux polymères.

• 2^e Partie : Rhéologie et Transformation des Matériaux Polymères

Rhéologie aux faibles déformations - Viscoélasticité

- Introduction,
- Définitions - mise en évidence du comportement viscoélastique des polymères. Exemples de comportements types,
- Traitements phénoménologiques et expérimentaux de la viscoélasticité linéaire,
- Viscoélasticité dans les zones de transitions et d'écoulement (WLF),
- Relaxations secondaires à l'état solide,
- Théories moléculaires et relation structures propriétés viscoélastiques.

Rhéologie aux grandes déformations

de polymères à l'état liquide

- Introduction - Définitions,
- Comportements rhéologiques des fluides non newtoniens,
- Traitement expérimental de la rhéologie aux grandes déformations,
- Modèles rhéologiques et loi de comportements.

Rhéologie appliquée à la mise en oeuvre

des polymères thermoplastiques - Etat fondu

- Ecoulements en cisaillement et en élongation,
- Influence des paramètres moléculaires sur le comportement à l'écoulement,
- Conséquences sur l'aptitude à la mise en forme,
- Critères rhéologiques et moléculaires pour le choix d'un matériau selon le procédé de mise en oeuvre (extrusion - injection - calandrage...).

Rhéologie et mise en oeuvre avec réaction chimique

- Chimiorhéologie, modèles et lois de comportement,
- Traitement expérimental des transformations structurales d'un système réactif,
- Gélification/Vitrification,
- Critères chimiorhéologiques de choix d'un système réactif pour les procédés de mise en oeuvre (RTM - RIM - SMC...).

• 3^e Partie : Comportement électrique et diélectrique des polymères

- Définitions - polarisation, permittivité, conductivité,
- Relaxation diélectrique – Modélisation,
- Comportements – types des polymères,
- Analogie comportements mécanique et diélectrique.

MATERIAUX CERAMIQUES ET DIVERSES CERAMIQUES

Cours : 20 h

• 1^{ère} Partie : Structure, microstructure et propriétés d'usage

Définition et classes de céramiques. Liaisons atomiques, structures et microstructures typiques, liens avec les propriétés et applications : céramiques techniques (structurelles, fonctionnelles...), traditionnelles, matériaux de construction, verres minéraux, céramiques «naturelles». Principes généraux de fabrication de chaque classe de céramiques. Synthèse des grands produits céramiques.

• 2^e Partie : Mise en oeuvre des matériaux divisés et céramiques, principes de technologie des poudres. Rappels de thermodynamique des surfaces et interfaces

Energie de surface. Effet de la courbure des surfaces, pression de Laplace, Application de la loi de Jurin aux solides poreux. Forces surfaciques, capillaires, électrostatiques, de Van der Waals. Importance relative des forces de surface par rapport aux forces inertielles dans les solides divisés.

Le frittage

Stades de frittage, mécanismes de déplacement de matière, modèles de base du frittage en phase solide. Affinement

des modèles : diffusion dans les solides ioniques, effet de l'environnement, granulométries multimodales, agglomération homogène et hétérogène, grossissement normal et anormal de grain. Frittage en phase liquide. Frittage réactif. Frittage sous charge. Détermination expérimentale des mécanismes de frittage, exemple du frittage d'alumine ultra-pure.

Méthodes de caractérisation des solides divisés

Terminologie. Méthodes de caractérisation de la structure. Mesure de la surface spécifique, méthode B.E.T. Analyses granulométriques, principales techniques. Modélisation des distributions granulométriques, distributions normales et log-normales. Analyses morphologiques. Etudes de cas.

Écoulement, empilement et compaction des poudres

Spécificités des écoulements dans les systèmes particuliers secs. Origines de la cohésivité. Critères d'écoulement des poudres. Calcul des contraintes dans un silo, équation de Janssen, critère de Coulomb. Détermination de l'angle de friction interne et de la cohésivité, établissement de la «Flow Function», cellule de cisaillement de Jenike, phénomène de dilatance. Compacité des empilements, états de référence, incidence de la taille des particules et des paramètres morphologiques, effets d'arche, agglomération. Accroissement de la compacité, modèles discrets, équation de Furnas. Modèles continus, distributions AFDZ. Mise en forme voie sèche : compaction des poudres. États de contrainte en compaction uniaxiale. Établissement et interprétation des courbes de compaction, «yield pressure», «joining pressure», rebond, caractérisation microstructurale des crus, genèse des défauts. Adjuvants de pressage, couples liants-plastifiants, lubrifiants. État de contrainte en compaction isostatique. Caractérisation mécanique des crus.

Rhéologie des suspensions et des pâtes

L'interface minéral-solution, origine des charges de surface, Point de Charge Nulle. La double couche, potentiel zéta. Stabilité cinétique des suspensions, théorie DLVO. Mécanismes de dispersion électrostatique et stérique.

Description et modélisation des comportements rhéologiques des suspensions dispersées et coagulées, corrélations avec le potentiel zéta et la microstructure de la dispersion. Sédimentation des suspensions, effet des distributions granulométriques. Application aux mises en forme en voie liquide et séchage : coulage en moule poreux, couches minces, extrusion, injection plastique, gel casting. Modificateurs de rhéologie, solubilité et adsorption des adjuvants organiques (liants,...) Séchage, aspects thermodynamiques et cinétiques. Étude d'un procédé d'atomisation-séchage.

Éléments de génie des procédés

Flow chart, bilans matière, «mise au mille».

INTRODUCTION AUX MATÉRIAUX COMPOSITES

Cours : 15 h - TD : 2 h

Introduction

Définition des matériaux composites, historique.

Principales applications des matériaux composites.

Comportement mécanique des matériaux composites

Propriétés élastiques : rappels de mécanique des milieux continus, prise en compte de la symétrie des matériaux, hypothèse des contraintes planes. Matrices de rigidité et de souplesse en configurations axiales et hors-axes (notion de coefficients de couplage). Résistance mécanique macroscopique : critères de résistance (contrainte ou déformation maximale, critères anisotropes : Hill, Tsai-Wu).

Comportement mécanique des stratifiés

Définition des stratifiés.

Comportement en membrane et en flexion des stratifiés symétriques : détermination des coefficients de rigidité et de souplesse.

Introduction au comportement des stratifiés non-symétriques : termes de couplage.

Exemples de pré-dimensionnement de pièces composites traitées sur tableur.

Les constituants des matériaux composites

Fibres : verre, carbone, kevlar, acier, fibres naturelles... Elaboration et propriétés.

Matrices : organiques (thermodurcissables, thermoplastiques), métalliques, céramiques.

Structures fibreuses et semi-produits à matrice organique (BMC, SMC).

Les procédés d'élaboration des matériaux composites

Principalement pour les matrices organiques : moulage avec et sans presse, injection, élaboration de structures profilées et de révolution.

Assemblage et contrôle des pièces composites, recyclage.

SURFACES, INTERFACES ET ADHESION

Cours : 15 h

• 1^{ère} Partie : Aspects généraux de l'adhésion minimale

Introduction

Thermodynamique de l'Adhésion et des Surfaces

- Introduction,
- Force moléculaires,
- Thermodynamique des surfaces,
- Analyses expérimentales et moléculaires de l'énergie de surface,
- Conclusions.

Théories de l'Adhésion

- Introduction,
- Adhésion mécanique,
- Modèles spécifiques,
- Adhésion électrique,
- Adhésion par interdiffusion,
- Théorie de l'adsorption - Mouillage,
- Modèle rhéologique (facteur multiplicatif),
- Adhésion chimique,
- Couches interfaciales de faible cohésion,
- Conclusions.

Adhésifs et Mesure de l'Adhérence

- Adhésifs et formulation,
- Adhésifs d'origine naturelle,
- Adhésifs de synthèse,
- Lexique du vocabulaire lié au collage,
- Mesure de l'adhérence,
- Description de la mécanique des tests les plus rencontrés (analyses en termes de contraintes et de mécanique de la rupture),
- Illustration avec des exemples Corrélation avec les approches théoriques.

• 2^e Partie : Surface et interface dans les semiconducteurs

- Interfaces entre deux matériaux semiconducteurs différents = hétérojonctions,
- Propriétés électriques,
- Les problèmes de surface dans les semi- conducteurs : états de surface, passivation.

CORROSION ET DURABILITE DES MATERIAUX

Cours : 14 h - TD : 10 h

“Comportement en service des Matériaux Métalliques”

Introduction à la corrosion humide

- Définition,
- Thermodynamique et électrochimie à l'interface métal/solution,
- Facteurs de Corrosion.

Introduction à l'étude de la corrosion sèche (oxydation)

- Approche thermodynamique,
- Cinétique des réactions : méthodes d'études et mécanismes de l'oxydation,
- Protection – Barrières Thermiques,
- Oxydation des alliages à hautes températures.

Corrosion dans la pratique industrielle

- Etude des mécanismes,
- Expertise des modes de corrosion,
- Caractérisation électrochimique du comportement des matériaux,
- Essais accélérés,
- Monitoring,
- Lutte et prévention de la corrosion.

Remarques : les TD sont l'opportunité d'explorer les différentes méthodes électrochimiques de la mesure de la corrosion en milieu aqueux.

COMPORTEMENT MECANIQUE DES MATERIAUX

Cours : 22 h - TD : 16 h

Introduction générale

Différents types de comportement. Matériaux fragiles. Matériaux ductiles. Viscoélasticité - Viscoplasticité.

Caractérisation des propriétés mécaniques : essais, caractéristiques mécaniques des matériaux. Essai de traction : principe, courbes conventionnelles, courbes rationnelles, strictions. Essai de compression.

Essai de flexion. Essai de dureté.

Résistance des matériaux fragiles

Déformation plastique des cristaux

Glissement cristallographique, dislocations et limite d'élasticité,

Mécanismes de durcissement,

Cas des polycristaux. Ductilité.

Rupture et ténacité

Rupture fragile : analyse de Griffith. Critère énergétique de la rupture brutale : définition de K_{Ic} et G_{Ic} . Mécanismes de rupture - Cas de la rupture ductile.

Fluage

Aspect phénoménologique : influence de la température et de la contrainte. Mécanismes de fluage : cas des métaux et céramiques.

Transition ductile - fragile : influence de la température.

Fatigue

Définition, courbes d'endurance, mécanismes de fatigue, vitesse de fissuration, facteurs influençant le comportement en fatigue.

Aspects moléculaires de la déformation et de la rupture des polymères

Cas des polymères amorphes, semi-cristallins et réticulés. Modes de déformation des polymères. Craquelage et cisaillement.

Etudes expérimentales. Modélisations.

Sélection des matériaux

Méthode des indices de performance. Exemple des propriétés thermomécaniques des matériaux technologique.

ELASTICITE ET RESISTANCE DES MATERIAUX

Cours : 12 h - TD : 16 h

• 1^{ère} Partie : Elasticité générale

Rappels.

Méthodes générales de résolutions.

Exemples de résolution tridimensionnelle :

- tube épais soumis à une pression .

Elasticité plane : fonction d'Airy :

- application à la flexion des poutres.

• 2^e Partie : Résistance des matériaux

Définitions,

Torseur des forces,

Relations courbures moments,

Contraintes dans une section,

Théorèmes énergétiques,

Matrices de rigidité,

Systèmes hyperstatiques.

• 3^e Partie : Stabilité

CONTROLE NON DESTRUCTIF

TD : 18 h

• 1^{ère} Partie : Rayonnement ionisants

Phénomènes physiques mis en jeu dans les méthodes traditionnelles et nouvelles de contrôles et de caractérisation par rayonnements ionisants

Paramètres fondamentaux influençant la qualité des images radiologiques,

- Principaux domaines d'application,

- Matériaux et composants contrôlables,

- Types de défauts décelables et dimensionnement,

- Stade de réalisation du contrôle dans le cycle de fabrication.

Action des rayonnements ionisants sur les tissus vivants. Radioprotection et réglementation

- Développements actuels de la radiologie,

- Contribution à la caractérisation de l'endommagement des matériaux,
- Analyse d'image et contrôle en temps réel,
- Fusion de données (avec signaux ultra-sonores par exemple ou contrôle visuel).

• 2^e Partie : Ultrasons

Propagation des ondes élastiques dans les solides

- Lieux isotropes : principaux types d'ondes,
- Vitesse de propagation, impédance acoustique, intensité acoustique,
- Transmission et réflexion à l'interface entre deux milieux isotropes,
- Notions sur la propagation dans les milieux hétérogènes et les solides anisotropes.

Production et détection des ondes ultrasonores

- Principaux phénomènes physiques utilisés,
- Nouvelles méthodes sans contact,
- Transducteurs piézo-électriques,
- Rayonnement des sources et conséquences sur le contrôle.

Principales méthodes de contrôle et domaines d'utilisation

- La méthode par transmission,
- L'échographie : principe, avantages, description sommaire d'une chaîne de contrôle, évaluation des performances, évolution des appareillages.

Méthodes de contrôle automatique

- Intérêt,
- La technique de l'immersion.,
- Principaux modes de représentation des résultats de contrôle.

• 3^e Partie : Courants de Foucault

Principe du mesurage, aperçu sur le conditionnement du signal

- Généralités,
- Principe du contrôle : types d'appareils, types de capteurs, mode de travail ; les éléments constitutifs des appareils ; l'analyse du signal de contrôle en module et en phase.

Approche phénoménologique des courants de Foucault

- Principe de l'analyse en module et en phase, son intérêt,
- Analogie électrique, modèle mathématique,
- Interprétation physique des résultats et intérêt du vecteur impédance réduite,
- Tendances actuelles des modélisations en courants de Foucault.

Plan d'impédance et diagramme d'impédance normé : Exemples d'application

- Mesures d'épaisseur absolue ou de revêtement conducteur ou non,
- Mesure de conductivité électrique ou de perméabilité magnétique,
- Recherche des conditions optimales de détection d'un défaut volumique.

CALCUL PAR ELEMENTS FINIS

Cours : 16 h - TD : 16 h

Introduction au calcul par éléments finis

Généralités sur les méthodes analytiques et numériques de résolution des équations différentielles.

Théorie des éléments finis : du problème continu au problème discret

- Les formulations variationnelles : application au problème thermique stationnaire et à la statique en petites déformations, statique des coques, problèmes à plusieurs champs,
- Discrétisation : méthode de Galerkin, conditions aux limites,
- Méthodes d'intégration numérique,
- Méthode d'assemblage,
- Problèmes dépendant du temps,
- Convergence.

Technique des éléments finis

- Maillage : méthodes, importation de maillage, mailles surfaciques et linéiques,
- Eléments et fonctions d'interpolation,
- Techniques d'intégration de Gauss,
- Techniques d'inversion de matrices : méthodes directes et itératives,
- Les codes de calcul : post-traitements.

Travaux Dirigés

Introduction au logiciel ANSYS.

- Calcul de statique 2D, calculs en contrainte et déformation planes,
- Calcul de statique 3D,
- Introduction aux non linéarités (plasticité, grandes déformations, contact),
- Couplage mécanique/thermique.

PLAN D'EXPERIENCE

Cours : 12h- TD : 3h - TP : 6 h

- Philosophie de l'approche TAGUCHI.
- Initiation aux outils des plans d'expérience.
- Méthode des plans d'expérience.
- Perte de Qualité et ratio signal/bruit.
- L'analyse TAGUCHI.
- Etudes des interactions.

Un cas pratique de réglage d'une catapulte et l'utilisation d'un logiciel est réalisé par les étudiants en groupes de 10.

TRAVAUX PRATIQUES

A - PHYSICOCHIMIE ET MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX (60 h)

Cet ensemble de Travaux Pratiques est en relation avec les cours de Métallurgie, Transformation de phases, Comportement Mécanique des matériaux, Céramiques, Matériaux Composites, Corrosion et Durabilité des Matériaux. Les sujets proposés ci-après sont au nombre de 18, divisés en 6 sous ensembles ou "thèmes". Sur chacun des thèmes les étudiants sont par groupe de 9 subdivisés en 3 trinômes ; chaque trinôme effectue d'abord l'un des TP du thème, puis une synthèse est réalisée par l'ensemble des 9 étudiants. Les séances de TP et de synthèse sont de 5 h.

T1 - Résistance mécanique des métaux et alliages (essais en traction), Rupture des matériaux par fluage, Rupture des matériaux par fatigue.

T2 - Méthode de durcissement des métaux, Restauration - Recristallisation de l'aluminium, Précipitation - Durcissement structural.

T3 - Austénitisation et Recuit des aciers de construction, Trempe des aciers de construction, Revenu des aciers de construction.

T4 - Matériaux -Corrosion - Environnement : corrosion du béton armé, Matériaux - Corrosion - Environnement, Passivation et piqûre d'un acier inoxydable : Evaluation de la tenue aux chocs thermiques des céramiques.

T5 - Elaboration d'un ressort à mémoire de forme en Cu - Zn - Al, Critères de résistance d'un matériau composite unidirectionnel, Phénomène de transformation de phase : solidification de l'aluminium (cristallisation)

T6 - Microanalyse par EDX au MEB, Mesure du taux de cristallinité et de la dimension des cristaux dans les matériaux semi-cristallins par diffracton de rayons X, Les solides vitreux.

B - MATÉRIAUX et DISPOSITIFS SEMI-CONDUCTEURS (52 h)

Cet ensemble de travaux pratiques a pour objectif de familiariser les étudiants aux différentes techniques d'élaboration et de caractérisation de matériaux et dispositifs semi-conducteurs. En plus de l'approche purement expérimentale, l'étude des procédés technologiques et du comportement électrique des dispositifs est développée dans quatre TP entièrement consacrés à la simulation.

OPTOÉLECTRONIQUE

TP 1 - Emetteur de lumière à semi-conducteur

TP 2 - Fibres optiques

DISPOSITIFS ET MATÉRIAUX SEMI-CONDUCTEURS

TP 3 - Caractérisation du transistor bipolaire

TP 4 - Caractérisation du transistor FET

TP 5 - Microscope à force atomique (AFM)

TP 6 - Ellipsométrie

TP7 - Dopage des semi-conducteurs : diffusion thermique

TP 8 - Cellules solaires

SIMULATIONS DE DISPOSITIFS

TP9 - Simulation électrique transistor bipolaire et transistor MOS

TP10 - Simulation des étapes technologiques de fabrication d'un transistor bipolaire

TP11 - Simulation des étapes technologiques de fabrication du transistor MOS

TP 12 - Projet de simulation

C - PROCÉDÉS D'ÉLABORATION ET CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX MACROMOLÉCULAIRES (40 h)

Objectifs

Faire pratiquer et observer un large panel d'expériences en laboratoire. Apprendre à exploiter des résultats et des documents techniques et scientifiques.

Préparer les étudiants

- à l'optimisation des procédés de fabrication,
- aux différents stades de la fabrication et du contrôle des polymères (études de techniques d'élaborations de polymères, de caractérisations, établissement de relations structure/mise en forme/propriétés des polymères),
- à assurer l'interface entre les centres de recherche et les usines. Sur chaque thème, les étudiants sont par groupe de 7 subdivisés en binôme et trinômes. Il y a 6 séances de 8h sur les 6 thèmes cidessus, plus une séance de synthèse de 4h.

Procédés de synthèse de polymères amorphes

- Cinétique de polymérisation en masse, analyses de chromatogrammes SEC,
- Polymérisation en suspension et en émulsion. - Notion de balance. Hydrophile lipophile, de colloïde, de surfactant.

Procédés et caractérisation de polymères semi-cristallins

- Polymérisation Ziegler-Natta de l'éthylène,
- Etudes de morphologies,
- Cinétiques de cristallisation.

Suivi de formation des réseaux

- Cinétique, rhéologie,
- Infra-Rouge, calorimétrie différentielle,
- Modélisation moléculaire, mesures de Mc.

Rhéologie et écoulement des Polymères

- Rhéologie aux petites déformations (viscoélasticimétrie),
- Rhéologie aux grandes déformations (état fondu),
- Viscosimétrie. Détermination des masses molaires.

Procédés de mise en forme

- Extrusion,
- Injection,
- Vulcanisation.

Surfaces et interfaces

- Tension superficielle de liquides,
- Chimie de surface de solides et caractérisation de l'énergie de surface,
- Tests d'adhérence.

D - CONTRÔLE NON DESTRUCTIF (40 h)

Les Travaux Pratiques de CND comportent 3 séances de 8 h sur les thèmes ci-dessous. Une synthèse globale de l'enseignement des CND (TD et TP) de 4h est faite à la fin.

T1 - Courants de Foucault

- Représentation dans le plan complexe de l'impédance d'une bobine,
- Mise en évidence des paramètres importants,
- Applications :
 - . Tri magnétiques des aciers selon nuance, dimensions, traitements thermiques...
 - . Recherche des défauts dans des tubes minces : discrimination entre défauts internes et externes.

Magnétoscopie

Détection des défauts dans des pièces d'acier utilisation de différents modes d'alimentation et des divers produits indicateurs (poudres et liqueurs magnétiques).

T2 - CND par Ultrasons

- Familiarisation avec les palpeurs droits et inclinés. Techniques d'étalonnage avec cale étalon normalisée,
- Analyse d'une pièce à géométrie complexe avec palpeur droit et incliné,
- Détection d'un défaut simulé sur la pièce précédente,
- Détection d'un défaut sur une pièce industrielle.

CND par Ressuage

Défauts stimulés et défauts réels sur une pièce industrielle qu'on détecte par ressuage.

T3 - Radiologie industrielle X et Gamma

- Utilisation d'un générateur de rayons X et d'une source gamma.
- Application au contrôle de pièces industrielles (soudage, fonderie, composites) ; contrôle radiographique selon une spécification de contrôle industriel. Interprétation des résultats.

PROJET ET STAGES

A - PROJET COLLECTIF MATÉRIAUX

TD : 20 h + x

Projet pluridisciplinaire par groupe de 6 à 8 étudiants.

Dans l'emploi du temps, 20 h sont prévues pour les réunions en commun ou séminaires.

Objectifs du projet collectif

1 - Projet pluridisciplinaire cherchant à intégrer les connaissances sur les différentes classe de matériaux au cours de la 3^e et 4^e année.

2 - Entraîner l'élève-ingénieur à vivre les relations, l'organisation et le management (pratiques et contraintes) du projet collectif.

3 - Habituer l'élève à passer ponctuellement d'une mesure de la performance individuelle (correspondant à un état scolaire) à la mesure de la performance collective, sur laquelle il est capable d'identifier son impact.

4 - Permettre, sous certaines conditions pédagogiques d'accompagnement l'appropriation d'outils de l'ingénieur du domaine des ressources humaines : connaissances, méthodes d'analyse et techniques en communication, organisation, dynamique de groupe, animation et conduite de réunion, régulation des tensions.

5 - Favoriser l'intégration ultérieure des réseaux professionnels. Chaque projet est proposé par un enseignant – tuteur et un étudiant responsable du projet devra être désigné. L'ensemble des projets seront présentés lors d'une journée de soutenance devant l'ensemble de la promotion et des enseignants – tuteurs. Un rapport de synthèse écrit de 20 pages maximum sera remis à la fin du projet.

B - PROJET PROFESSIONNEL ET TUTORAT

Cours - TD : 6h

Le Projet Professionnel et le Tutorat amorcés en 3^e année, se poursuivent en 4^e année, dans le cadre du module RESSOURCES HUMAINES ET STAGES.

C – STAGE DE FIN DE 4^e ANNÉE

Le stage de quatrième année débute le 1^{er} juin. Une durée de 2 mois est obligatoire avec la possibilité de prolonger le stage jusqu'au 15 septembre. Une durée totale de 3,5 mois est donc possible. Le stage peut avoir lieu en entreprise ou en laboratoire. Lorsque l'étudiant part à l'étranger, il n'y a pas de requis pour le type d'entreprise. De même, le stage peut être purement linguistique. Le stage donne lieu à une évaluation.

CONNAISSANCE ET STRATEGIES DES ENTREPRISES

Cours : 3h – TD : 40h

L'entreprise est une organisation de production de biens et de services qui fonctionne grâce à des moyens humains et matériels. Quelle que soit la taille de l'entreprise, tous les métiers sont assurés par des personnalités qui ont souvent des caractéristiques métiers fortes. Toutes ces personnalités doivent échanger et collaborer pour le bien commun.

L'entreprise échange également et en permanence avec son environnement extérieur où elle doit trouver et maintenir sa position. Ses clients, ses fournisseurs de matières premières, de biens intermédiaires, de capitaux, d'énergie, de savoir, de travail constituent autant des flux d'échanges à suivre, comprendre, gérer L'entreprise est un système complexe aux multiples niveaux d'analyse, d'action, de prise de décision, qu'elles soient stratégiques, tactiques, opérationnels.

L'objectif du programme est de présenter à l'étudiant l'entreprise comme un système totalement lié à son environnement et dont la survie et l'évolution en sont totalement dépendants.

INNOVATION

L'innovation est une nécessité, voire même un devoir, pour toute entreprise ! La créativité doit être stimulée et l'innovation au sein de l'entreprise doit faire partie de sa stratégie.

L'innovation doit entrer dans son organisation.

PROPRIETE INDUSTRIELLE ET VEILLE

La propriété intellectuelle est abordée dans sa globalité. L'accent est porté sur la protection industrielle. Le brevet est étudié comme outil essentiel de valorisation des innovations, un élément essentiel de la veille technologique et outil de créativité. Les autres titres de propriété industrielle sont présentés (marques, dessins et modèles).

STRATEGIE PRODUITS ET STRATEGIE COMMERCIALE

Le produit ou le service est la base de l'entreprise. Leur conception utilise la créativité et des techniques telles que l'analyse de la valeur. L'analyse du marché et la stratégie de marketing-mix (produit, prix, promotion, distribution) permet de préciser les choix.

RESSOURCES HUMAINES

Au-delà des opérations élémentaires de la gestion des effectifs, des rémunérations et des carrières, les relations sociales sont un élément essentiel de la maîtrise du système entreprise : Partage de l'information, pilotage et décision, identité et culture d'entreprise, consultation et dialogue social, participation et intéressement.

L'étudiant est sensibilisé aux métiers liés à la technique mais également aux métiers liés au marketing et au commercial, notamment international. Sa connaissance des caractéristiques de ces métiers doit faciliter ses échanges et le préparer à une collaboration plus efficace encore.

STRATEGIE D'ENTREPRISE

L'étude de l'évolution d'une entreprise depuis sa création, l'analyse de son environnement actuel, permettent de mieux comprendre sa situation et sa stratégie actuelle et parfois d'anticiper ses perspectives d'avenir. L'intelligence économique est présentée comme étant incontournable pour l'entreprise et une véritable source de richesses.

GESTION FINANCIERE

L'ingénieur n'est pas un comptable mais il est gestionnaire de son projet, si petit soit il. Il est donc souhaitable qu'il possède un minimum de connaissances financières pour gérer son portefeuille et dialoguer avec les spécialistes de la finance.

Les processus de financement des entreprises à partir de plan de développement d'affaire (business-plan) est utile pour la création d'entreprise mais aussi pour toutes les pratiques d'intrapreneuriat essentielles au développement des entreprises.

ENVIRONNEMENT JURIDIQUE

Sont présentées, les différences essentielles entre les divers statuts d'entreprises. Une présentation des droits des affaires donne à l'étudiant les connaissances minimales pour discuter de règlements, d'engagement contractuel au travers du cahier des charges fonctionnel.

DIVERS & ACTUALITES

Des cours improvisés peuvent être proposés pour répondre aux interrogations des étudiants sur les sujets d'actualité pour lesquels ils se sentent concernés. Ces interventions doivent leur permettre d'acquérir des connaissances complémentaires pour les aider à mieux interpréter les événements d'actualité. Ainsi sont traités les sujets suivants : nature et finalités des systèmes financiers, typologies des marchés de capitaux, de la crise financière et bancaire à la récession économique...

LANGUES

Cours : 78 h

• ANGLAIS

Le niveau des élèves est examiné à la fin de la 3^e année ; ceux dont les résultats aux deux tests sont jugés satisfaisants sont dispensés d'anglais en 4^e année et peuvent étudier une autre langue pour la totalité de l'horaire.

Il ne subsiste qu'un groupe d'anglais en 4^e année qui dispense un enseignement de rattrapage (2h) fondé sur les mêmes principes pédagogiques qu'en 3^e année.

• ALLEMAND

Voir programme 3^e année.

• AUTRES LANGUES

Voir programme 3^e année.

EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE

Cours : 52 h

Voir programme 3^e année.