



SGM

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE LYON

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

FORMATION

DIPLÔME SCIENCE ET GÉNIE DES MATERIAUX

DÉPARTEMENT SCIENCE ET GÉNIE DES MATÉRIAUX

UNIVERSITÉ DE LYON



PRESENTATION GÉNÉRALE DU DÉPARTEMENT

Les objectifs du département SGM sont la formation d'un ingénieur **polyvalent** capable d'intervenir dans l'ensemble de la chaîne matériaux : élaboration, mise en oeuvre, caractérisation, utilisation, modélisation et choix des matériaux. L'ingénieur SGM est également apte à assumer des responsabilités d'encadrement ou de gestion de projets. Il participe, soit à l'évolution des matériaux, soit au développement et à l'innovation des **matériaux nouveaux** (nanostructures, multifonctionnels...).

L'ingénieur SGM est aussi capable d'intervenir dans les domaines de la mesure, du contrôle et de l'analyse.

De par sa formation généraliste l'ingénieur SGM intervient au sein de secteurs d'activité très variés concernés par les **matériaux de fonction et/ou de structure** : Matériaux et composants semi-conducteurs, microélectronique, photovoltaïque, optoélectronique, nanotechnologies, capteurs et microcapteurs, matériel électrique, mécanique, biomatériaux, aéronautique, armement, transport, métallurgie, sidérurgie, chimie, plasturgie, caoutchouc, ciments, réfractaires, pétrochimie, verres, nucléaire, énergie, instrumentation...

Il s'intègre dans l'ensemble du **tissu industriel** : grandes entreprises, PME/PMI, centres techniques, bureaux d'études, et il occupe des fonctions très diverses au sein des entreprises : études, recherche et développement, chef de projets, production, maintenance, contrôle, mesures, expertise, management, technico-commercial, chercheur...

La formation dispensée par le département SGM permet d'acquérir les **connaissances scientifiques de base** à la compréhension des phénomènes intervenant dans l'analyse et le contrôle des produits et processus industriels. **Ses compétences techniques** rendent l'ingénieur SGM apte à choisir entre les matériaux et à opter pour des solutions nouvelles qui rendent possibles les adaptations de l'industrie au contexte concurrentiel international. Il est capable de maîtriser **l'ensemble de la chaîne des matériaux**, de l'élaboration jusqu'aux propriétés et au contrôle, en y incluant les problèmes de **cycle de vie et d'environnement et de développement durable**. Cette maîtrise lui permet d'établir des relations entre **microstructures**, processus de production et **propriétés d'usage** des matériaux.

L'approche pluridisciplinaire (chimique, mécanique, physique, thermique) de la formation SGM est complétée en 5^e année par l'acquisition de savoirs spécifiques dans le cadre de trois options :

- Semiconducteurs, Composants et Micro-nanotechnologies
- Matériaux de Structure et Durabilité
- Polymères et Procédés de Fabrication

Le département SGM offre aussi aux étudiants la possibilité de préparer en double cursus lors de la 5^e année un Master Recherche avec un large choix de spécialités et de pouvoir poursuivre ensuite en doctorat (**formation par la recherche**). De ce point de vue, le département SGM s'appuie sur un potentiel de recherche important et reconnu aux niveaux national et international autour de quatre Laboratoires :

- Laboratoire MATEIS, Matériaux : Ingénierie et Science (UMR 5510)
- Ingénierie des Matériaux Polymères, Laboratoire des Matériaux Macromoléculaires (UMR CNRS 5223)
- Institut des Nanotechnologies de Lyon (UMR 5270)

Outre sa formation scientifique, l'ingénieur SGM possède la culture et les capacités pour sa réussite dans ses fonctions : culture humaniste, culture industrielle et scientifique, qualités relationnelles et méthodologiques, capacités linguistiques et culture internationale, capacités physiques et sportives.

La connaissance qu'il a de lui-même l'amène à savoir développer ses points forts, perfectionner et élargir ses compétences et être actif dans son projet professionnel.

Le département SGM a la volonté de développer les relations internationales : ouverture vers l'extérieur sous forme d'une année académique ou d'un stage, ouverture en particulier sur l'Europe, diversification des destinations à l'échelle mondiale, accueil d'étudiants étrangers.

La **pédagogie** mise en place valorise :

- l'autonomie et l'initiative de l'élève-ingénieur,
- les méthodes actives : l'élève-ingénieur sera mis en situation d'acteur,

- le rôle pédagogique des travaux pratiques,
 - la gestion de projet (notamment collectif) le préparant à sa fonction de cadre,
 - la formation en sciences humaines, connaissance de l'entreprise, management, et stratégie,
 - une démarche qualité de l'enseignement,
 - les liens avec le monde socio-économique par :
 - . Le stage en fin de 4^e année, en entreprise, en laboratoire ou linguistique, qui est une opportunité pour l'élève-ingénieur d'affiner des choix dans son projet professionnel.
 - . Le Projet de Fin d'Etudes en 5^e année qui est réalisé en relation étroite avec des entreprises, voire sur site. Il met l'élève-ingénieur en situation de s'attaquer à un problème complexe et à trouver les démarches pour le résoudre.
 - . Le stage en fin de 5^e année qui met l'élève-ingénieur en situation réelle et qui est destiné à familiariser le futur ingénieur au métier qui l'attend et à lui permettre de confronter ses connaissances aux problèmes industriels concrets.
 - . L'intervention de professionnels de divers secteurs.
 - . La visite de sites industriels.
- Le développement de nouvelles relations enseignants-étudiants par la mise en oeuvre du projet personnel et professionnel permettant à chaque élève-ingénieur de réfléchir sur les choix qu'il doit effectuer.

En conclusion :

La formation donnée dans le département Science et Génie des Matériaux prépare les ingénieurs à l'évolution des matériaux et aux innovations des prochaines années.

Le but ultime étant de :

“Mieux comprendre pour mieux concevoir, mieux choisir, mieux modéliser, mieux produire et mieux utiliser”.

LES PERSONNELS

DEPARTEMENT

- Directeur du Département
Pr Xavier KLEBER
Tél. 04 72 43 82 03
- Secrétaire du Département et des Stages
Françoise PICARD
Tél. 04 72 43 70 48
Fax 04 72 43 85 17
- Directeur Adjoint
Pr Christian OLAGNON / Pr Mustapha LEMITI
Tél. 04 72 43 87 31
- Responsables des Etudes
Pr Mustapha LEMITI (3 et 4SGM)
Tél. 04 72 43 87 31
Pr Bernard NORMAND (5SGM)
Tél. 04 72 43 62 87
- Secrétaire des Etudes
Patricia LANGELOT
Tél. 04 72 43 71 58
- Responsable des Stages
Dr Françoise FENOUILLOT
Tél. 04 72 43 83 81
- Responsables des Relations Internationales
Pr Bruno MASENELLI : Tél. 04 72 43 74 72
Dr Alain FAVE : Tél. 04 72 43 84 64
Dr Damien FABREGUE : Tél. 04 72 43 81 79
- Secrétaire des Relations Internationales
Patricia LANGELOT
Tél. 04 72 43 71 58
- Responsable Plate-forme
Matériaux et Dispositifs Semi-conducteurs
Pr Mustapha LEMITI
Tél. 04 72 43 87 31
- Responsable Plate-forme
Polymères et Procédés de Fabrication
Dr Frédéric LORTIE
Tél. 04 72 43 61 24
- Responsable Plate-forme
Matériaux de Structure et Durabilité
Pr Christian OLAGNON
Tél. 04 72 43 84 93
- Responsable Physico-chimie Industrielle
Pr Bernard NORMAND
Tél. 04 72 43 62 87

LABORATOIRES DE RECHERCHE

MATEIS

MATÉRIAUX : INGÉNIERIE ET SCIENCES

UMR - CNRS 5510

- Directeur : Pr Jérôme CHEVALIER
- Secrétariat Tél. 04 72 43 83 82
 Fax. 04 72 43 85 28

IMP/LMM

INGÉNIERIE DES MATÉRIAUX POLYMÈRES

LABORATOIRE DE MATÉRIAUX POLYMÈRES

UMR - CNRS 5223

- Directeur : Pr Etienne FLEURY
- Secrétariat Tél. 04 72 43 89 79
 Fax. 04 72 43 85 27

INL

INSTITUT DES NANOTECHNOLOGIES DE LYON

UMR - CNRS 5270

- Directeur : Dr Catherine BRU-CHEVALLIER
- Secrétariat Tél. 04 72 43 60 79
 Fax. 04 72 43 85 31
-

LES TABLEAUX HORAIRES

3e année						
Durée des enseignements en heures réelles						
	1er Semestre 16 Semaines			2e Semestre 16 Semaines		
	Crs	TD	TP	Crs	TD	TP
Caractérisation structurale et microstructurale	32	28				
Circuits électroniques - signaux et systèmes	32	16				
Mathématique	24	24				
Physicochimie des matériaux macromoléculaires	24	14				
Physique du solide	26	14				
Physique statistique	26	10				
Science Humaine et Communication	0	30				
Techniques numériques pour l'ingénieur	0	36				
Défauts dans les solides et diagrammes d'équilibre				22	16	
Matériaux semiconducteurs				16	8	
Mécanique des solides déformables				14	8	
Mesures - Capteurs				10	20	
Physicochimie des matériaux minéraux				18	12	
Probabilités statistiques				24	0	
Transferts thermiques et mécanique des fluides				24	12	
Projets collectifs : métiers de l'ingénieur						25
TP 1s : matériaux mesures optoélectronique			48			
TP 2s-1 informatique						16
TP 2s-2 capteurs - caractérisation des matériaux semi-conducteurs						21
TP 2s-3 cristallographie - matériaux de structure						21
TP 2s-4 électronique - signaux et systèmes						21
Langues	48			48		
EPS	30			30		
Total	242	172	48	206	76	104
Total semestriel	462			386		
Total année	848					

4e année						
Durée des enseignements en heures réelles						
	1er Semestre 16 Semaines			2e Semestre 16 Semaines		
	Crs	TD	TP	Crs	TD	TP
Comportement mécanique des matériaux	22	16				
Corrosion et durabilité des matériaux	14	10				
Elasticité et résistance des matériaux	12	16				
Matériaux et dispositifs semiconducteurs	42	20				
Métallurgie	28	16				
TP : matériaux et composants semiconducteurs			40			
TP : physicochimie et mécanique des matériaux			60			
Céramiques et poudres				20		
Composants et microsystemes				12		
Connaissance et stratégie d'entreprises				3	40	
Contrôle non destructif				18		
Eléments finis				16	16	
Matériaux composites				15	2	
Matériaux polymères				35	20	
Plans d'expériences				12	3	6
Projets collectifs matériaux					7	50
Surfaces - Interfaces - adhésion				15		
TP : caractérisation des composants semi-conducteurs						12
TP : matériaux polymères						40
TP contrôle non destructif						24
Langues	39			39		
EPS	26			26		
Total	183	78	100	211	88	132
Total semestriel	361			431		
Total année	792					

5e année		
Durée des enseignements en heures réelles		
	Annuel 21 semaines de septembre à mars	
	Cours - TD	TP - projets
Tronc commun - humanités		
Management	15	
Langues	40	
EPS	28	
Cours Options MSD :		
Choix des matériaux	16	
Traitements de surfaces et revêtements	16	
Mise en forme des matériaux métalliques	16	
Ingenierie des Surfaces	16	
Nanomatériaux polymères multifonctionnels	16	
Micromécanique des Composites	16	
Les Biomatériaux	16	
Matériaux du point de vue industriel	16	
Cours Options PPF :		
Mécanique et durabilité	16	
Procédés et modélisation	16	
Formulation et mélanges de polymères	16	
Chimie et durabilité	16	
Design et conception	16	
Polymères pour le vivant	16	
Polymères pour un développement durable	16	
Nanomatériaux polymères	16	
Cours Options SCM :		
Semiconducteurs et nanostructures	16	
Dispositifs MOS avancés	16	
Nanofabrication de circuits intégrés avancés	16	
Modélisation numérique des dispositifs sur silicium	10	
Microcapteur et microsystèmes	16	
Matériaux et composants photoniques	16	
Conversion photovoltaïque	16	
MicroSystèmes intégrés de production d'énergie	16	
Séminaires : packaging et fiabilité des semiconducteurs	8	
Projets options MSD - PPF - SCM		
mini projets		88
projet de fin d'études		290
Enseignement Optionnel transverse		
Matériaux et environnement	32	
Options transversales	96	
Filière ingénieur entreprendre		
Stage à partir d'avril	entre 4 et 6 mois	
Total	211	378
Total année	589	

PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES

3^{ème} année

MATHEMATIQUES

Cours : 48 h - TD : 54 h

Cet enseignement se présente sous la forme de deux modules :

Module 1 : Outils mathématiques

(C : 24 h, TD : 24 h)

- Généralités sur les intégrales généralisées,
- Fonctions gamma et béta,
- Transformation de Laplace,
- Transformation de Fourier,
- Séries de Fourier,
- Etudes de familles de polynômes orthogonaux,
- Utilisation du logiciel MAPLE.

Module 2 : Probabilités et Statistique

(C : 24 h, TD : 30 h)

- Statistiques descriptives,
- Généralités sur le calcul des probabilités,
- Variable aléatoire. Vecteur aléatoire,
- Principales lois de probabilités discrètes et continues,
- Lois d'échantillonnage,
- Estimations ponctuelles et intervalle de confiance,
- Généralités sur les tests. Risques de 1^{er} et de 2^e espèce,
- Comparaison d'une moyenne ou d'un écart - type à une valeur standard,
- Tests d'ajustement : droite de Henry, test du chi-deux, Test de Kolmogorov, test de Lilliefors,
- Utilisation du logiciel EXCEL.

TECHNIQUES NUMERIQUES POUR L'INGENIEUR

TD : 36 h

Partie 1 : Introduction à MATLAB

- Environnement MATLAB
- Déclaration d'objet, de variables et les manipuler
- Entrées et sorties
- Programmer sous MATLAB : scripts, fonctions, structures de contrôle,
- Analyse numérique : équa. diff., dérivée, minima,
- Graphisme 2D, 3D et animations

Partie 2 : Introduction à EXCEL

- Manipulation sur les cellules et les feuilles de calcul
- Calculer sur EXCEL : calcul direct, les fonctions,
- Représentation graphique

Partie 3 : Introduction à VBA

- Environnement VBA
- Création de macros : enregistreur, modules et procédures via l'éditeur
- Sélection et valeur de cellules
- Les variables
- Programmer sur VBA : structures de contrôle, les fonctions,
- Fenêtres interactives : boîtes de dialogues, événements et userform

PHYSIQUE DU SOLIDE PARFAIT

Cours : 26 h - TD : 14 h

• 1^{ère} Partie : de l'atome au solide

- Liaison interatomique, formation de la molécule,
- Vibration moléculaire, spectroscopie infrarouge, Raman,
- Etat condensé de la matière : les solides.

•

2^e Partie : comportement statique et dynamique des solides

- Contrainte et déformation,
- Les constantes élastiques.

• 3^e Partie : vibration de réseau, phonons, et propriétés thermiques

- Réseaux unidimensionnels,
- Réseaux tridimensionnels : phonons,
- Modèles de Einstein, Debye,
- Chaleur spécifique,
- Conductivité thermique.

• 4^e Partie : propriétés diélectriques des Isolants

- Polarisabilité,
- Champs local,
- Permittivité et fréquence,
- Pyroélectricité et ferroélectricité,

Les propriétés électroniques des solides sont traitées dans le cadre du cours d'électronique¹.

• 5^e Partie : propriétés magnétiques

- Susceptibilité,
- Diamagnétisme, paramagnétisme, et ferromagnétisme,
- Théorie de champ moyen, lois de Curie et Curie - Weiss.

PHYSIQUE STATISTIQUE

Cours : 26 h - TD : 10 h

Introduction à la Physique Statistique

- Incertitude et probabilité, la physique du hasard,
- Marche au hasard, loi de Gauss.

Théorie Cinétique des Gaz

- Hypothèse de la théorie cinétique,
- Loi de distribution des vitesses de Maxwell,
- Equation d'état du gaz,
- Théorie moléculaire des phénomènes de transport,
- Epitaxie à jets moléculaires, séparation isotopique par diffusion gazeuse.

Etat des Systèmes Physiques

- Etats quantiques,
- Densité d'états.

Description Statistique des Systèmes Physiques

- Système isolé,
- Interactions entre systèmes,
- Distribution canonique, fonction de partition,
- Potentiel chimique, température.

Les Distributions Statistiques des Systèmes Physiques

- Notion de gaz parfait discernable et indiscernable,
- Le principe d'exclusion : bosons et fermions,
- Occupation des niveaux,
- Statistiques quantiques.

Grandeurs Physiques

- Détermination des grandeurs physiques à partir des fonctions de partition,
- Le gaz parfait,
- Systèmes à deux niveaux,
- Equipartition de l'énergie,
- Vibrations : gaz diatomiques et modèle d'Einstein des solides.

Evolution des Systèmes Physiques

- Equation d'évolution : Principe du bilan détaillé,
- Cas des systèmes à deux niveaux,
- Perturbation du système, temps de réponse,
- Théorie des lasers : pompage, inversion de population,
- Interaction avec un rayonnement résonnant,
- Séparation isotopique par lasers.

La Thermodynamique retrouvée

- Les principes,
- Equilibre.

Thermodynamique des Corps Purs

Non-Homogènes

- Potentiel chimique,
- Equilibre dans un champs extérieur,
- Changement de phase des corps purs,
- Modèles statistiques des changements de phase du premier ordre.

Physique des Fermions et des Bosons

- Gaz de FERMI,
- Gaz des bosons - Modèle de DEBYE,
- Lois du rayonnement.

SOLIDE REEL ET DIAGRAMMES D'EQUILIBRE

Cours : 22 h - TD : 16 h

Introduction

Présentation générale du solide cristallin réel :

- avec l'introduction de défaut ponctuels, linéaires (dislocations), surfaciques et volumiques,
- avec l'évocation des conséquences notamment sur les propriétés de diffusion atomique et les propriétés mécaniques.

Les défauts ponctuels

- Les défauts ponctuels élémentaires intrinsèques et extrinsèques,
- Perturbations dues aux défauts ponctuels (électronique, élastique),
- Variation de paramètre cristallin, de volume,
- Energie élastique du défaut ponctuel,
- Thermodynamique des défauts ponctuels intrinsèques : concentration à l'équilibre.

Diffusion à l'état solide

- Importance pratique de la diffusion,
- Mécanismes élémentaires de la diffusion, rôle des défauts ponctuels,
- Migration d'une lacune sous l'action d'une force,
- Relation d'Einstein. Coefficient de diffusion,
- Nature des forces. Lois de Fick et exemples d'applications.

Les Dislocations

- La dislocation explication de la plasticité "facile" des solides cristallins,
- Etude géométrique des dislocations : coins, vis, quelconque, boucle de dislocation. Circuit et vecteur de Burgers, règles élémentaires,
- Mouvements des dislocations ; glissement, montée. Loi Orowan,
- Forces appliquées sur les dislocations par l'action d'une contrainte : équation de Peach et Koehler,
- Autres forces appliquées aux dislocations,
- Déplacements et contraintes autour d'une dislocation (vis, coin),
- Energie élastique d'une dislocation,
- Intersection des dislocations, crans, décrochement,
- Multiplication des dislocations, plans, directions et systèmes de glissement,
- Dislocations dans les structures simples (c.f.c., c.c.), notions de dislocation imparfaite et de faute d'empilement,
- Observation des dislocations.

Les imperfections surfaciques

- Fautes d'empilement, joints de macles,
- Joints de grains (faible et forte désorientation).

Les imperfections volumiques

Diagrammes d'équilibre et microstructure

- Diagrammes binaires, généralités,
- Diagramme eutectique, péritectique et quelconque,

- Introduction aux diagrammes ternaires, représentation et exemples,
- Les bases thermodynamiques des diagrammes,
- Méthodes expérimentales de détermination des diagrammes,
- Le diagramme d'équilibre, outil privilégié de l'étude de la microstructure.

Les Microstructures

- Monocristaux, polycristaux monophasés, polycristaux multiphasés,
- Microstructures de solidification à l'équilibre, solidification entectique...
- Microstructures associées aux transformations de phase à l'état solide, transformation entectoïde...

Le cours et les TD sont complétés par la disponibilité de travail autoformation en salle informatique par l'utilisation du CD Rom "Materials Science".

CARACTERISATION STRUCTURALE ET MICROSTRUCTURALE

Cours : 30 h - TD : 28 h

Le programme est pensé pour apporter des connaissances de base sur la structure des cristaux et la physique de l'interaction rayonnement matière en vue d'une application à l'exposé des méthodes de caractérisation physiques. Les méthodes expérimentales de caractérisation exposées s'appuient sur l'utilisation du phénomène de diffraction (diffractométries et imageries) et des phénomènes d'absorption/ émission (spectroscopies).

Description des cristaux

- Rappels de cristallographie,
- Groupes ponctuels et spatiaux,
- Tables Internationales (lecture).

Radiocristallographie

- Indexation et représentation des plans réticulaires,
- Le phénomène de diffraction,
- Production et propriétés des Rayons X,
- Diffusion X,
- Méthodes expérimentales (poudres, Laue, cristal tournant),
- Textures.

Imageries Electroniques

- Diffraction électronique,
- Imagerie à balayage (modes SEI, BEI),
- Imagerie en transmission (mode HR).

Spectroscopies

Aspects généraux sur le choix de la méthode,

- Spectroscopie EDX, WDX,
- Spectroscopie ESCA, Auger,
- Spectroscopie RMN.

Travaux Dirigés

- Structures simples - Calculs de rayon atomique et de densité - Notion de compacité idéale,
- Sites dans les structures simples - Calculs du rayon de contact - Application aux interstitiels,
- Symétries 2D - Recherche des éléments symétrie et du groupe,
- Symétries 3D - Construction d'une structure (ZnS-wurtzite ou calcite CaCO₃) et recherche des éléments de symétrie,
- Constitution d'un groupe et de son degré de symétrie + changement de base cubique rhomboédrique,
- Utilisation du logiciel CARINE pour le calcul et une analyse des facteurs de structure,
- Projection stéréographique dans le système quadratique - Construction et utilisation,
- Dépouillement d'un spectre de diffraction du composé A₁₃BC, - Recherche du réseau et indexation des raies,
- Analyses des extinctions sur le spectre précédent - Recherche du symbole d'extinction et des groupes d'espace possibles,
- Diffraction électronique d'une poche de cobalt dans un cermet - Identification de la phase cubique et analyse du mécanisme de transformation cubique hexagonal,
- Etude d'un spectre EDX- identification des pics et des éléments - Approche du dosage,
- Etude d'un spectre ESCA et effets de la Liaison chimique,
- Etude d'un spectre Auger - Identification des éléments - Comparaison Auger/ESCA,
- Etude d'un spectre RMN - Reconnaissance de la formulation - Application aux polymères.

ELECTRONIQUE 1 : CIRCUITS ELECTRONIQUES DE BASE

Cours : 12 h - TD : 6h

L'objectif de ce cours est d'étudier les principaux montages de base de l'électronique utilisant des transistors bipolaires, à effet de champ, ainsi que les amplificateurs opérationnels.

Programme du cours : 6 semaines (12 heures)

- Introduction : de l'électronique dans le vide à l'électronique intégrée
- Notions générales sur les quadripôles
- Paramètres hybrides et modèles « petits signaux »
- Amplificateurs à transistors bipolaires
- Amplificateurs à transistors à effet de champ
- Amplificateurs opérationnels (AOP)
- Montages à AOP en régime linéaire
- AOP utilisés en comparateurs
- Montages à AOP en régime non linéaire

Programme des TD : 3 semaines (6 heures)

- Deux séances sont consacrées aux circuits à transistors et une séance aux montages à amplificateurs opérationnels.

ELECTRONIQUE 2 : SYSTEMES ET SIGNAUX

Cours : 20 h – TD : 10h

I. Systèmes linéaires

- Réponses particulières d'un système scalaire,
- Calcul opérationnel : transformée de Laplace,
- Mise en équation d'un système linéaire scalaire,
- Performances d'un système linéaire.

II. Systèmes automatiques linéaires

- Notion de système asservi,
- Diagramme fonctionnel,
- Stabilité, précision et rapidité,
- Correcteurs.

III. Signaux analogiques

- Transformée de Fourier,
- Filtrage de signaux analogiques,
- Signaux aléatoires, bruit,
- Étude d'un système de mesure: la détection synchrone.

IV. Signaux numériques

- Echantillonnage,
- Quantification,
- Restitution de signaux analogiques,
- Analyse spectrale des signaux discrets,
- Notions de filtrage numérique.

MATERIAUX SEMI-CONDUCTEURS

Cours : 18 h - TD : 8h

Connaissance de base des propriétés physiques des matériaux semiconducteurs pour aborder les cours ultérieurs sur les dispositifs.

Programme :

- Introduction : de l'électron dans le vide à l'électronique intégrée,
- Les familles de matériaux semi-conducteurs,
- Propriétés de semi-conducteurs intrinsèques,
- Bandes d'énergies, occupation des niveaux,
- Conduction : porteurs libres, masses effectives,
- Variations en température,
- Propriétés de semi-conducteurs dopés,
- Dopages N et P,
- Conduction,

- Diode à jonction PN,
- Niveaux d'énergie, zone de charge d'espace,
- Barrière interne.

PHYSICOCHIMIE MACROMOLECULAIRE

Cours : 24 h - TD : 14 h

Structure des molécules organiques

Pourquoi la chimie organique ?

- Les liaisons C-C,
- Notion de liaison, hybridation :
- Effet inductif et effet mésomère,
 - Structures.

Liaisons intermoléculaires, conformations, configurations :

- Notion de macromolécule - Définitions.

Polymolécularité des composés macromoléculaires.

En quoi les polymères sont différents des autres matériaux (métalliques...).

Caractéristiques physiques des macromolécules

- Stéréorégularité, conformations, configurations.

Stéréorégularité et configuration en rapport avec les différentes isoméries.

Conformations des chaînes régulières ou statistiques.

Assemblage de chaînes (désordre configurationnel et conformationnel).

- Transformations structurales des polymères.

Description expérimentale, Transition vitreuse et Fusion.

En quoi les polymères sont différents des autres matériaux (métalliques...).

- Cinétique de cristallisation des polymères.

Période d'induction, croissance des entités cristallines, cinétique globale Contrôle des morphologies cristallines.

Réaction de synthèse des composés macromoléculaires

- Notion de réaction chimique et cinétique,
- Polycondensation linéaire (et/ou polyaddition),
- Polymérisation en chaîne (amorçage, cinétique, masses molaires, réactions de transfert),
- Copolymérisations en chaîne,
- Notion sur la synthèse des réseaux polymères par polycondensation (polyaddition) et polymérisation en chaîne.

PHYSICOCHIMIE DES MATERIAUX MINERAUX

Cours : 18 h - TD : 12 h

Rappel de Chimie Générale

- La classification périodique et les propriétés des éléments,
- Les liaisons, les réactions chimiques, les forces de cohésion dans les solides, les propriétés des composés,
- Les états de la matière (y compris les états intermédiaires),
- Les éléments de nomenclature en chimie minérale.

Les Matériaux et les Solutions

- Dissolution d'un matériau dans un liquide (processus et énergétique)
- Dissociation ionique – Concentrations et activités,
- Diversité des solvants liquides (le cas de l'eau),
- Acido-basicité (milieux aqueux et non aqueux),
- Rappels d'oxydo-réduction,
- Solubilité et précipitation (cas des métaux lourds),
- Formation et stabilité des complexes (application),
- Systèmes dispersés et état colloïdal,
- Applications : traitements des eaux, élaboration de matériaux : synthèse des poudres, méthodes sol-gel, hydrométallurgie, électrométallurgie...

Les Solides Minéraux et les Gaz, les réactions chimiques en phase solide, applications aux transformations pyrométallurgiques

- Aspect thermodynamique,
- Les diagrammes d'Ellingham avec application à la formation des oxydes, nitrures, carbures, chlorures et sulfures, à la réduction des oxydes, au grillage des sulfures et à la chloruration des oxydes,
- Aspects cinétiques, conséquences pour les phénomènes d'oxydation à haute température la métallurgie structurale, les matériaux réfractaires, l'élaboration, la catalyse, l'activation thermique, la diffusion en phase solide (notion de barrière),
- La métallurgie en bain fondu, l'affinage du métal ou de la matte liquide...

Remarque : Les différents procédés d'élaboration (fonte, acier à partir de la fonte, aluminium, nickel, cuivre, zinc, magnésium, titane et zirconium, céramiques...) sont traités lors d'exposés en TD préparés par groupe de trois étudiants.
(4 heures sur 12)

CAPTEURS

Cours : 10 h - TD + Projets : 20 h

Généralités

- Définition, descriptions, transductions potentiométriques, capacitives, inductives.

Les Grandeurs Thermiques

- Thermocouples, thermosondes, pyrométrie.

Les Grandeurs Mécaniques

- Méthodes extensiométriques, capteurs piézoélectriques.

Conférenciers extérieurs

- Les microcapteurs et les microtechnologies,
- Les biocapteurs.

Travaux Dirigés

- Capteurs thermiques : les thermocouples, les pyromètres,
- Capteurs de déplacement,
- Capteurs de pression,
- Capteurs de déformation.

Projets avec exposés

Les sujets seront centrés autour de thèmes qui concernent notre vie de tous les jours :

- Capteurs et moyens de transport,
- Capteurs et télécommunications,
- Les capteurs de l'audiovisuel,
- Les capteurs et la domotique,
- Capteurs et environnement,
- Capteurs : imagerie et métrologie,
- Capteurs et robotique.

MECANIQUE DES SOLIDES DEFORMABLES

Cours : 14 h - TD : 8 h

Tenseur des contraintes

Définitions,
Représentation tensorielle,
Eléments principaux,
Tricercler de Mohr.

Tenseur des déformations

Tenseur de Green-Lagrange,
Tenseur des déformations.

Relations contraintes - déformations

Loi de l'élasticité,
Equations fondamentales de la statique,
Energie de déformation.

Exemples de problèmes

Torsion d'un cylindre

MECANIQUE DES FLUIDES ET TRANSFERTS THERMIQUES

Cours : 24 h - TD : 12 h

• MECANIQUE DES FLUIDES

Notions Fondamentales

- Notions de fluides,
- Fluide au repos, champ de force statique, corps flottants.

Aspects qualitatifs du fluide en mouvement

- Fluide parfait, écoulement au voisinage des parois couche limite, cavitation,
- Champ de vitesse, écoulement laminaire et turbulent,
- Rappel de mécanique des milieux continus,
- Le fluide newtonien, les coefficients de viscosité.

Aspects Formels

- Equations locales, conditions aux limites,
- Loi de Poiseuille, application : extrusion,
- Théorème d'Euler, actions et réactions,
- Théorème de Bernoulli, notion de charge, formule de Torricelli, tuyères,
- Débitmètres.

• TRANSFERTS THERMIQUES

Généralités et définitions

- Etablissement des lois fondamentales,
- Définitions générales.

Bilans énergétiques

- Grandeurs thermodynamiques utilisées,
- Présentation des différents types de bilans.

Conduction

- Définition,
- Application,
- Loi de Fourier,
- Conductivité thermique,
- Equation générale de la chaleur,
- Conditions aux limites spatio-temporelles,
- Conduction en régime permanent,
- Nombres sans dimension,
- Conduction unidirectionnelle en régime permanent,
- Application à la conduction bi(tri) dimensionnelle.

Convection

- Définition,
- Généralités,
- Rappels sur les nombres sans dimension,
- Convection naturelle,
- Convection forcée sans changement de phase.

Rayonnement

- Définition,
- Applications,
- Principales propriétés,
- Lois du rayonnement thermique.
- Absorption de l'énergie rayonnée,
- Transfert de chaleur par rayonnement entre deux surfaces,
- Pénétration de l'énergie rayonnée,
- Rayonnement diélectrique.

SCIENCES HUMAINES ET COMMUNICATION

TD : 30 h

Cet enseignement se situe dans la continuité de la formation dispensée dans le premier cycle.

Il a, en effet, pour objectif :

- de perfectionner les aptitudes de base à la maîtrise de l'information (analyse, synthèse) et à la communication (oral, écrit, audiovisuel),
- de proposer à des étudiants de culture scientifique et technique une introduction aux problématiques et aux méthodologies des sciences humaines.

Organisation

Le cours se compose d'abord d'une présentation générale des sciences humaines.

Les aspects suivants seront rapidement abordés : problématiques des sciences humaines et sciences de la nature.

Ayant effectué cette initiation aux sciences humaines, les étudiants choisissent par groupe un thème de recherche particulier dont la problématique et la bibliographie sont précisées en concertation avec l'enseignant.

Le thème de recherche choisi donne lieu à une conférence qui utilise toutes les ressources audiovisuelles et peut être

l'occasion de permettre aux étudiants de montrer leur créativité (mise en scène, théâtralisation de certains aspects de la conférence).

RESSOURCES HUMAINES ET STAGES

Cours : 4h

Objectifs

Initiation aux métiers de l'ingénieur et élaboration du projet personnel.

GESTION DE PROJETS

Cours - TD : 4 h

Objectifs

Acquérir les fondamentaux de management d'un projet simple pour les appliquer dès la 3^e année aux projets collectifs pratiqués en SGM.

Contenu

Qu'est-ce qu'un projet ?

Quelles en sont les caractéristiques ?

Analyses fonctionnelle : les objectifs, les délais,

Analyse stratégique : l'environnement, les moyens,

Découpage en tâches élémentaires,

Mise en place d'un groupe de projet,

Animation et suivi,

Evaluation.

LANGUES

Cours : 96 h

• ANGLAIS

(3 heures/année par groupe - 2 groupes)

Les élèves issus du 1^{er} cycle sont classés selon les résultats du

TOEFL et doivent se répartir de la façon suivante :

TOEFL 550 : langue autre que l'anglais pour la totalité de l'horaire de langues.

TOEFL entre 550 et 520 : option mixte = 2h d'une autre langue + 1h (2 groupes).

TOEFL 520 : 3h d'anglais hebdomadaires (2 groupes).

Les admis directs sont testés mais, sauf dérogation, doivent suivre les 3 heures d'anglais.

Le programme d'anglais de 3^e année a pour but d'améliorer les connaissances des élèves en les préparant aux deux examens de fin de semestre qui sont du niveau de CAMBRIDGE FIRST CERTIFICATE (écrit au 1^{er} semestre, oral au 2^e semestre).

Ils doivent maîtriser les quatre aptitudes fondamentales : expression orale, expression écrite, compréhension orale, compréhension écrite. Les cours font appel aussi bien à la pédagogie traditionnelle (revue de presse, révision de grammaire et de vocabulaire, expression orale spontanée, exposés) qu'aux moyens modernes de communication (audio-oral, vidéo, EAO).

• ALLEMAND

Organisation

Les étudiants sont répartis en 4 niveaux : débutants, ex-débutants, moyens, forts.

Pour des raisons d'effectifs certains cours ont lieu hors horaire et regroupent des étudiants de plusieurs années et de plusieurs départements.

C'est le cas pour les niveaux débutants, ex-débutants et faibles. Les cours de niveaux moyens et forts ont lieu selon l'horaire normal du département.

Pédagogie

Les cours s'adressent en 3^e année à des élèves qui n'ont généralement pas étudié l'allemand depuis 3 ans, ils comportent donc initialement une révision - remise à niveau.

L'entraînement est ensuite axé sur la communication dans la vie quotidienne. Les activités essentielles sont :

- compréhension et reconstitution de dialogues,

- compréhension de textes par la lecture,

- rédaction de lettres ou de brefs rapports, courts exposés oraux.

Les méthodes utilisées sont celles des organismes de formation en langues pour adultes, en particulier celles de Goethe Institut. Les documents proposés visent à développer la connaissance de la civilisation, de la culture et, à partir du niveau moyen/fort, référence à l'actualité, à la réalité économique et technique des pays allemands.

• AUTRES LANGUES

Répartition par groupes de niveaux, hors horaires, tous départements confondus.

EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE

60 h

Les étudiants reçoivent une formation en E.P.S intégrée au cursus.

Cette formation dure 3 ans.

Elle a pour objectifs :

- Un approfondissement de leurs capacités motrices dans l'A.P.S. choisie,
- Le développement de leurs aptitudes au travail de groupe,
- L'accès à l'autonomie de pratique par un projet personnel en A.P.S..

La pratique physique peut s'effectuer au choix :

- pendant le cours d'EPS prévu à leur emploi du temps,
- au sein de l'association sportive.

Les horaires sont de 1h30 sur le terrain au sein d'un créneau de 2h ; ceci permet aux étudiants de se rendre sur les lieux de leurs activités puis de procéder aux soins d'hygiène nécessaire à la fin de la séance.

TRAVAUX PRATIQUES 3 SGM

• 1^{er} SEMESTRE - 48 h

MATERIAUX - MESURES

TP1 - Instrumentation des basses pressions

TP2 - Microscope à effet tunnel (STM)

TP3 - Photomultiplicateur

TP4 - Pulvérisation cathodique

TP5 - Mesure des modules élastiques (méthodes dynamique)

TP6 - Diffusion atomique

TP7 - Analyse thermique

TP8 - Dilatométrie

TP9 - Identification des classes de polymères

TP10 - Propriétés thermomécaniques des polymères aux grandes déformations

TP11 - Essais mécaniques des matières plastiques.

TP12 - Polycondensation de l'acide 11 – amino - undecanoïque

• 2^e SEMESTRE - 79 h

CRISTALLOGRAPHIE - MATÉRIAUX de STRUCTURE

1. Dosage d'un mélange de poudres par diffraction des rayons X
2. Diagramme de Laue en retour
3. Etudes des diagrammes de diffraction électronique
4. Microscopie électronique à balayage
5. Etude métallographique du diagramme Fer – Carbone
6. Mesure de la conductivité thermique
7. Résistivité des métaux

INFORMATIQUE

Projets (16h)

CAPTEURS – CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX SC

1. Capteurs chimique ISFET
2. Capteurs thermiques
3. Capteurs magnétiques
4. Jauges de contraintes
5. Echantillonnage et traitement du signal appliqué aux capteurs de vibration
6. Caractérisation des matériaux SC
7. Jonction pn et diode Schottky

SIGNAUX ET SYSTÈMES - ÉLECTRONIQUE

1. Amplificateur à transistors bipolaires : montage émetteur commun
2. Amplificateur à transistors à effets de champs : montage source commune
3. Amplificateur opérationnel en régime linéaire
4. Amplificateur opérationnel en régime non linéaire : intégration / dérivation

5. Amplificateur Push-Pull hybride

6. Détecteur synchrone

PROJETS COLLECTIFS LES METIERS DE L'INGENIEUR MATERIAUX

TD 21 h + x (+4h, gestion de projets)

Objectifs

Le but est d'amener les étudiants à réfléchir sur les métiers de l'ingénieur ayant une formation "matériaux" : les différents rôles qu'il peut être amené à jouer, les domaines où la demande est forte, les formations complémentaires souhaitables, la concurrence avec d'autres formations, etc.

Sujets

Il s'agit avant tout d'un travail collectif, qui donc doit entraîner la notion de gestion du temps de travail avec les autres membres du groupe, les enseignants, et bien sûr de la méthode pour obtenir les renseignements auprès des organismes et entreprises ciblées.

On prévoit de former 9 groupes de 8 à 9 étudiants.

Les sujets seront assez larges, et porteront par exemple sur les axes suivants :

- Les transports : Automobiles, aéronautique, marine, motorisation, habitacle, équipement intérieur,
- Electroménager,
- Bâtiment : Menuiserie industrielle, béton et plâtre, équipement électrique, revêtement de sol,
- Support de l'information : Audiovisuel, informatique, téléphonie,
- Emballage : Alimentaire, "packaging" des composants électroniques...

A chaque thème correspond un grand nombre d'étapes de production pour un produit ; toutes ou partie de ces étapes seront examinées.

PROJET PROFESSIONNEL ET TUTORAT

1 - Définition du projet professionnel

court terme = la scolarité

long terme = le métier / la fonction future

Le court terme comprend :

- les stages y compris linguistiques,
- le choix de l'option,
- les projets : collectifs, personnels, TOEIC, PFE...,
- les années à l'étranger,
- les formations complémentaires,
- activités diverses : sport, danse... petits boulots, VFE, associatif, forum.

2 - Rôle du tuteur

- aider à faire émerger le projet professionnel,
- analyser les forces et faiblesses de l'étudiant : bilan, exprimer les choix, orienter les choix,
- aider les étudiants à se situer dans le temps, à réfléchir sur leur futur, à se définir des méthodes de travail, à aller chercher l'information,
- rôle de catalyseur / révélateur / doit faire passer l'information au bon moment ; mais ne doit pas être le refuge de tous les problèmes de l'étudiant,
- permettre une meilleure relation étudiant / enseignant et aussi une prise de conscience de la part des enseignants de certains problèmes.

3 - Fonctionnement

- Qui est tuteur : un enseignant du département (principalement pour le court terme),

Possibilité d'avoir en plus des parrains industriels pour une discussion sur les métiers d'ingénieurs (principalement le long terme),

- Quand ? : démarrage : 1^e réunion avant fin décembre de 3SGM ou de 4SGM pour les admis direct,

- Fréquence minimum : 2 à 3 fois par an,

- Possibilité d'incompatibilité d'humeur, un tuteur peut être récusé.

L'aide à la définition du projet professionnel passe aussi par des cours : management, connaissance de l'entreprise, conférences avec des ingénieurs...

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^e 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^e 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 affine, 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 MATERIAUX 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 traités 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 simulés 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.

PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES

5^{ème} année

TRONC COMMUN

MANAGEMENT

Cours - Projet : 15h

La formation de base au management est réalisée en 3^e et 4^e année.

Des options sont proposées en 5^e année.

Elles ne relèvent pas des enseignements techniques.

Elles offrent à l'ingénieur citoyen, conscient des nouveaux enjeux de société, la possibilité de s'ouvrir sur des champs nouveaux abordant des aspects éthiques, l'environnement multiculturel...

qui devront l'aider dans ses choix futurs qui ne seront pas toujours ou seulement liés à des options techniques.

Chaque étudiant choisit librement de participer à l'une des options suivantes :

- Projet de création d'entreprise,
- Management et communication interculturelle,
- Ethique et développement durable,
- Gestion des projets de recherche.

RESSOURCE HUMAINES ET STAGES

Cours - TD : 6 h

Mise en pratique du projet personnel,

Démarche de recherche d'emploi,

Simulation d'entretien.

LANGUES

Cours : 40 h

2h par semaine durant l'année scolaire, panachées au choix de l'étudiant.

EPS

40 h

Voir programme 3^e année.

PROJET DE FIN D'ETUDES

290 h

Pendant la cinquième année, environ la moitié de l'emploi du temps est consacrée à l'étude et à la réalisation d'un projet.

Dans tous les cas, les sujets proposés aux choix des élèves ont un caractère industriel et la plupart sont conduits en liaison avec l'industrie.

Chaque projet est suivi par un ou plusieurs enseignants afin d'aborder des sujets faisant intervenir plusieurs disciplines. Ceci permet d'orienter l'étudiant vers les spécialistes les plus qualifiés pour résoudre un problème donné.

Un projet est confié à un ou deux étudiants.

Ceux-ci ont toute latitude pour faire preuve d'initiative dans la conduite et la réalisation de leur travail. En fin d'année, les projets font l'objet d'exposés publics et d'une exposition d'affiches auxquels des personnalités extérieures à l'INSA sont invitées.

Exemples de projets traités dans les années passées :

- Développement de matériaux composites à bases de nanotubes carbone,
- Pièce composite par procédé RTM

- Optimisation des formulations bitume/polyoléfine pour membranes d'étanchéités,
- Etude optique des composants microphotoniques,
- Caractérisation électrique et modélisation du chargement et du déchargement des mémoires à nano-cristaux de silicium,
- Technologie de cellules solaires sur silicium en couche mince,
- Amélioration de la durée de vie de revêtements anodiques d'aluminium déposés sur aciers par CVD multiarcs,
- Influence des éléments substitutionnels sur le vieillissement après déformation des tôles d'aciers pour automobile et emballage,
- Identification des mécanismes de vieillissement dans la Zirconie biomédicale,
- Nanocomposites à renfort cellulosique pour électrolytes polymères. Application aux batteries en film mince.

STAGE EN ENTREPRISE

Les stages de cinquième année débutent le 1^{er} avril et comportent une durée de 4 mois, prolongeables jusqu'au 30 septembre. Les étudiants présentent un exposé oral à l'occasion de la visite de stage de l'enseignant tuteur et rédigent un rapport de synthèse de leur travail. Une note de stage est prise en compte dans le cursus.

Ces stages ont lieu dans les PME et dans les grands groupes industriels et centres de recherche (THOMSON, PECHINEY, RHONE-POULENC, RHODIA, MOTOROLA, ALCATEL, CEA, CERN, PSA, EADS, TOTAL FINA ELF etc.).

OPTION MATERIAUX ET ENVIRONNEMENT

Option transverse SGM : SCM - PPF - MSD

Cours - Conférences 28 h

Objectifs

- **Former/sensibiliser aux problèmes des impacts environnementaux qui vont se poser à tous les ingénieurs** (Recherche, Etudes, Production...)

- Faire prendre conscience des problèmes liés aux nouvelles lois européennes (nécessité de la veille réglementaire). Mon nouveau procédé, mode d'élaboration est-il, et sera-t-il autorisé par la loi ? Quel est l'impact de l'énergie (renouvelable ?) que j'utilise ?

- Faire ressortir les **problèmes environnementaux et des solutions développées par de grands groupes industriels**, en soulignant le rôle de l'ingénieur compétent en "Matériaux" par des conférences présentées par des professionnels sur de grandes familles de matériaux (polymères, aciers, aluminium...).

Programme prévisionnel

Cours :

- Energies renouvelables (6h)

- Notions d'écologie industrielle (12h)

Impacts des activités industrielles. Filières de traitement des déchets solides. Cas particulier de la décharge. Aspects techniques, réglementaires... Méthodes d'évaluation environnementale et technologies propres.

Conférences sur le recyclage, l'environnement et le développement durable

Ces conférences de 2h ont lieu dans le cadre de l'option transversale de 5^e année "Environnement et Développement Durable" en décembre-janvier.

Pour indication, liste typique des conférences :

- **Matières plastiques et environnement**

- **Recyclage du verre,**

- **Recyclage des aciers,**

- **Recyclage de l'aluminium et de ses alliages,**

-

Déchets des Equipements Electriques et Electroniques,

- **Recyclage des papiers-cartons.**

OPTION MSD

MATERIAUX DE STRUCTURE ET DURABILITÉ

Dans cette filière, l'objectif est d'approfondir un certain nombre de disciplines de la Science des Matériaux et d'aborder plus particulièrement les relations entre la structure et les performances des matériaux. Il s'agit aussi de mettre en lumière les concepts généraux communs aux différentes familles de matériaux (métalliques, organiques, céramiques).

L'accent est également mis sur la notion de Génie des Matériaux, domaine dans lequel sont traités les problèmes de mise en oeuvre et de choix des matériaux, leur caractérisation et leur dimensionnement pour une application donnée. Ces différents aspects sont complétés et enrichis par l'expérience quotidienne de nombreux intervenants extérieurs du monde industriel.

Tous les modules ont une durée de 16 heures et comprennent des conférences par des ingénieurs de l'industrie ou des experts du domaine.

MSD 1 : CHOIX DES MATÉRIAUX

Cours : 2 h + 14 h (conférences industriels)

Tout choix de matériaux (organique, inorganique, ou composite) nécessite non seulement la prise en compte de ses caractéristiques intrinsèques et fonctionnelles (mécaniques, physiques, chimiques...), mais aussi de données économiques conjoncturelles. Il doit aussi s'intégrer dans une perspective industrielle s'appuyant sur d'autres concepts tels que la sécurité, l'assurance - qualité, la normalisation, les conséquences vis-à-vis de l'environnement.

Les diverses stratégies de choix considérant l'ensemble de ces données économiques et des contraintes techniques sont illustrées au cours de conférences et séminaires (14h) présentés par des intervenants extérieurs, spécialistes dans l'un des grands domaines industriels concernés. Par exemple :

- Les critères de choix d'un matériau dans une classe d'alliage : aspects techniques, économiques.
- Méthodologie de choix de matériaux dans l'industrie nucléaire.
- Les matériaux dans l'automobile : approche globale pour l'allègement des véhicules.
- Choix et utilisation des matériaux dans l'aéronautique.
- L'assurance qualité dans l'industrie : choix et utilisation des matériaux composites à EDF.
- La sécurité dans l'entreprise : application aux procédés chimiques.
- Choix et utilisation des matériaux réfractaires dans la sidérurgie.
- Choix et utilisation des polymères pour l'électronique et l'électrotechnique.
- La sécurité dans l'entreprise : application aux procédés chimiques.

MSD 2 : TRAITEMENTS SUPERFICIELS DES METAUX ET ALLIAGES METALLIQUES, REVETEMENTS

Cours : 16 h + 2 h (conférence industriel)

La multifonctionnalité des matériaux impose souvent des propriétés différentes en surface de celles obtenues à cœur. A la disposition des ingénieurs Matériaux, il existe une large gamme de procédés, souvent de très haute technologie, qui permettent d'améliorer les performances superficielles des matériaux.

L'objectif de ce cours est de dresser un panorama de l'ensemble des procédés de revêtement métalliques et traitements de surface anciens, nouveaux ou en cours d'étude. Pour chacun des procédés, le principe est brièvement rappelé, les possibilités d'applications et les principaux avantages et inconvénients de chacun d'entre eux sont précisés et les perspectives de développement les plus prometteuses sont soulignées.

Les revêtements métalliques

Les procédés par voie humide (dépôts électrolytiques et dépôts chimiques) et par voie sèche PVD (évaporation thermique, dépôt ionique, pulvérisation cathodique, multiarcs) ; CVD (classique, assisté laser ou plasma, LPCVD, organométalliques...) ; ALD (atomic layer deparition) : les procédés par immersion ; les procédés par projection (chalumeau, arc, plasma, détonation) ; les procédés par faisceau de haute énergie (bombardement d'électrons, faisceau laser, implantation et mixage ionique) ; les procédés divers (placage par explosion, doublage, calominage, soudage, la méthode des bouillies...).

Les traitements de conversion

Les procédés par anodisation ; les procédés chimiques (phosphatation, chromatisation, oxalation, patine, brunissage...).

Les traitements par transformation structurale

Les procédés mécaniques (grenailage, sablage, galetage...) ; les procédés thermochimiques : diffusion d'un métalloïde (cémentation, nitruration, oxynitruration, carbonitruration, oxy-carbonitruration, sulfonitrocarburation, boruration...) ou d'un métal (Cr, Al, Ti, Ta, Si...).

Remarque : L'introduction de ce cours est principalement orientée vers la définition de la notion de surface et de tribologie.

MSD 3 : MISE EN FORME DES MATERIAUX METALLIQUES

Cours : 16 h

L'objectif de ce cours est de sensibiliser au fait qu'un matériau n'est intéressant pour un ingénieur que par l'objet qu'il est susceptible de constituer, objet qu'il sera au préalable nécessaire de mettre en oeuvre en lui faisant subir une suite d'opérations de mise en forme et de traitements afin de pouvoir choisir parmi les très nombreux procédés de mise en oeuvre existants.

Les différentes familles de procédés de mise en forme sont abordées successivement : fonderies, frittage, formage plastique, usinage assemblage, en essayant pour chacune d'entre elles de dégager les grands principes sur lesquels s'appuient les très nombreuses techniques qu'elles englobent généralement.

Pour chaque type de procédé sont aussi définies les caractéristiques optimales des matériaux vis à vis de l'opération de mise en forme considérée ainsi que les propriétés d'usage résultantes, l'accent étant plus particulièrement mis dans le cas du formage plastique des alliages ferreux.

MSD 4 : INGENIERIE DES SURFACES

Cours : 16 h

La formation vise à donner aux futurs ingénieurs les fondamentaux nécessaires à la prise en compte des propriétés des surfaces des matériaux. Dans ce but la formation est centrée sur le développement d'une approche systémique de l'amélioration des propriétés de surface à partir des outils de modification de surface par voies sèches ou humides.

Le futur ingénieur doit être à même de concevoir des surfaces dédiées, choisir des propriétés de surfaces adaptées et choisir un traitement associé.

Programme

-Définition des surfaces

Présentation et définition de la tribologie

Caractérisation des surfaces

Choix des matériaux en tribologie

Choix des matériaux en corrosion

Caractérisation des surfaces modifiées

MSD 5 : NANOMATERIAUX POLYMERES À APPLICATIONS STRUCTURALES ET MULTIFONCTIONNELLES

Cours : 16 h

Il s'agit de discuter de points très spécifiques aux polymères comparés aux autres matériaux. Il s'agit aussi de démystifier ce qu'on appelle matériaux "Nanocomposites", expression récemment très à la mode, bien que le simple pneu de voiture (qui date du début du XX^e siècle...) fasse partie de cette catégorie. Techniques d'analyse et d'observation sont discutées, ainsi que des éléments pour la modélisation de leur comportement. Ces matériaux sont parfois multifonctionnels et présentent un potentiel de développement et d'application élevé. Ce cours est en fait formaté comme une série de séminaires interactifs, supposant une grande réactivité des étudiants.

Introduction

Mélanges ou alliages de polymères. Comptabilité et séparation de phase. Mélange homogènes : T_g, comportement mécanique.

Mélanges polyphasés : comportement mécanique. Polymères semicristallins. Polymères chargés. Problèmes spécifiques aux systèmes polyphasés. Passage "micro – macro".

Techniques de caractérisation (brève revue)

Observation directe : MET, MEB. Techniques de diffusion : RX (WAXS, SAXS), Neutrons (SANS). Techniques calorimétriques : DSC.

Techniques spectroscopiques : mécaniques, diélectriques. Quid des propriétés mécaniques non linéaires ?

Principales approches du couplage mécanique

Limite de Voigt, Limite de Reuss. Champ moyen, approches autocohérentes.

Matrice rigide

Inclusions souples.

Matrice souple

Inclusions rigides. Effet de percolation.

Interface / Interphase

Effet d'un gradient de composite à l'interface.

Comportement non linéaire

Problèmes liés à la mesure. Etats vitreux, semicristallins. Elastomères, Effets Payne et Mullins.

Comportement électrique & diélectrique de nanocomposites

Couplage comportement mécanique et (di)électrique : matériaux sensibles, actifs. Nanotubes carbone : que peut-on en faire ?

Quelques jolis problèmes

Matériaux polymères nanostructurés, etc.

MSD 6 : MECANIQUE HETEROGENES DES MATERIAUX

Cours : 16 h

L'objectif de ce cours est de présenter les méthodes d'estimation des propriétés mécaniques (élastique, rupture, propagation de fissure) de matériaux hétérogènes : composites à fibres ou à particules, matériaux poreux et cellulaires. Les interfaces entre constituants seront particulièrement étudiées.

-Introduction

-Les propriétés élastiques :

- . approche de bornes, homogénéisation,
- . application aux composites à fibres et des matériaux particulaires,
- . notion de percolation de phases dans les composites et les poreux,
- . cas des matériaux poreux et cellulaires, application au bois et à l'os.

-Le comportement à la rupture :

- . composites à fibres longues, courtes, particulaires,
- . modèles de comportement aux interfaces fibre – matrice : cas lié et non-lié,
- . matériaux poreux, granulaires : notion de chaîne de force, apport de la technique de tomographie, approche par calculs éléments finis. Critères de Mohr-Coulomb, Druker-Prager,
- . matériaux cellulaires : modèles de comportement, application au bois et à l'os trabéculaire,
- . cas des composites organo-minéraux

MSD 7 : LES BIOMATERIAUX

Cours : 16 h + 2 h (conférence industriel)

Au-delà de toute définition formelle, la notion de biomatériaux est contenue dans la nécessaire prise en compte de leur contact avec les tissus vivants. Un biomatériau doit donc être par nécessité "biofonctionnel", c'est-à-dire remplir la fonction désirée, mais aussi "biocompatible", c'est-à-dire interagir au mieux avec les tissus pour remplir sa fonction aussi longtemps que possible.

La première partie de ce cours traite des deux concepts généraux de la biofonctionnalité et la biocompatibilité, en montrant la multitude des problèmes rencontrés. Ces deux aspects sont appliqués de façon détaillée dans le deuxième chapitre consacré aux matériaux en chirurgie orthopédique. Nous développons les différentes solutions proposées actuellement et les propriétés des matériaux utilisés.

La troisième partie, plus succincte, introduit quelques notions spécifiques à la chirurgie dentaire et cardio-vasculaire.

MSD 8 : MATERIAUX DU POINT DE VUE INDUSTRIEL

Cours : 16 h + 2 h (conférence industriel)

Le domaine du stockage et de la production d'énergie est à l'origine de mutations profondes en termes de définition de matériaux. Les enjeux importants de maîtrise des ressources, de limitation d'émission de CO2 imposent des innovations technologiques qui, pour la plupart induisent des conditions sévères d'utilisation des matériaux. Il s'agit donc d'un bon prétexte à mise en situation de l'élève-ingénieurs pour appréhender une méthodologie de conception, voire d'innovation, qu'il pourra transposer à d'autres domaines que celui de l'énergie.

L'articulation du cours est structurée autour des différents modes de production d'énergie. Différents intervenants extérieurs viennent dispenser une série de séminaires sur les matériaux dans le domaine du pétrole, photovoltaïque, nucléaire, bioénergie

OPTION PPF

POLYMERES ET PROCEDES DE FABRICATION

Les enseignements dispensés dans l'option PPF visent à utiliser et mettre en oeuvre les connaissances déjà acquises en 3^e et 4^e année dans l'optique d'une préparation effective à l'entrée dans la vie professionnelle, dans le cadre d'une approche globale "Matériaux", structure et fonction. Tous les modules ont une durée de 16 heures et comprennent des conférences par des ingénieurs de l'industrie ou des experts du domaine.

PPF 1 : MECANIQUE ET DURABILITE

Cours : 16 h, y compris intervenants extérieurs

- Déformation et rupture des polymères,
- Applications de la mécanique de la rupture aux polymères,
- Rupture fragile - ductile,
- Intégrale J,
- Renforcement des polymères,
- Résistance à l'impact,
- Fatigue et durabilité des polymères.

PPF 2 : PROCEDES ET MODELISATION

Cours : 16 h

- Les grands procédés de transformation des matériaux polymères (thermoplastiques, thermodurcissables, composites),
- Etude et modélisation de l'extrusion monovis,
- Etude et modélisation du procédé RTM (moulage par transfert de résine),
- Critères de choix matériau/procédé.

PPF 3 : FORMULATION ET MELANGES DE POLYMERES

Cours : 16 h, y compris intervenants extérieurs

Cours

- Enjeux applicatifs et industriels
- Problématique des formulations
- Systèmes miscibles et non-miscibles
- Conditions de transformation
- Evolution des mélanges de polymères « classiques » vers les nouveaux mélanges nanostructurés

Intervenants extérieurs

- Ignifugation des câbles spéciaux pour applications techniques,
- Développement de formulations industrielles,
- Formulations et vernis UV sans solvants.

PPF 4 : CHIMIE ET DURABILITE

Cours : 16 h, y compris intervenants extérieurs

Cours

- Chimie pour Ingénieur Matériaux - Application à la synthèse des polymères,
- Principes généraux du vieillissement des matériaux polymères,
- Préviation de durée de vie.

Séminaires

- Hygiène et sécurité - Connaissance des risques toxicologiques,
- Vieillesse humide,
- Vieillesse aux UV.

PPF 5 : DESIGN ET CONCEPTION

Cours/Atelier : 16 h

Cours

- Introduction : Le regard porté sur le design au quotidien,
- Les dimensions culturelles et historiques du design,
- Les dimensions internationales et futures,
- Les processus de conception.

PPF 6 : POLYMERES ET SCIENCE DU VIVANT

Cours : 16 h (y compris intervenants extérieurs)

Complémentaire au module MSD 7, ce cours visera à présenter l'utilisation de polymères pour la préparation de biomatériaux. Ce module est divisé en trois parties :

- introduction générale sur les biomatériaux,
- applications en plein essor des biomatériaux polymères : préparation de systèmes pour l'encapsulation, la vectorisation et la libération de principes actifs, l'ingénierie tissulaire et la thérapie génique,
- présentation, en termes de propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques des principaux polymères utilisés dans le domaine des biomatériaux : polymères synthétiques (polyesters aliphatiques, silicones, polyuréthanes...) et d'origine naturelle (protéines, polysaccharides).

Le cours est complété par l'intervention complémentaire de différents conférenciers (en Français et en Anglais).

PPF 7 : MATERIAUX POLYMERES VERTS ET PROCESSES POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cours : 16 h, y compris intervenants extérieurs

L'objectif de ce cours est de faire connaître les Polysaccharides et les charges naturelles et de savoir analyser le cycle de vie (Life Cycle Analysis) d'un matériau polymère afin de pouvoir prendre en compte ou maîtriser toutes les étapes de sa conception.

Dans ce cadre, les cours sont assurés pour 1/3 par des enseignants experts dans le domaine des biomatériaux et pour 2/3 par des intervenants extérieurs spécialistes de l'analyse du cycle de vie de matériaux et des procédés compatibles avec le développement durable.

PPF 8 : NANOMATERIAUX POLYMERES

Cours : 16 h, y compris intervenants extérieurs

Cours

- Nanostructuration de matériaux polymères,
- Organisation de la matière à différentes échelles,
- Surface patterning,
- Templates massiques et de surfaces,
- Nanocomposites,
- Nanotechnologies et Polymères,
- Procédés associés à l'élaboration de nanomatériaux polymères,
- Polymères en situation des procédés des nanotechnologies. Exemples d'applications (micro- et nano- électronique / packaging, biologie, biomimétisme).

Séminaires

- Architectures et morphologies des matériaux polymères à diverses échelles : des voies pour les matériaux de demain,
- Les matériaux du packaging : des multimatériaux aux fonctions nombreuses,
- Cycle de vie des matériaux composites.

MINI-PROJETS MATERIAUX DE STRUCTURE ET PROCEDES

Tous les étudiants des options MSD et PPF réalisent un projet expérimental sur chacune des 2 plates-formes ci-dessous :

PPF - Polymères et procédés de fabrication (44 h)

Chaque groupe de 3 à 4 étudiants étudie un thème pendant 44 heures effectives de Projet. Chaque thème comporte d'une part, la mise en forme des matériaux à partir de produits industriels et des formulations, d'autre part, l'étude de leurs propriétés d'usage (principalement mécaniques).

Les sujets traités sont : polyoléfines, polystyrène, polychlorure de vinyle, mélanges de polymères, polyépoxyde, polyester insaturé, préimprégnés SMC (sheet moulding compound), élastomères chargés, moulage par transfert de résine (RTM).

MSD - Physique et Mécanique des Matériaux Inorganiques (44 h)

Ces Projets destinés à des étudiants en fin de scolarité, consistent en la réalisation de mini-projets effectués par groupe de 3 étudiants.

Ils se déroulent pendant 5 séances de 8 heures et les thèmes sont choisis de manière à ce qu'un vaste éventail de techniques d'études de propriétés physiques, physico-chimiques et mécaniques soit abordé et ce sur des matériaux métalliques, céramiques ou composites.

Le programme et la conduite du Projet sont le plus possible laissés à l'initiative des étudiants et un bilan de l'ensemble des miniprojets (4h) est effectué sous la forme d'exposés contradictoires entre les différents groupes.

OPTION SCM

SEMI-CONDUCTEURS, COMPOSANTS ET MICRO-NANOTECHNOLOGIES

SCM1 : PHYSIQUE ET APPLICATIONS DES NANOSTRUCTURES

Cours : 16h

Ce cours permet aux étudiants de faire la synthèse entre les notions essentielles de physique des semi-conducteurs et celles de physique des nanostructures, lesquelles sont à la base du fonctionnement des dispositifs intégrés avancés (Mémoires et MOSFET ultrasubmicroniques, transistors bipolaires à base à hétéro-jonction, transducteurs intégrés, dispositifs à quelques électrons). Il permet également de comprendre le lien entre mécanismes à l'échelle nanométrique, performances des composants intégrés et évolution des filières technologiques micro-nano-électroniques, optoélectroniques et microsystèmes.

Programme

- Rappels d'électronique des solides,
- Relation structure de bande-propriétés électroniques et électromagnétiques des matériaux semiconducteurs : applications aux fonctions micro-nanoélectroniques, microcapteurs et microsystèmes,
- Physique des hétérojonctions,
- Structure à modulation de dopage (Transistor HEMT),
- Propriétés physiques nouvelles associées aux nanostructures (électroniques, optiques).

SCM2 : DISPOSITIFS MOS AVANCES

Cours : 16h

Cet enseignement a pour objectif de consolider la connaissance des fondements et des particularités de fonctionnement des composants électroniques de type MOS. L'accent est porté sur les principales conséquences de la miniaturisation de ces dispositifs.

Programme

- Introduction : Enjeux de la miniaturisation du transistor MOS.
- Physique du MOSFET sub-micronique :
- Fonctionnement du transistor idéal en forte inversion,
- Effets correcteurs liés aux faibles dimensions (SCE, DIBL...),
- Le régime de faible inversion (analyse de la caractéristique sous le seuil).
- Techniques d'extraction de paramètres.

- Techniques de caractérisation de l'interface oxyde/semi-conducteur.
- Développements technologiques pour les dimensions sub 0.1 μm .

SCM3 : NANOFABRICATION DE CIRCUITS INTEGRES AVANCES

Cours : 16h

Ce cours permet aux étudiants d'acquérir une vision synthétique et prospective des procédés de fabrication avancés pour circuits intégrés CMOS et BiCMOS largement submicroniques, systèmes sur puces et composants nanoélectroniques. L'évolution des modules technologiques (lithographie, traitements thermiques rapides, diélectriques, gravure ionique réactive, métallisation, polissage mécano-chimique) est présentée dans le contexte de leur compatibilité et de la réduction des dimensions à l'échelle nanométrique. On insiste sur le compromis en terme d'ingénierie à l'échelle nanométrique et d'amélioration constante des performances.

A la suite du cours, les étudiants réalisent eux-mêmes des composants intégrés au cours d'un stage de deux jours au Centre Inter-universitaire de Microélectronique (CIME) de Grenoble.

Programme

- Introduction : du circuit CMOS aux systèmes sur puces,
- Architectures élémentaires (transistors, cellules inverseur et mémoire...),
- Miniaturisation : feuille de route et contraintes technologiques, règles de miniaturisation,
- Assemblage des procédés élémentaires pour transistors MOS auto-alignés,
- Procédés front-end avancés de la technologie MOS ultime vers la nanoélectronique (lithographie, gravure, dépôts, dopage, métallisation),
- Procédés back-end avancés pour interconnexions.

SCM4 : MODELISATION NUMERIQUE DES DISPOSITIFS SUR SILICIUM

Cours : 10h

La conception assistée par ordinateur des circuits VLSI utilise habituellement des modèles de dispositifs dits "compacts", c'est-à-dire mis sous forme d'expressions paramétrées. L'objectif de ce cours est de décrire des niveaux de modélisation plus proches de la technologie et de la physique des composants, et de donner quelques indications sur les méthodes numériques utilisées pour le traitement de ces modèles sur ordinateur. Il devrait donc contribuer à renforcer le lien entre technologie, composants et circuits.

Programme

Mise en équation et résolution numérique du problème du transport de charges dans les composants à semi-conducteurs :

- Équations de Poisson et conditions aux limites associées,
- Prise en compte du confinement quantique,
- Exemple de modèle fluidique : le modèle classique de dérive diffusion,
- Lois de mobilités et de génération - recombinaison,
- Régimes transitoires : petit signal et grand signal,
- Indications sur les schémas numériques pour la discrétisation et la linéarisation,
- Introduction aux modèles cinétiques : Équations de Boltzmann ; Méthode de Monte-Carlo.

Applications à la simulation des composants élémentaires sur silicium, dans les technologies avancées :

- Capa MOS effets quantiques dans les capacités avec diélectriques ultra minces,
- Transistor MOS effets canaux courts et canaux étroits,
- Transistor bipolaire réduction de l'épaisseur de la base ; ingénierie de l'émetteur.

SCM5 : MICROCAPTEURS ET MICROSYSTEMES

Cours : 16h

Ce cours permet d'abord aux étudiants d'acquérir les notions essentielles concernant les modèles physiques ainsi que les architectures entrant dans divers composants microsystèmes intégrables directement sur silicium ou par assemblage hétérogène. Il permet également aux étudiants de se familiariser avec les modules de microusinage collectif et d'assemblage, permettant la fabrication collective en trois dimensions de composants microsystèmes. Des exemples pris parmi les marchés de forts volumes tels que celui de l'automobile ou le biomédical viennent illustrer les notions générales acquises dans ce cours.

Programme

- Introduction : moteurs et évolution du marché des microsystèmes (transport, environnement, biomédical, télécommunications),

- Fonctions de transduction obtenues sur silicium ou par intégration hétérogène (matériaux minéraux et organiques),
- Modules technologiques : micro-usinage collectif de micro-nanostructures 3D, procédés d'intégration hétérogène, procédés d'assemblage et d'encapsulation,
- Exemple de microsystèmes (architectures, conception, assemblage des procédés).

SCM6 : MATERIAUX ET COMPOSANTS PHOTONIQUES

Cours : 16h

Objectifs

Permettre aux étudiants d'acquérir les bases de l'ingénierie des matériaux semi-conducteurs, ainsi que des principaux composants passifs et actifs pour l'optoélectronique utilisés dans les Télécommunications Optiques.

Programme

- Propriétés électro-optiques des matériaux semi-conducteurs pour composant optoélectronique = alliages, matériaux contraints, nanostructures.
- Éléments de base d'optique guidée : modes de propagation.
- Diode laser = principes physiques, élaboration, structures, caractéristiques.
- Photorécepteur = photodiode PIN, à avalanche, Problèmes du rapport S/B en réception.
- Fibre optique : les différents types de fibres et propriétés (atténuation, dispersion, bande passante, caractérisation...)
- Modulateur d'amplitude, de phase.
- Les composants d'affichage : CCD, cristaux liquides, écrans plats.

SCM7 : CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

Cours : 16h

L'objectif est de donner aux étudiants les bases physiques de la conversion quantique du rayonnement solaire pour les amener à la conception d'un système photovoltaïque, partant du matériau jusqu'au composant, en tenant compte des contraintes économiques et environnementales. A l'issue de ce programme, chaque étudiant sera en mesure de concevoir et calculer une cellule solaire en tenant compte d'un cahier de charge dicté par les applications.

Programme

- Les problèmes économiques et environnementaux liés à la production et à la consommation de l'énergie. La place des énergies renouvelables,
- Le gisement solaire ; Modélisation des spectres solaires,
- Le convertisseur photovoltaïque idéal, limites théoriques. Convertisseur multispectral,
- Choix des matériaux et des structures de conversion,
- Réponse spectrale et rendement quantique interne,
- Conception et calcul d'une cellule solaire,
- Aperçu des procédés de production à grande échelle, économiques et respectueux de l'environnement pour systèmes terrestres.

SCM8 : CIRCUITS ELECTRONIQUES RAPIDES EN TECHNOLOGIE BICMOS AVANCEE

Cours : 16h

Ce module a pour objectif de consolider les connaissances en physique des composants bipolaires intégrés en technologie planar.

L'objectif est également de donner une ouverture vers les applications aux domaines de l'électronique rapide radio-fréquence (RF) très développée en particulier, pour les systèmes de télécommunications mobiles.

Programme

- Introduction à la physique et à la technologie des transistors bipolaires à hétérojonction (TBH),
- Modèles basses fréquences des TBH et sources de bruits,
- Développements technologiques des filières BiCMOS industrielles,
- Applications analogiques,
- Modèle radio-fréquence des TBH,
- Amplification et conversion tension-fréquence (VCO),
- Applications digitales en BiCMOS (PLL, etc...).

SCM9 : SEMINAIRES EXTERIEURS SUR PACKAGING FIABILITE

Cours : 6h (intervenant extérieur)

Ces séminaires ont pour objectifs de familiariser les étudiants sur un domaine important de l'industrie des semi-conducteurs concernant le packaging des composants et circuits intégrés en insistant sur les dernières évolutions, ainsi que sur les différents essais de fiabilité et de vieillissement des composants encapsulés.

Programme

1 – Le packaging ou les boîtiers pour semi-conducteurs - Les familles de boîtiers : matériaux, assemblage, roadmap des boîtiers actuels, - Les caractéristiques des boîtiers plastiques : structures, procédés de fabrication (support vidéo), principales propriétés, - Les nouveaux boîtiers.

2 – La fiabilité des composants semi-conducteurs - Définitions, facteurs internes et externes influants, essais de fiabilité, mécanismes de défaillance, fiabilité prévisionnelle.

3 – Nouvelles techniques d'analyse en semi-conducteurs - Outils d'analyses (FIB, IDS, Microscopie à émission...), exemples d'analyses.

MINI-PROJETS MATERIAUX POUR L'ELECTRONIQUE

TP : 88 h

Les sujets sont orientés sur trois thèmes :

- Caractérisation des matériaux et composants : réponse spectrale, DLTS, éllipsométrie, photoluminescence, effet Hall, structures MOS, SIMS, caractérisation de fibres optiques et de la qualité connectique, laser YAG pompé par diode laser à semi conducteurs,
- Technologie de fabrication de composants et circuits intégrés sur silicium (salle blanche du CIME à Grenoble),
- Simulation de circuits sur SPICE et CADENCE (CIMIRLY).

OPTIONS TRANSVERSALES

Ces Options Transversales portent sur 96h et sont ouvertes à tous les élèves de 5^e année des départements de l'INSA de Lyon. La liste des Options Transversales offertes chaque année est publiée en temps utile. Les modalités propres à SGM vis à vis de ces Options Transversales sont détaillées dans le règlement des études du département.

Un élève de 5^e année SGM qui effectue et valide une Option Transversale, donnée doit en plus suivre deux modules (2x16h) de l'option du département dans laquelle il prépare son Projet de Fin d'Etudes afin de compléter son cursus optionnel à 128h.

- Matériaux et Design (DESMAT),
- Environnement et Développement Durable (EDD),
- Management et Société (MESO),

- ...