

**Programme du Master**  
**“Sciences et Techniques des Matériaux”**

**Programme**  
**d’enseignement**

---

## 1ère année

<i>Semestre</i>	<i>Liste des Modules</i>	<i>Volume Horaire</i>
	<b>Modules techniques et technologiques</b>	
S1	- Ingénierie de la matière condensée	90h
	- Matériaux organiques	100h
	- Matériaux avancés	90h
	<b>Modules d'ouverture</b>	
	- Modélisation et calcul scientifique	95h
Total S1	4 modules	375h
	<b>Modules techniques et technologiques</b>	
S2	- Techniques d'analyse et de caractérisation	100h
	- Génie des procédés	110h
	- Propriétés physico-chimiques des matériaux	100h
	Modules d'ouverture	
	- Langues, Gestion & Travaux d'initiative personnelle encadrés (TIPE)	90h
Total S2	4 modules	400h

---

## 2ème année

Semestre	Liste des Modules	Volume Horaire
	<b>Modules en Sciences et outils</b>	
	- Electronique des systèmes de mesure	98h
	- Vieillessement des matériaux	100h
	<b>Modules complémentaires (Modules techniques et technologiques)</b>	
	<i>Option Macromolécules et techniques de revêtement</i>	
	- Formulation et protection par peinture	100h
	- Polymères à propriétés spécifiques	85h
	<i>Option Matériaux pour l'énergétique</i>	
S3	- Piles à combustibles et accumulateurs	100h
	- Conversion photoélectrique	90h
	<i>Option Matières premières et ressources minérales</i>	
	- Valorisation des substances utiles	80h
	- Métallurgie extractive & Chimie minérale industrielle	100h
	<i>Option Instrumentation en génie industriel</i>	
	- Capteurs et instrumentation	90h
	- Techniques de contrôle non destructif	90h
Total S3	4 modules	370à390 h
	<b>Modules en Sciences et outils de recherche -développement</b>	
S4	Stage en milieu professionnel ou d'initiation à la recherche	
Total S4	4 modules	360 h

---

# Programme d'enseignement du Semestre 1

## INGENIERIE DE LA MATIERE CONDENSEE

### *OBJECTIFS*

#### **I- Rappels de la thermodynamique**

- Equilibre entre deux phases
- Phases hors équilibre
- Loi de HERTZ - KNUDSEN

### *CONTENU*

#### **I- Rappels de la thermodynamique**

- Equilibre entre deux phases
- Phases hors équilibre
- Loi de HERTZ - KNUDSEN

#### **II- Techniques d'élaboration**

- Epitaxie en phase vapeur
- Epitaxie en phase liquide
- Epitaxie par jets moléculaires
- Utilisation des plasmas
- Autres modes de croissances

#### **III- Régimes de croissances**

- Croissance couche par couche
- Formation d'îlots
- Couches pseudomorphiques et relaxées
- Epaisseur critique
- Mécanismes de relaxation des contraintes

## MATERIAUX ORGANIQUES

### *OBJECTIFS*

- Présenter les réactions les plus importantes de la chimie macromoléculaire qui sont à la base de la production des polymères de grande diffusion et des polymères techniques.
- Montrer que le contrôle de ces réactions permet de développer, pour un même monomère, des matériaux aux propriétés très variées et complémentaires.

- 
- Physicochimie des solutions macromoléculaires diluées

## **CONTENU**

### **I- Synthèse**

- Les polymères : Généralité sur les monomères et les polymères
- Introduction aux réactions de polymérisations en chaînes et en étapes
- Polymérisation radicalaire en chaîne
- Polymérisation radicalaire contrôlée
- Polycondensation
- Polymérisation anionique et cationique
- Copolymérisation
- Polymérisation par les métaux de transition : Ziegler - Natta, Métathèse, Métallocène.
- Quelques caractérisations spectrales des polymères

### **II- Physicochimie des solutions macromoléculaires diluées**

- Introduction à la physico-chimie des solutions polymères
- Physico-chimie des solutions macromoléculaires : Théorie de Flory - Huggins, Flory - Krigbaum
- Méthodes de détermination des différentes masses molaires moyennes : Application pour la mesure des dimensions des macromolécules :
  - Fractionnement par solubilité
  - Diffusion de la lumière
  - Viscosimétrie
  - Osmométrie

## **MATERIAUX AVANCES**

### **OBJECTIFS**

- Etude des différentes grandes classes des matériaux
- Synthèse, élaboration et leurs applications

## **CONTENU**

### **I- Biomatériaux**

Structures et caractéristiques des polymères naturels

- Polysaccharides : Structures et caractéristiques macromoléculaires (cellulose, amidon, pectine, chitine, chitosane...)
- Structures des autres polymères : lignines, cires et biopolymères mixtes

---

Modification des polymères naturels :

Exemples d'applications (dérivés de la cellulose : esters et éthers de cellulose, amidons et ses dérivés,....)

- Procédés technologiques de fabrication des biomolécules
- Purification et caractérisation des biomolécules
- Bio matériels

## **II- Matériaux structuraux**

- Composites
- Matériaux pour environnement

## **III- Matériaux fonctionnels à propriétés optiques, électriques et magnétiques**

- Les diélectriques
- Les supraconducteurs
- Les nouveaux conducteurs
- les céramiques et les verres
- Les cristaux liquides

## **IV- Nanomatériaux et nano structures**

- Structure des matériaux nanométriques
- Superéseaux
- Multicouches nanométriques
- Nano poudres compactées
- Nano composites

**V- Les caoutchoucs ou élastomères : Introduction, Caractéristiques fondamentales des élastomères (élasticité caoutchoutique), Production des élastomères industriels, Propriétés des élastomères, Formulation (Vulcanisation....), Applications industrielles**

## **MODELISATION ET CALCUL SCIENTIFIQUE**

### **OBJECTIFS**

L'objectif de ce module est de donner aux étudiants les éléments de base de la mise en équations de quelques problèmes chimiques et physiques afin de les simuler en utilisant soit des logiciels de simulation soit développer des programmes spécifiques.

---

## **CONTENU**

### **A)**

1. Rappel sur les différentes lois de conservation et de comportement.
2. Exemple de mise en équation : combustion, réaction diffusion, écoulement, déformation.

### **B)**

1. Rappels sur les méthodes d'approximation (interpolation polynomiale, calcul d'intégral, résolution des équations différentielles)
2. Méthode des différences finies  
Méthode des éléments finis...

## **Programme d'enseignement du Semestre 2**

### **TECHNIQUES DE CARACTERISATION ET D'ANALYSE**

#### **OBJECTIFS**

Le module a pour objectif de donner aux étudiants un ensemble de connaissances sur les techniques d'analyses utilisées dans des secteurs très divers en l'occurrence celui des matériaux.

Il permettra :

- a mise en œuvre des différentes méthodes de caractérisation des matériaux,
- l'étude des phénomènes de transformations et de changements de phases,
- l'étude des structures et des microstructures par microscopie (MEB, MET, ...) et par DRX,
- l'analyse des résultats et mise en évidence des corrélations entre les techniques d'élaboration, de traitements et les propriétés des matériaux.
- La présentation des principes et des applications de quelques techniques expérimentales utilisées pour l'analyse des surfaces et des interfaces,
- Le choix de la technique d'analyse la plus appropriée au matériau étudié.

---

## CONTENU

### *Caractérisations des surfaces et interfaces*

- > Introduction
- > Définitions
- Notions de surface, d'interface et d'interphase
- Energie de surface d'un solide
  - > Les composantes de l'énergie de surface d'un solide
- La composante dispersive, La composante non dispersive ou polaire
  - > Détermination de l'énergie de surface d'un solide à partir d'interactions solide/liquide
- Les principales équations, Les principales méthodes expérimentales
  - > Domaine d'application : l'adhésion
  - > Rappels sur les interactions rayonnement - matière
- Interactions avec les rayons X, Interactions électroniques, Interactions des ions
- Application à l'analyse des surfaces dans les problèmes d'adhésion

### Spectroscopies

- > Spectroscopie Infrarouge
- > Spectrométrie de la fluorescence X
- Principe, Les différents modes d'excitation, Types de spectres, Applications
  - > Spectrométrie de masse, principe et applications
  - > Spectres de diffusion Raman
- Principe, Règles de sélection, Applications
  - > Résonance magnétique nucléaire
- Origine du signal RMN, Déplacement chimiques, Couplages spin-spin, Appareillage, Applications

### **Caractérisations thermiques et thermomécaniques**

- > Analyses thermiques conventionnelles
- Analyses calorimétriques : analyse thermique directe, analyse thermique différentielle (ATD), calorimétrie différentielle à balayage (DSC)
- Analyse thermogravimétrique (ATG)
- Thermodilatométrie
- Analyse thermomécanique (ATM)

### **Systèmes d'images et microscopies**

- > Microscopie électronique à balayage
- Interaction électrons-matières; contraste en mode imagerie

- Optique électronique
- Détecteurs
- Optimisation du fonctionnement; application en science des matériaux
- Préparation des échantillons
- Numérisation des images
- Le système X L 30
- Micro analyse X-Eds
  - Les autres systèmes d'images.
- Microscopie électronique à transmission
- Microscopie optique
- Thermographie Infra-rouge
- Imagerie X , Imagerie acoustique
- Microscopie à force atomique

### **Diffraction des rayons X**

- Etude de la diffraction des rayons X
  - Phénomène
  - Conditions de diffraction
  - Intensité diffractée
    - Détermination de la géométrie cristalline
    - Méthodes de poudre
      - Principe
      - Méthode de Debye - Scherrer
      - Méthode par focalisation
      - Mesure précise des distances réticulaires
      - Application du diagramme de poudre
      - Méthode de Ritveld
        - Méthode du cristal unique : Méthode de Laue, Méthode du cristal tournant, Méthode de Weissenberg

## **GENIE DES PROCEDES INDUSTRIELS**

### **OBJECTIFS**

Donner aux étudiants les connaissances de base, scientifiques et technologiques sur les principaux procédés de la chimie minérale et organique industrielle pour concevoir, mettre en oeuvre et optimiser les opérations de transformation industrielle des matières premières naturelles ou synthétiques en produits finis.

---

## CONTENU

### Catalyse hétérogène

- Préparation et mise en œuvre des catalyseurs
- Propriétés physico-chimiques et méthodes de caractérisation des catalyseurs
- Cinétique et mécanisme des réactions catalytiques

### Mécanique des fluides

- > Généralités et propriétés physiques des fluides
- Notion de fluide, Nature des milieux : continuité, homogénéité, isotropie
- Efforts appliqués à un fluide - Contraintes
- Viscosité d'un fluide - Compressibilité
- > Statique des fluides et applications
- Equation de l'hydrostatique
- Applications aux mesures de pression statique
- Force de pression sur une surface plane
- > Cinématiques des fluides
- Trajectoire d'une particule fluide
- Description du mouvement (Lagrange et Euler)
- Ecoulement laminaire - Ecoulement turbulent
- > Dynamique des fluides
- Dynamique des fluides parfaits et réels
- Théorèmes des quantités de mouvement
- Mesure de la pression dans un fluide en mouvement
- Applications de l'équation de Bernoulli à la mesure des débits
- > Etudes des écoulements
- Ecoulement en conduite
- Calcul des pertes de charge

### Génie des procédés

- > Introduction à l'ingénierie des pompes
- > Phénomènes de transfert : cette partie consiste à étudier les différents modes de transfert thermique, de matière et de mouvement et établir les équations nécessaires pour calculer les différents coefficients de transfert.
- > Bilans matière - Bilans thermique : l'objectif de cette partie est de donner aux étudiants la méthodologie de la modélisation d'un procédé industriel à partir des équations de bilan de matière et thermique.

- 
- Opérations unitaires : Méthodes de calcul et de quelques opérations unitaires : (distillation, absorption, filtration, adsorption...)
  - Réacteurs chimiques : Description d'un mélange réactionnel - Bilans de matière dans les réacteurs idéaux - Optimisation du rendement et de la sélectivité dans la mise en œuvre de réactions composites- Bilans énergétiques et stabilité thermique des réacteurs.

## **PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MATERIAUX**

### **OBJECTIFS**

Apporter des connaissances de base sur les propriétés physiques et chimiques des matériaux (magnétisme, supraconductivité, ferroélectricité, céramiques,...) et leurs élaboration (intégration de matériaux dans des dispositifs).

### **CONTENU**

- Propriétés électroniques des solides (transition de phases et phénomènes critiques, interaction rayonnement - matière et spectroscopie, physique des surfaces et interfaces, cristallographie et modélisation des macromolécules).
- Structure et propriétés électriques des matériaux (structure et propriétés magnétiques et optiques des matériaux, matériaux carbonés et céramiques carbures, comportement des milieux complexes à températures élevée, solides de basse dimensionnalité et matériaux polymères).
- Propriétés mécaniques des matériaux : Contrainte et déformation, Déformation élastique des solides isotropes, Déformation plastique des matériaux, Facteurs influençant les propriétés mécaniques, Restauration et recristallisation, Applications.
- Propriétés thermiques des matériaux : Propriétés et grandeurs thermiques, Capacité thermique : Théorie atomistique - Théories quantiques : le phonon, modèle d'Einstein, modèle de Debye, Conduction thermique : pour les conducteurs, pour les diélectriques, Dilatation thermique, Applications.

## **LANGUES, TECHNIQUES DE MANAGEMENT ET TIPE**

### **OBJECTIFS**

#### *Anglais*

Montrer l'apport de la langue anglaise pour les étudiants en matière de recherche scientifique et de rédaction.

---

## *Management*

- Ce cours permet aux étudiants du MASTER de s'armer en matière des techniques de management pour connaître la portée des techniques scientifiques dans le développement de différentes fonctions au sein de l'entreprise.
- TIPE
- Ce cours permet aux étudiants du MASTER de connaître les différentes méthodes de la recherche scientifique afin de réaliser leurs travaux de recherche dans de bonnes conditions et confortements aux normes scientifiques et académiques.

## **CONTENU**

### *Anglais*

- Récapitulation sur la langue anglaise
- Anglais scientifique

### *Techniques de Management*

- Aperçu général sur l'entreprise en tant qu'unité d'analyse,
- Les fonctions de l'entreprise,
- Les techniques de management de l'entreprise,

### *TIPE*

- Démarche scientifique et raisonnement expérimental
- De la problématique à l'opérationnalisation
- Analyse statistique des données
- Pratiques scientifiques
- Conclusion : psychologie, science et éthique.

## **Programme d'enseignement du Semestre 3**

### **ELECTRONIQUE DES SYSTEMES DE MESURE**

#### **OBJECTIFS**

Ce module a pour objectif de présenter la mesure dans un contexte industriel.

Il permettra à l'étudiant d'acquérir une compétence théorique et un savoir-faire technique permettant de maîtriser certains aspects de sa future activité : choisir les éléments d'une chaîne de mesure,

---

dimensionner, associer entre eux ces éléments, concevoir certains sous-ensembles, assurer la qualité des mesures effectuées, effectuer des choix technologiques, prendre conscience des écueils pouvant apparaître lors de la réalisation unitaire et de série.

## **CONTENU**

- Physique des composants semi-conducteurs
- Généralités sur les chaînes de mesure
- Electronique des chaînes de mesure analogique (Réduction des perturbations dans les
  - systèmes de mesure,
  - amplificateurs de mesure,
  - technique de traitement analogique des signaux de mesure, ...)
- Electronique des chaînes de mesure numérique (Comparateurs, Commutateurs, CAN & CNA, Echantillonneurs - bloqueurs, multiplexeurs, systèmes d'acquisition et de traitement des signaux de mesure, ...).

## **VIEILLISSEMENT DES MATERIAUX**

### **OBJECTIFS**

- Fournir à l'étudiant des notions de base essentielles à une compréhension phénoménologique de la corrosion aussi bien aqueuse que sèche des matériaux,
- Connaître l'origine électrochimique de la corrosion acide, de la corrosion à l'oxygène et de la corrosion galvanique simple ainsi que les méthodes de l'anticorrosion communément employées pour la protection des métaux,
- Connaître l'origine thermodynamique de la corrosion sèche, les phénomènes de diffusion mis en jeu ainsi que les principaux revêtements protecteurs à haute température ;
- Appréhender les phénomènes de vieillissement climatique des revêtements organiques et les différents types de vieillissement des polymères,
- Comprendre les relations structure/comportement et conditions de mise en oeuvre/comportement d'un matériau polymère,
- Développement des principes généraux de la stabilisation (thermique et photochimique notamment) des systèmes polymères.
- Connaissance des mécanismes de dégradation et de vieillissement des matériaux en milieu biologique

---

Implication des propriétés de résistance, à la biodégradation des matériaux, dans les stratégies d'utilisation et de développement de biomatériaux.

## CONTENU

### *Corrosion des matériaux*

- Corrosion aqueuse
  - > Généralités
    - Aspects électrochimiques de la corrosion, Les différents types de corrosion
  - > Aspects thermodynamiques de la corrosion
    - Diagramme potentiel - pH de l'eau, Diagramme potentiel - pH des éléments et de leurs composés
  - > Aspects cinétiques de la corrosion
    - Diagramme  $I = f(E)$  représentation d'Evans, Exemples de représentation d'Evans, Conclusion
  - > Protections contre la corrosion
    - Revêtements, Inhibiteurs, Conception des formes, Protection cathodique et anodique
  - > Les essais de la corrosion
    - Choix et significations, Evaluation des paramètres de la corrosion
  - > Performance et sélection de matériaux en milieu marin
    - Introduction : méthodes de sélection des matériaux pour les ouvrages maritimes
    - Composition de l'eau de mer : caractéristiques chimiques et biologiques, Comportement vis à vis de la corrosion en fonction de différentes zones d'exposition, Comportement vis à vis de la corrosion de différents métaux et alliages en milieu marin
  - > Corrosion sèche ou à haute température
    - Lois générales de l'oxydation du métal, Affinité des matériaux pour l'oxygène
    - Mécanisme de la corrosion sèche (adsorption, germination des produits, les films minces et épais, épitaxie)
    - Corrosion sèche des alliages : une oxydation d'un seul métal, oxydation de plusieurs métaux.
    - Comportement général des principales familles d'alliages (Aciers inoxydables, alliages réfractaires, supealliages, alliages d'aluminium, de titane, de cuivre) ;
    - Protection contre la corrosion à haute température (critères du choix du revêtement protecteur, Principes des techniques de revêtements, Exemples de revêtements protecteurs).

---

## *Dégradation des polymères*

- Vieillessement des polymères
  - Aspects généraux du Vieillessement chimique
  - Vieillessement thermique
  - Vieillessement photochimique
  - Vieillessement radiochimique (Rayonnements ionisants)
  - Vieillessement physique
  - Vieillessement par action d'eau
  
- Durabilité-Protection des polymères
- Relations structure/comportement et conditions de mise en œuvre/développement
  - Les facteurs influençant le comportement d'un matériau polymère
  - Relations structure du polymère/durabilité
- Stabilisation
  - Stabilisation thermique
  - Anti-oxygènes
  - Photo-stabilisation

## *Vieillessement et dégradation des matériaux en milieu biologique*

- Rappel d'enzymologie
- Dégradation des matériaux en présence de cellules vivantes
- Dégradation des matériaux en présence d'enzymes
- Facteurs affectant la biodégradation
- Exemples de dégradation et vieillessement de matériaux

## *Option :*

### *Macromolécules et techniques de revêtement*

## FORMULATION ET PROTECTION PAR PEINTURE

### OBJECTIFS

- Formulation des peintures et études de leurs propriétés physicochimiques et rhéologiques,
- Appréhender les mécanismes de formation de revêtements organiques et inorganiques et leurs caractérisations,
- Connaissance des adhésifs : leur formulation, leurs propriétés et leurs applications.

---

## CONTENU

### *Mécanisme de formations de revêtements*

#### > Revêtements organiques

- Les constituants de peintures : Les liants, les pigments et matières de charges, Solvants et diluants, Plastifiant, Additifs et Classification des peintures et vernis
- Les systèmes de peintures
- Formation du feuillet
- Les matériaux supports : Les métaux, Le bois et le cuir, Les matériaux de constructions, Les plastiques
- Nouveaux développements
- Etude de cas : Revêtements antisalissures marines, Revêtements anticorrosion, Revêtements par électrodéposition
- Les principales applications
- Défauts d'application
  - Revêtements métalliques
  - Galvanisation
- Galvanisation en continu dans les mélanges (zinc-aluminium ...)
- Influence du substrat
- > Revêtements céramiques
- Les réactions chimiques
- Cinétique du dépôt
- Les techniques de formation du dépôt
- > Exemples et applications.

### *Caractérisation de revêtements organiques*

#### > Généralités

- Rappels sur les peintures
- Rappels sur le phénomène de corrosion
- Principaux type de peintures industrielles anticorrosion
- Types de corrosion associés aux revêtements organiques
- > Mécanisme de la protection
- Effet barrière
- Effet sacrificiel
- Inhibition
- > Techniques de préparation de la surface
- > Caractérisation des propriétés de protection
- Potentiométrie
- Spectroscopie d'impédance complexe
- Mesure de dureté

- 
- Mesure de la perméabilité à la vapeur d'eau
  - Prédiction de la durée de vie du revêtement
  - Revêtement eco-compatible
  - Revêtements galvanique et organique, traitement de surface

### *Assemblage par collage*

- Généralités sur les colles et le collage
- Familles d'adhésifs
- Adhésifs a mise en œuvre physique
- Adhésifs a mise en œuvre chimique
- Formulations d'adhésifs
- Préparations de surface
- Traitements mécaniques
- Traitements chimiques
- Traitements physico-chimiques
- Tests d'adhérence
- Test de cisaillement
- Test de pelage
- Test de clivage
- Conclusion

## **POLYMERES A PROPRIETES SPECIFIQUES**

### **OBJECTIFS**

Familiariser les étudiants avec les matériaux composites et nanocomposites et les techniques de leur élaboration.

- Présenter les classes de polymères aux propriétés spécifiques et les techniques de leur préparation

### **CONTENU**

#### *Composites et Nanocomposites :*

- Présentation des renforts fibreux pour matériaux composites
- Les fibres de verre
- Les fibres de carbone
- Les fibres organiques et végétales
- Les semis produits
- Les matériaux composites à matrice thermoplastiques
- Les prepreg
- Les pré-imprégnés et compounds
- Technologie de mise en forme des composites thermodurcissables

- Présentation des nanorenforts
- Les nanotubes de carbone
- Les nanoparticules inorganiques
- Les whiskers de cellulose
- Nanocomposites par procédé sol-gel
- Introduction au procédé sol-gel
- Présentation des différentes voies de synthèse des nanocomposites
- Propriétés mécaniques des matériaux hybrides organiques inorganiques
- Caractérisation des nanocomposites sous forme de couches minces
- Exemples d'application et de formulations industrielles
- Autres nanocomposites (à base de whiskers de cellulose, de nanotubes de carbone, etc..)

Les polymères synthétiques à propriétés spécifiques

Synthèse des polyesters à propriétés spécifiques (Polylactides,...)

Les polymères dans le domaine électronique et électrotechnique (polymères cyanés et fluorés)

## *Option :* *Matériaux pour l'énergétique*

### **PILES A COMBUSTIBLES ET ACCUMULATEURS**

#### **OBJECTIFS**

Le problème énergétique constitue un des grands défis de ce siècle. La nécessité de développer des énergies nouvelles et de nouveaux systèmes de production est cruciale. Les générateurs électrochimiques, par leur variété, leur adaptabilité et leur efficacité joueront un rôle de premier plan dans un avenir assez proche. Conscients de cette problématique, nous avons conçu ce module qui a pour objectifs :

- > Présenter à l'étudiant les différents types de générateurs électrochimiques (piles, batteries, ...),
- > Définir les paramètres de confiance et fiabilité d'un générateur électrochimique,
- > Etablir les relations : matériau - propriétés - performances énergétiques
- > Etablir le lien entre les matériaux énergétiques et les ressources minérales marocaines (Mn, Co, Ni, Phosphates...)

---

## CONTENU

### 1. Piles à combustibles :

#### *Généralités :*

- Principe. Rendements idéaux et réels. Les différents types de PAC : basse et haute température : piles à membrane échangeuse de proton, pile à oxyde solide. Applications stationnaires, embarquées et portables.
- Les catégories de pile à combustible. Alcaline (AFC Alkaline Fuel Cell), Pile à Membrane Polymère (PEMC Proton Exchange Membrane Fuel Cell), Pile Acide Phosphorique (PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell), Pile à Carbonate Fondus (MCFC Molten Carbonate Fuel Cell), Pile Electrolyte Solide (SOFC Solid Oxide Fuel Cell), Pile direct à méthanol. (DMFC : Direct Methanol Fuel Cell)

#### *Production et stockage du combustible*

- Les différents combustibles.
- Pétrochimie.
- Biomasse.
- Electrolyse.
- Stockage du vecteur hydrogène. Hydrogène comprimé, liquéfié, borohydrure, hydrures métalliques, fullerènes.

#### *Fonctionnement de la pile à combustible*

- Electrochimie interfaciale. Electrocatalyse. Porosité. Etats de surface. Poisons et impuretés.
- PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) et AFC (Alkaline Fuel Cell). Chimie des polymères.
- Propriétés des membranes conductrices. Synthèse des précurseurs. Fonctionnalités des nanomatériaux. Point triple.
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) et MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell). Chimie du solide. Mécanismes de transport à haute température.
- Mécanique des fluides. Gestion des gaz. Gestion de l'eau.
- Transferts de chaleurs. Corrosion.
- Support d'électrode : porosité, tortuosité, traitements de surface.

#### *Systèmes Piles à Combustibles PAC*

- Méthodes de production des composants : membranes, catalyseurs, oxydes, électrolyte, plaques de diffusion, plaques bipolaires.
- Réalisation du module. Assemblage membrane-électrode. Support

---

de diffusion. Plaques bipolaires. Empilement de cellules. Transferts de masse et de chaleur dans les plaques de diffusion.

- > Intégration des empilements dans les systèmes. Construction de modules. Compresseurs, purificateurs, convertisseurs AC-DC. Différentiels de pression dans les empilements.
- > Procédés d'assemblage des composants.
- > Couplage entre pile à combustible et accumulateur.
- > Limites de fonctionnement en conditions extrêmes.
- > Bases de thermique.
- > Les micro-PAC. Electronique portable. Miniaturisation des composants.
- > Maintenance. Procédures de contrôle, de réparation et de remplacement des composants.
- > Moteur à combustion interne, véhicules électriques et hybrides.

## **2. Accumulateurs :**

Caractéristiques et performances des piles et accumulateurs :

- > Capacité, cyclabilité, régime de décharge, profondeur de décharge, densité d'énergie et de puissance.
  - > Tolérance aux conditions extrêmes.
  - > Courbes de décharge et de polarisation.
  - > Les piles. Systèmes zinc-manganèse, zinc-air, piles au lithium
- Accumulateurs au plomb
- > Modèles et applications. Batteries de démarrage, de traction, stationnaire, portables. Procédés de fabrication.
  - > Electrocrystallisation. Maintien en charge. Processus de recombinaison.

Séparateurs. Porosité, stabilités

- > thermique, mécanique et chimique.

### ***Batteries Ni-Cd et Ni-MH***

- > Performances et caractéristiques.
- > Effet mémoire.
- > Systèmes et applications

### ***Batteries au lithium***

- > Conception de batteries au lithium. Les batteries lithium-polymère, à ions lithium, plastiques à ions lithium, lithium-gel et les micro-batteries. Motivations, principe, historique, la négative, la positive, performances, applications, perspectives.

- Electrochimie du solide : thermodynamique, cinétique et expérimentation. Thermodynamique : le modèle d'Armand. Expérimentation: électrode composite, modes galvanostatique et potentiodynamique, lien entre courbes I-V et V-x. Cinétique : phénomènes de diffusion, détermination des coefficients de diffusion, signature électrochimique de différents types de phénomène.
- Matériaux d'électrode positive pour batteries au lithium. Positives (LiMO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) de batteries aux ions lithium, positives (oxydes de manganèse (spinelle), de vanadium) de batteries au lithium métallique, perspectives de développements.
- Matériaux d'électrode négative : carbone « dur » et graphite. Mécanismes d'insertion. (carbones, M-Sn-O).
- Electrolytes liquides, polymères, vitreux et gels. Domaines d'électroactivité. Stabilité vis-à-vis des alcalins : passivation, corrosion, croissance dendritique....

Autres accumulateurs

- Accumulateurs au magnésium.
- Batterie alcaline Ni-Zn.
- Générateurs métal-air.
- Accumulateurs haute température : sodium/soufre, sodium/chlorure de nickel

## CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

### OBJECTIFS

La demande énergétique croissante des pays en développement, a amené les gouvernements des pays industrialisés à envisager de nouvelles stratégies pour la gestion des ressources énergétiques à l'échelle mondiale et cela pour plusieurs raisons. En effet, aujourd'hui, la prise en compte de l'impact environnemental et de la disponibilité à long terme des ressources fossiles rend la filière photovoltaïque très compétitive dans la distribution électrique.

Ainsi l'industrie photovoltaïque est sur le point de connaître son véritable lancement commercial à grande échelle. On annonce déjà des prévisions d'un marché global qui devrait être 10 fois plus important en 2010, relevant que le 21<sup>ème</sup> siècle sera connu sous le nom de «siècle solaire».

Dans ce contexte en plein développement et à fort potentiel d'innovation, l'esprit de ce module est de donner aux futurs lauréats une vue

---

d'ensemble de la problématique concernant la production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

## **CONTENU**

Physique des semi-conducteurs et de la jonction PN

- > Physique des semiconducteurs
- > Interaction rayonnement matière
- > Physique de la Jonction PN à l'équilibre et sous éclairage

• Conversion photovoltaïque

- > Convertisseurs photovoltaïques : Cellules, Modules et Systèmes photovoltaïques
- > Cellule photovoltaïque : La filière au silicium (cristallin et amorphe)
- > Cellule photovoltaïque : Les filières alternatives organiques et en couches minces

## ***Option :***

### ***Matières premières et ressources minérales***

## **METALLURGIE EXTRACTIVE & CHIMIE MINERALE INDUSTRIELLE**

### **OBJECTIFS**

- Comprendre les procédés d'extraction des métaux à partir des minerais bruts. Se familiariser avec la métallurgie dans son sens le plus général. Saisir l'importance du champ d'étude à travers l'histoire du développement de la métallurgie, les grands traits de son évolution, les principales technologies, la situation minière du Maroc et les installations métallurgiques marocaines.
- Donner les connaissances de base, scientifiques et technologiques, sur les grands procédés de la chimie minérale industrielle. Dresser les schémas de procédés, calculer des bilans de matière et connaître les problèmes environnementaux liés à l'industrie chimique

L'illustration des concepts étudiés est faite par des séances de travaux dirigés

## **CONTENU**

### ***I/La minéralurgie***

I.1. Notions fondamentales de la métallogénie ; Typologie des gîtes métallifères ; Etude des gisements du Maroc

---

## I.2. La communiton

### I.2.1. Caractérisation des Matériaux

### I.2.2. Lois de la fragmentation

### I.2.3. Technologies de la fragmentation

## I.3. Classements volumétriques

### I.3.1. Classement direct

### I.3.2. Classement indirect

## I.4. Les méthodes d'enrichissement

### I.4.1. La concentration gravimétrique :

(Milieu dense, Nappe pelliculaire fluante, Accélération différentielle, Technologies)

### I.4.2. Le triage magnétique :

(Lois magnétiques, Classification magnétique des solides, Séparateurs magnétiques)

### I.4.3. La flottation :

(Notion de tension superficielle, Théorie électrocinétique de la double couche, Réactifs de flottation, Machines de flottation)

## *II/Notions d'hydrométallurgie :*

Lixiviation, purification et récupération du métal

## *III/ Chimie industrielle*

- Généralités : Matières premières minérales et minéralurgie.
- Synthèse industrielle de l'acide sulfurique
- Production de l'acide phosphorique
- Métallurgie de l'aluminium
- Métallurgie du cuivre

## **VALORISATION DES SUBSTANCES UTILES (ARGILES, PHOSPHATES ET LES EVAPORITES)**

### **OBJECTIFS**

Ce module a pour objectif de mettre en évidence l'importance des substances utiles dans l'industrie des matériaux. L'étudiant est emmené à acquérir une bonne connaissance du potentiel du pays en substances non métalliques et de ses propriétés physiques et chimiques et minéralogiques. La connaissance de ces facteurs est indispensable pour l'optimisation de son utilisation dans la production des matériaux locaux: des céramiques traditionnelles, matériaux pour la construction ou matériaux pour d'autres applications.

---

## CONTENU

### *Elément 1 :*

Etude géologique des substances utiles  
Classification des substances utiles  
Pétrographie et minéralogie des roches  
Genèse des substances utiles  
Prospection  
Extraction  
Echantillonnage

### *Elément 2 :*

Caractérisation des substances utiles  
Caractérisations physico-chimiques  
Caractérisations morphologiques

### *Elément 3 :*

Quelques applications industrielles des substances utiles  
Céramiques traditionnelles  
Classification des produits réfractaires  
Matières premières  
Les matières plastiques  
Les matières dégraissantes  
Les matières premières des émaux  
Calcination des chamottes  
Le séchage  
Classification granulométrique  
Classement des argiles au point de vue céramique  
Fabrication - Cuisson

### *Matériaux de construction*

#### *Ciments*

La fabrication du ciment  
La physico-chimie de l'hydratation du ciment  
Rhéologie des pâtes et mise en œuvre  
Consistance : dosage en eau, plastifiants, granulométrie, ...  
Les ciments composés et autres liants hydrauliques  
Quelques définitions et propriétés des bétons.  
La formulation des bétons  
Résistance mécanique à court terme

---

Résistance mécanique à long terme.

La durabilité : dégradation par le gel; carbonatation et corrosion des armatures; dégradations par attaque chimique.

***Le plâtre :***

Fabrication industrielle du plâtre;

Prise et propriétés mécaniques;

Matériaux pour la Catalyse Hétérogène

Argiles organophiles

Intercalation des cations organiques

Propriétés des argiles organophiles

Application : adsorption des polluants organiques

Argiles à piliers inter lamellaires

Principe du pontage

Propriétés des argiles pontées

Applications : catalyse ( conversion des gaz polluants (NO<sub>x</sub> )), photo catalyse (élimination des polluants organiques et gazeux des eaux et de l'air respectivement), ...

Nano composites à base d'argile et polymères

Différentes méthodes de préparation des nano composites argile / polymères Propriétés et applications

## ***Option :*** ***Instrumentation en génie industriel***

### **CAPTEURS ET INSTRUMENTATIONS**

#### ***OBJECTIFS***

Initier l'étudiant à la mesure de différentes grandeurs physiques par les capteurs, caractériser ces derniers par leurs caractéristiques métrologiques et acquérir des bases solides sur l'instrumentation associée à la chaîne de mesure du capteur.

#### ***CONTENU***

##### ***I- Capteurs***

*1- principes fondamentaux*

*2-Métrologie*

*> Caractéristiques métrologiques des Capteurs*

- 
- > Erreurs de mesure
  - > Etalonnage
  - > Sensibilité
  - > Finesse
  - > Rapidité
  - > Temps de réponse
  - > Tolérance

### *3-Applications :*

- > Capteurs optiques
- > Capteurs de température
- > Capteurs de position et de déplacement
- > Capteurs de déformation
- > Capteurs de force
- > Capteurs de vibrations
- > Capteurs vitesse
- > Capteurs de débit
- > Capteurs de pression de fluides
- > Capteurs de mesures de vide
- > Capteurs acoustiques
- > Capteurs d'humidité
- > Biocapteurs
- > Capteurs intelligents

## **II- INSTRUMENTATION :**

### *1- Conditionneurs de signal*

- > Montage potentiométrique
- > Oscillateurs
- > Ponts électriques
- > Amplificateurs opérationnels

### *2-Chaîne de mesure*

- > Adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure
- > Linéarisation
- > Amplification du signal
- > Détection de l'information....

## **TECHNIQUES DE CONTROLE NON DESTRUCTIF**

### **OBJECTIFS**

Ce cours donnera à l'étudiant un large aperçu des différentes techniques

---

de contrôle non destructif utilisables dans l'industrie. Deux techniques seront plus particulièrement développées : les techniques optiques de mesure sans contact et le contrôle non destructif par ultrasons. Les approches théoriques et l'application des méthodes seront illustrées à l'occasion de travaux dirigés et de travaux pratiques.

## **CONTENU**

### *1-INTRODUCTION AU CONTROLE NON DESTRUCTIF*

- Présentation du C.N.D.
- Les différents types de contrôle non destructif
- Critères de choix en CND

### *2-TECHNIQUES OPTIQUES DE MESURE SANS CONTACT*

- Principe de l'holographie
- Interférométrie holographique
- Interférométrie de Speckle
- Deflectométrie de Moiré et de Schlieren
- Shearographie

### *3-THEORIE DE LA PROPAGATION DES ULTRASONS DANS LES MATERIAUX*

Propagation des ultrasons dans les solides anisotropes

Réflexion, réfraction et conversion de modes

Ondes de surface et d'interface

Génération des ultrasons par effet piézoélectrique

### *4-TECHNOLOGIE ET APPLICATIONS DES ULTRASONS*

*Acoustique ultrasonore médicale*

- Echographie par ultrasons
- Vélométrie Doppler ultrasonore

Contrôle non destructif par ultrasons

- CND des matériaux composites par ultrasons
- CND des matériaux poreux par ultrasons

Ultrasons en métrologie

- Mesures de propriétés de matériaux

### **TECHNIQUES D'IMAGERIE NUMERIQUE**

- Système d'acquisition des images (caméra)

- Restauration
- Détection des contours
- Compression
- Méthodes d'analyse de données (ACP, analyse factorielle, ...)
- Caractérisation des images et Classification automatiques
- Filtrage par FFT, convolution et déconvolution..

### *Travaux Pratiques*

- 1- Mesure de l'épaisseur d'une lame par l'interféromètre de Michelson
- 2- Propagation des ultrasons dans des milieux de densités différentes
- 3- Echographie par ultrasons
- 4- Traitement de signal sous Matlab
- 5- Traitement d'images sous Matlab

## **Programme d'enseignement du Semestre 4**

### **STAGE D'INITIATION A LA RECHERCHE**

#### **OBJECTIFS**

Ce module vise à développer l'intérêt et l'habitude de la recherche personnelle, à donner le sens de la planification et de l'organisation de son travail afin d'atteindre un objectif précis ou à résoudre un problème technique particulier.

#### **CONTENU**

Le stage de fin d'étude sera effectué soit dans des entreprises dans le domaine des matériaux, soit au sein d'une équipe ou d'un laboratoire de la FSTM. Il permettra aux futurs lauréats de se familiariser avec le milieu professionnel et de mettre en application leurs connaissances acquises au cours de leur formation par la réalisation d'études concrètes pour l'entreprise d'accueil.

L'encadrement de stagiaire sera assuré par des enseignants de l'université et des acteurs du milieu socio-économique.

Le mode de présentation des résultats du travail de recherche est le mémoire devant un jury mixte Entreprise-Université. Avec l'autorisation de la direction de programme, le mémoire peut être constitué par une ou plusieurs publications. Dans ce cas, les publications doivent être présentées comme des parties d'un texte de

---

synthèse qui doit comprendre les rubriques habituelles d'un mémoire de maîtrise. Lorsque plusieurs auteurs ont participé à la rédaction des publications, le mémoire doit faire clairement mention de la contribution de l'étudiant.

Le mémoire est évalué par 3 examinateurs, incluant le directeur de recherche. Les membres du jury évaluent le mémoire en fonction de l'atteinte des objectifs propres à la maîtrise: bonne connaissance des travaux antérieurs, méthodologie de recherche appropriée et présentation claire et cohérente.

Au cours de la rédaction proprement dite, l'étudiant doit s'assurer, en concertation étroite avec son directeur de recherche, que son projet de mémoire lui permet d'atteindre les objectifs de formation de ce niveau d'études et qu'il est conforme aux modalités générales et aux exigences particulières du programme.