

PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES

5^e année

TRONC COMMUN

GESTION 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,
- Sociologie des organisations,
- Organisation et gestion industrielle.

RESSOURCES 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'ÉTUDES

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 Zircône biomédicale,
- Nanocomposites à renfort cellulosique pour électrolytes polymères. Application aux batteries en film mince.

STAGE EN ENTREPRISE

Les stages de cinquième année débutent mi-mars et comportent une durée de 4 à 6 mois, prolongeables jusqu'à mi-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, ST MICROELETRONICS, SOITEC, PSA, EADS, TOTAL FINA ELF etc.).

OPTION MATÉRIAUX ET ENVIRONNEMENT

Option transverse SGM : SCM - PPF - MSD

Cours - Conférences

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

MATÉRIAUX 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 œuvre 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 DE SURFACE ET REVÊTEMENTS

Cours : 16 h + 2 h (conférencier 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 Deposition) : 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, calaminage, 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 thermo-chimiques : 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 MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

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 œuvre 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 œuvre 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 : INGENIÉRIE 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 POLYMÈRES MULTIFONCTIONNELS

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. Mélanges homogènes : Tg, 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 : MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX ARCHITECTURÉS

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, particulières,
 - . 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 BIOMATÉRIAUX

Cours : 16 h + 2 h (conférencier 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 : MATÉRIAUX DU POINT DE VUE INDUSTRIEL

Cours : 16 h + 2 h (conférencier 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

POLYMÈRES ET PROCÉDÉS DE FABRICATION

Les enseignements dispensés dans l'option PPF visent à utiliser et mettre en œuvre 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 : MÉCANIQUE ET DURABILITÉ

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 : PROCÉDÉS ET MODÉLISATION

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 MÉLANGES DE POLYMÈRES

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 DURABILITÉ

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,
- Prévion de durée de vie.

Séminaires

- Hygiène et sécurité - Connaissance des risques toxicologiques,
- Vieillissement humide,
- Vieillissement 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 : POLYMÈRES POUR LE 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 : POLYMÈRES POUR UN 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 POLYMÈRES

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 MATÉRIAUX DE STRUCTURE ET PROCÉDÉS

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

PPF – Elaboration, mise en forme et caractérisation des matériaux polymères et leurs composites (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 : SEMI-CONDUCTEURS ET 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 ÉLECTRONIQUES AVANCÉS

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 INTÉGRÉS AVANCÉS

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 termes 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 : OUTILS DE SIMULATION ET COMMUNICATION PAR RADIO-FRÉQUENCES

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 : DISPOSITIFS CAPTEURS ET ACTIONNEURS

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 microsystemes intégrables directement sur silicium ou par assemblage hétérogène. Il permet également aux étudiants de se familiariser avec les modules de micro-usinage collectif et d'assemblage, permettant la fabrication collective en trois dimensions de composants microsystemes. 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 microsystemes (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 microsystemes (architectures, conception, assemblage des procédés).

SCM6 : MATÉRIAUX 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 : SYSTÈMES AUTONOMES ET PACKAGING

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. Des 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

- 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.) ?
- 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,
- La fiabilité des composants semi-conducteurs - Définitions, facteurs internes et externes influents, essais de fiabilité, mécanismes de défaillance, fiabilité prévisionnelle,
- Nouvelles techniques d'analyse en semi-conducteurs - Outils d'analyses (FIB, IDS, Microscopie à émission...), exemples d'analyses.

CARACTÉRISATION ET SIMULATION DES SEMI-CONDUCTEURS ET COMPOSANTS

TP : 88 h

Les sujets sont orientés sur trois thèmes :

- Caractérisation des matériaux et composants :
 - DLTS,
 - éllipsométrie,
 - photoluminescence,
 - caractérisation de structures MOS,
 - caractérisation de fibres optiques et de la qualité connectique,
 - mesure de durée de vie des porteurs minoritaires par μ -PCD.
- Technologie de fabrication de composants et circuits intégrés sur silicium (salle blanche du CIME à Grenoble),
- Simulation de circuits sur SPICE et CADENCE (CIMIRLY).