**III - Programme détaillé par matière**

(1 fiche détaillée par matière)

Compte tenu des spécificités de la physique des couches minces, il est indispensable de dispenser des enseignements soutenus, aussi bien théoriques que pratiques (cours, TD et TP), sur les principes de base régissant les processus de fabrication des films minces de qualité technologique, l’obtention du vide très poussé, les techniques d’étude et de caractérisation de ce type de matériaux.

On estime très utile d’initier les étudiants dès le 3ème semestre (S3) à l’art et la méthodologie nécessaires à rédiger et à présenter leurs connaissances par la réalisation et la soutenance de projets personnels ayant trait à la critique bibliographique en relation avec les thèmes de recherche développés au laboratoire Couches minces-interfaces.

En outre, l’unité « Découverte » (Séminaires scientifiques) permettra aux étudiants de découvrir les récents progrès scientifiques et technologiques sur les matériaux de basse dimensionnalité.

Le volume de travail personnel que doivent fournir les étudiants est important et est destiné à consolider leur formation et à développer en eux un esprit d’initiative.

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Interactions rayonnement - matière**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Compréhension des mécanismes et phénomènes d’interaction entre un matériau et un rayonnement donné

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

1. **Notions générales sur les rayonnements**
2. Définitions, nature et origine des rayonnements
3. Unités et grandeurs caractérisant les rayonnements ( Energie, longueur d’onde, intensité, libre parcours moyen, section efficace, champ de rayonnement, énergie communiquée au milieu, microdosimétrie, radioprotection,…)
4. Dualité onde-particule
5. Aspects ondulatoire et corpusculaire des rayonnements
6. Relations entre énergie et longueur d’onde
7. Classifications des rayonnements
8. **Structure de la matière**
9. Particules élémentaires ( Leptons, quarks, …)
10. Antiparticules
11. Rappels sur la théorie atomique de la matière

**C- Notions fondamentales sur les interactions**

a- Interactions élémentaires ( Forte, faible, électromagnétique et gravitationnelle )

b- Modification du rayonnement sous l’action de la matière

c- Modification de la matière sous l’action du rayonnement

d- Transfert d’énergie du rayonnement à la matière

e- Interaction élastique

f- Interaction inélastique

**D- Interaction des rayons X avec la matière**

Introduction

a- Propriétés des rayons X ( production, détection, mesure )

b- Absorption des rayons X

- Effet photoélectrique, - Phénomène macroscopique ( coefficient d’absorption ),

- Variations du coefficient d’absorption avec la longueur d’onde et le numéro

atomique, - Rayonnement de fluorescence, - Applications

c- Interaction élastique

- Diffusion cohérente ( diffusion de Thomson ), - Pouvoir diffusant, - Amplitude de

diffusion,- phénomène de diffraction, - calcul de la densité électronique

d- Interaction inélastique

- Diffusion incohérente ( diffusion Compton ), - émission de rayonnements

secondaires.

**E-** **Interaction des électrons avec la matière**

Introduction

a- Production, détection, mesure

b- Absorption des électrons ( perte d’énergie par ionisation, - perte d’énergie par

émission de rayonnement de freinage )

c- Interaction élastique

d- Interaction inélastique

e- Interaction électron-atome ( facteur de diffusion atomique )

f- Diffusion cohérente

g- Phénomène de diffraction

h- Applications

**F- Interaction des neutrons avec la matière**

Introduction

a- Le neutron ( - définition, - production, - classification )

b- Absorption des neutrons ( - absorption, - détection, - protection )

c- Interactions neutron-matière

- Section efficace de diffusion, - potentiel d’interaction nucléaire, potentiel

d’interaction magnétique, - réflexion de Bragg nucléaire, - réflexion de Bragg

magnétique, -optique neutronique

d- Applications

- La fission, - Interaction avec les tissus biologiques, - activation par les neutrons

**G- Interaction des ions avec la matière**

Introduction

a- Interaction ion-atome isolé

- Collisions élastiques, - Diffusion de Rutherford, collisions inélastiques

b- Interaction ion-solide

\* Effets sur l’ion projectile

- Perte d’énergie, - interaction ion-ion (collisions élastiques, pouvoir d’arrêt

nucléaire), - interaction ion-électron ( - collisions inélastiques, pouvoir d’arrêt

électronique )

\* Effets induits dans le matériau cible

c- Emission ionique des particules

- Pulvérisation nucléaire, - pulvérisation électronique, - pulvérisation potentielle,

émission d’agrégats

d- Implantation ionique

- Parcours moyen projeté, - Déviation standard, - dose d’implantation, - profil de

concentration, - phénomène de canalisation

**H- Quelques applications de l’interaction Rayonnement-matière**

a- Diffraction des rayons X ( DRX )

b- Diffraction des neutrons ( DN )

c- Diffraction des électrons de faible et de haute énergies ( LEED et RHEED )

d- Microanalyse X

e- Spectroscopie de masse à ions secondaires ( SIMS )

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Défauts dans les matériaux**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Découverte des différents défauts et leur rôle dans les matériaux

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

Introduction : Défauts et propriétés dans les matériaux solides

1. Défaut – Structure
2. Défaut – Propriétés

I : Rappels et compléments sur la structure cristalline

1. Introduction
2. Définitions
3. Principaux types de structure cristallines
4. Polymorphisme – Transformations allotropiques
5. Anisotropie cristalline
6. Projection stéréographique

II : Les défauts ponctuels

1. Définitions
2. Les interstitiels
3. Les lacunes
4. Les atomes en substitution
5. Mise en évidence expérimentale
6. Energie de formation et concentration de défauts
7. Applications : Approche microscopique de la diffusion et coloration des cristaux ioniques

III : Les dislocations

1. Introduction

2. Concept de dislocations

3. Caractérisation d’une dislocation

4. Types de dislocations

1. Mouvements des dislocations
2. Dislocations imparfaites et défauts d’empilement
3. Champs de contraintes et de déformations
4. Forces exercées sur une dislocation
5. Interactions de dislocations
6. Multiplication de dislocations
7. Dissociation de dislocations
8. Méthodes d’observation des dislocations
9. Application : Approche microscopique de la déformation plastique

IV : Joints de grains

1. Définitions

1.1. Paramètres du joint de grains

1.2. Joints de grains - Dislocations

1.3 Joints de grains – Contraintes

2. Caractéristiques géométriques de la désorientation

2.1. Orientation d’un grain

2.2 Axe de désorientation

2.3 Angle de désorientation

3. Classification des joints de grains

3.1. Joints à faible angle

3.2 Joints C.S.L. (Coincidence Site Lattice)

3.3. Réseau ‘O’ et Dislocations primaires

3.4 Réseau DSC et Dislocations secondaires

3.5 Critères de spécialité

V : Surfaces

VI : Ségrégations, amas et précipités

1. Solutions solides et précipitation

2. Amas de surstructures, pré-précipités et précipités

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**/Intitulé de la matière : Propriétés physiques des matériaux**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Découverte des différentes propriétés physiques des matériaux massifs

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

1. Généralités
   1. Structures cristallines
   2. Cristaux et amorphes
   3. Imperfections
2. Diffraction des rayons X
   1. Production et détection
   2. Méthodes expérimentales
   3. Applications
3. Propriétés mécaniques
   1. Elasticité-plasticité
   2. Fluage – fatigue
   3. Dureté
4. Propriétés électroniques
   1. Thermiques
   2. Electriques
   3. Magnétiques
   4. Optiques
   5. Thermodynamique

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Thermodynamique et physique statistique**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Bases fondamentales de la thermodynamique et de la physique statistique appliquées aux corps solides

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)

I.Rappels :

I. 1.- Premier et second principes :

loi de Nerst, loi de Kirchoff..

I. 2.- Potentiels Thermodynamiques

Fonction enthalpie, L’énergie libre, l’énergie de Gibss…

II.Equilibre Thermodynamique et lois du déplacement de l’équilibre

II.1 Condition de l’équilibre

Equilibre stable, équilibre instable, équilibre métastable

II. 2- les différents conditions de l’équilibre

-Notion de phases

- composants et constituants

- concentrations

- Potentiels thermodynamiques chimiques

II. 3- Expression de la règle des phases

- Notion de la variance du système

- Détermination des phases à partir des masses des constituants

II. 4- Loi du déplacement de l’équilibre

Loi de modération

III.Etude thermodynamique d’un mélange de deux corps purs

III.1 -Titre et concentrations

-Variance d’une solution. Courbe de solubilité

- Chaleur de dissociation

- Détermination expérimentale des courbes de solubilité

III.2 Solutions Solides

Définition et Propriétés

Mélange à deux composants : Solution homogène, solution non homogène

Alliages

IV .Introduction à la Thermodynamique Statistique :

- problème de l’étude du microscopique sur les bases de la mécanique statistique,

-déterminisme/indéterminisme

V. Phénomènes stochastiques :

-introduction, marche au hasard,

distributions binomiales et gaussiennes,

mouvement Brownien et équation de Langevin,

- paramètre d’ordre, transition

-ordre/désordre, chaînes polymères.

VI.Notions fondamentales :

-notion d’équilibre, valeurs moyennes, fluctuation/configuration,

-principes de la thermodynamique statistique, irréversibilité, espace de phase.

VII-Entropie Statistique:

-notions de théorie de l’information, lien entre information et entropie,

-entropie dans un système simple,

- entropie dans un système plus complexe

VIII- Statistique Classique:

-généralités, hypothèse ergodique, ensembles de Gibbs, statistique de Maxwell-Boltzmann,

-fonction de partition, lien avec les fonctions thermodynamiques classiques

- Applications: valeurs moyennes, théorème de l'équipartition de l’énergie, théorie

cinétique des gaz

IX- Statistiques Quantiques:

-statistiques quantiques (Fermi-Dirac et Bose-Einstein),

-Maxwell-Boltzmann généralisée, lien avec les fonctions thermodynamiques classiques

- Application aux systèmes chimiques simples : fonction de partition d’un système à

plusieurs constituants indépendants, règles d’additivité, gaz et mélange de gaz parfaits,

équilibre chimique simple

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Technologie des matériaux**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Connaissance des principes techniques d’élaboration des matériaux et des diagrammes d’équilibre de phases

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)

Introduction

1. Solutions solides
   1. Insertion
   2. Substitution
   3. Solutions ordonnées
   4. Phases intermédiaires
2. Diagrammes de phases binaires
   1. Bases thermodynamiques
   2. Etude expérimentale
3. Changement de phase
   1. Germination homogène
   2. Germination hétérogène
   3. Croissance
   4. Diagramme TTT
   5. Solidification
   6. Purification par fusion de zone

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEM**

**Intitulé de la matière : Techniques numériques**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Maîtrise des méthodes de programmation pour les calculs numériques

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)

* Résolutions d’équations ; résolution de système d’équations binaires
* Calcul numérique des valeurs et vecteurs propres
* Interpolation numérique
* Approximation de fonctions
* Dérivation numérique
* Equations différentielles à conditions initiales ; équations différentielles à conditions aux limites
* Equations aux dérivées partielles

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UEM**

**Intitulé de la matière : Travaux pratiques I**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Applications pratiques des connaissances théoriques sur l’élaboration et la caractérisation des matériaux

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

- Préparation des échantillons (polissage mécanique, polissage électrochimique, attaque

chimique)

- Microscopie optique

- Microdureté

- Traitements thermiques et solidification

- Diffusion

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UED**

**Intitulé de la matière : Didactique**

**Crédits : 2**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Découverte des méthodes pédagogiques d’approche à la résolution des problèmes de physique

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références   :** Livres et polycopiés, sites internet)

* Participation active de l’étudiant à sa propre formation.
* Initiation aux techniques de communication
* Initiation à la recherche bibliographique
* Apprendre à rédiger et exposer un projet d’étude donné
* Acquérir une certaine maîtrise de calcul scientifique à l’aide d’ordinateur
* Résolution effective de problèmes concrets.

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 1**

**Intitulé de l’UE : UET**

**Intitulé de la matière : Anglais**

**Crédits : 1**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Apprentissage de l’anglais et de la terminologie scientifique

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  L*ivres et polycopiés, sites internet)*

……………………………………………

Anglais scientifique et technique

………… ………………………………

……………………………………………

……………………………………………

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Méthodes d’analyse et de caractérisation des solides**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Prise de connaissance des différentes techniques expérimentales d’étude des matériaux et maîtrise de leurs principes de fonctionnement et domaines d’application.

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références   :** Livres et polycopiés, sites internet).

1. Spectroscopie d’absorption I.R.
   1. Spectre de rotation et de vibration
   2. Spectrométrie micro ondes et infra rouge
2. Spectrométrie de diffusion
   1. Spectre Raman
   2. Spectre d’absorption / spectre de diffusion
   3. Spectromètre Raman
3. Spectres électroniques des molécules diatomiques
   1. Spectre vibro électronique
   2. Principe de Frank-Condon
4. Ellipsométrie optique
   1. Principe
   2. Application aux couches minces
5. Spectroscopie de masse
   1. Principe et caractéristiques d’un spectromètre de masse
   2. Spectromètres à simple et à double fente
   3. Analyse isotopique
   4. SIMS : spectromètre de masse des ions secondaires
6. Spectroscopie des R X
   1. Production et détection des R X
   2. Fluorescence X, EXAFS, ESCA
7. Spectroscopie des électrons
   1. Microscopies MET, MET
   2. Microscopie à effet tunnel
   3. Spectroscopie Auger
   4. Applications : géologie, métallurgie
8. Spectroscopie nucléaire
   1. Activation neutronique
   2. Analyse par faisceaux d’ions : PIXE, RBS

9. Méthodes par Ultra .Sons et électriques

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Propriétés tensorielles des solides**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Compréhension des différentes propriétés physiques des matériaux en utilisant les tenseurs mathématiques de différents rangs

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références   :** Livres et polycopiés, sites internet)

I- Principes généraux.

I.1- Scalaires, vecteurs et tenseurs de second ordre.

I.2- Transformations des axes, coordonnées, composantes d'un tenseur, produits de coordonnées.

I.3- Quadrique représentative.

I.4- Intensité d'une propriété dans une direction donnée.

I.5- Propriétés géométriques dans la quadrique représentative.

II- Susceptibilités paramagnétique et diamagnétique.

II.1- Relations générales.

II.2- Energie d'un cristal aimanté.

II.3- Couples et forces.

II.4- Susceptibilité magnétique d'une poudre.

III- Tenseur des contraintes.

III.1- Notion de contraintes.

III.2- Contraintes sous forme tensorielle.

III.3- Quadrique représentative.

III.4- Tenseurs particuliers de contraintes.

IV- Tenseur des déformations.

IV.1- Déformation unidimensionnelle.

IV.2- Déformation bidimensionnelle.

IV.3- Déformation tridimensionnelle.

IV.4- Dilatation thermique.

V- Elasticité. Tenseurs de rang 4.

V.1- Loi de Hooke.

V.2- Notation matricielle.

V.3- Energie d'un cristal déformé.

V.4- Effet de la symétrie cristalline.

V.5- Relations entre les coefficients de Lamé, de Poisson et le module d'Young.

V.6- Compressibilités volumique et linéaire d'un cristal.

VI- Piezoélectricité. Tenseurs de rang 3.

VI.1- Effet piezoélectrique direct.

VI.2- Réduction du nombre de composantes. Notations matricielles.

VI.3- Effet piezoélectrique inverse.

VI.4- Réduction du tenseur à l'aide de la symétrie cristalline.

VI.5- Surfaces représentatives.

VII- Conductivité thermique et électrique.

VII.1- Conductivité thermique et tenseur de la résistivité.

VII.2- Deux cas particuliers d'étude de flux de chaleur.

VII.3- Ecoulement de chaleur dans le cas général.

VII.4- Conductivité électrique.

VII.5- Relations réciproques kij  = kji .

VIII- Polarisation électrique.

VIII.1- Relations générales.

VIII.2- Polarisation électrique et aimantation.

VIII.3- Relation entre ,  et  dans un condensateur à électrodes parallèles.

VIII.4- Energie d'un cristal polarisé.

VIII.5- Force et couple s'exerçant sur un cristal plongé dans un champ électrique.

VIII.6- Champ électrostatique dans un diélectrique homogène anisotrope.

VIII.7- Pyroélectricité et ferroélectricité.

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Transformations de phases**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Compréhension des processus de germination et de croissance des phases, ainsi que leurs transformations sous diverses conditions

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

1- Aspects thermodynamiques généraux.

I.1- Cinétique d'une transformation.

I.2- Etat transitoire activé.

I.3- Energie interne d'activation.

I.4- Distribution de l'énergie cinétique.

2- Croissance cristalline et solidification (concepts de base).

II.1- Etat solide et état liquide.

II.2- Interface liquide / solide.

II.3- Germination et croissance.

II.4- Solidification.

3- Classification générale des transformations de phases et problèmes de germination de la nouvelle phase.

III.1- Introduction.

III.2- Classification générale des transformations de phases.

III.3- Problèmes de germination de la nouvelle phase.

4- Cinétique des transformations dans les métaux et les alliages à l'état solide.

IV.1- Caractères généraux des transformations à l'état solide.

IV.2- Amorçage des réactions procédant par germination et croissance.

IV.3- Théorie classique de la germination.

IV.4- Théorie de la décomposition spinodale.

IV.5- Insuffisances des théories précédentes.

IV.6- Germination homogène et hétérogène.

5- Rôle de l'énergie de déformation élastique et de l'énergie d'interface.

V.1- Cohérence totale, semi-cohérence et incohérence totale.

V.2- Caractéristiques des phase formées par précipitation.

V.3- Structures "modulées".

6- Mécanismes de croissance des cristaux lors des transformations sans diffusion.

VI.1- Transformation "normale".

VI.2- Transformation martensitique.

VI.3- Transformation "massive".

VI.4- Argument thermodynamique de la possibilité de formation de la nouvelle phase sans diffusion.

7- Types de transformations avec diffusion.

VII.1- Introduction.

VII.2- Précipitation continue.

VII.3- Précipitation discontinue

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Diffusion dans les solides**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Compréhension des différents mécanismes de diffusion des atomes dans les matériaux pour mieux expliquer leurs propriétés physico-chimiques

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références   :** Livres et polycopiés, sites internet)

I- Introduction.

II- Flux de particules. Equation de Fick.

III- Régime permanent.

IV- Solution de l’équation de diffusion.

IV.1- Couche mince superficielle ou en sandwich.

IV.2- Concentration superficielle constante.

IV.3- Placage: la distribution initiale est dite infinie.

IV.4- Coefficient de diffusion fonction de la composition.

V- Relation entre transfert et diffusion. Equation de Nernst-Einstein.

VI- Nature de la force de transfert.

VII- Variétés des processus de diffusion et généralisation de la loi de Fick.

VIII- Diffusion à l’état solide.

VIII.1- Le flux.

VIII.2- L’équation de transport.

VIII.3- Les couches diffusées.

a) Etat de dépôt.

b) La redistribution.

c) Mesure des couches diffusées.

IX- Conclusion.

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Introduction à la physique des couches minces**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

* Acquisition des notions de base sur l’élaboration et la caractérisation des matériaux sous forme de couches minces ;
* Compréhension des différentes caractéristiques spécifiques des couches minces en comparaison avec les matériaux massifs, ce qui permettra de mieux expliquer leurs diverses propriétés physico-chimiques ;
* Avoir une idée plus claire sur l’importance des couches minces et de leurs nombreuses applications pratiques et technologiques

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (**Références   Livres et polycopiés, sites internet)

I- Introduction.

II- Généralités sur les couches minces

* + 1. obtention des couches minces.
    2. Paramètres déterminants des couches minces : épaisseur, état du substrat, température du substrat, vitesse de dépôt, …
    3. Caractéristiques des couches minces : condensation, nucléation, croissance, structures (monocristallines, super réseaux, poly-cristallines, amorphes)
    4. Types de couches minces : métalliques, semi-conductrices, diélectriques, …

III- Propriétés des couches minces

1. Mécaniques
2. Electriques
3. Diélectriques
4. Magnétiques
5. Optiques

IV- Applications technologiques des couches minces

* + - 1. Décoration
      2. Revêtements
      3. Métallisation et interconnexion
      4. Résistances
      5. Condensateurs
      6. Composants électroniques (diodes, transistors,…)
      7. Circuits intégrés
      8. Cellules solaires
      9. Optique intégrée, etc.

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEM**

**Intitulé de la matière : Méthodes de simulation en science des matériaux**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Savoir traiter et interpréter, avec logique et rigueur, les données et les résultats obtenus en utilisant différentes méthodes de calcul

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :** Livres et polycopiés, sites internet)

* Potentiel d’interaction empirique
* Système statistique microcanonique
* Système statistique canonique
* Système statistique grand canonique
* Statistique moléculaire
* Dynamique moléculaire
* Méthode Monté-Carlo
* Méthode ab-initio
* Langages de programmation (Fortran 90, C++, …)

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UEM**

**Intitulé de la matière : Travaux pratiques II**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Applications pratiques des connaissances théoriques sur l’élaboration et la caractérisation des matériaux

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :**  Livres et polycopiés, sites internet)

- Diffraction des rayons X (DRX) : Principe de la diffraction ; acquisition et dépouillement des spectres ; détermination des paramètres de réseaux ; identification de phases

- Essais de compression

- Module de Young

- Matériaux semiconducteurs : Effet Hall et conductivité électrique

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 2**

**Intitulé de l’UE : UED**

**Intitulé de la matière : Initiation à la recherche bibliographique**

**Crédits : 1**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Initiation à la recherche bibliographique relative à un thème donné et à sa critique

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :** Livres et polycopiés, sites internet)

* Initiation à la recherche bibliographique et à la synthèse d’articles scientifiques
* Initiation à la rédaction et à la présentation d’un rapport scientifique

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:***

**Intitulé de l’UE : UET**

**Intitulé de la matière : Anglais**

**Crédits : 1**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Perfectionnement de l’anglais scientifique et technique

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

**Contenu de la matière : (Références :** Livres et polycopiés, sites internet)

……………………………………………

Anglais scientifique et technique

……………………………………………

……………………………………………

……………………………………………

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Méthodes d’analyse structurale et physico-chimique des couches minces**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

- Maîtrise des principes théoriques des techniques avancées les plus performantes utilisées dans la caractérisation structurale et physico-chimique des matériaux en couches minces.

- Manipulations pratiques sur certaines de ces techniques disponibles dans le laboratoire responsable du parcours et, éventuellement, dans d’autres laboratoires.

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références :** Livres et polycopiés, sites internet)

I. Diffraction des rayons X en incidence rasante (utilisation du rayonnement

synchrotron)

1. Introduction

2. Rayonnement synchrotron

3. Justificatif de l'incidence rasante

4. Diffraction des rayons X: théorie cinématique

5. Domaine d'utilisation

6. Dispositif expérimental

7. Exemples d'applications

8. Conclusion

II. Spectroscopie d'absorption X (XANES et EXAFS)

1. Introduction

2. Principe de base de l'absorption X

3. Conditions expérimentales et méthode de mesure

4. exemples d'applications

5. Conclusion

III. Spectroscopie de pertes d'énergie d'électrons ( EELS, HREELS )

1. Introduction

2. Principes physiques

3. Instrumentation

4. Exemples d'applications

5. Conclusion

IV. Microscopies à champs proches

1. Introduction

2. Effet tunnel

3. Principes de base

4. Dispositif expérimental

5. Exemples de résultats

6. Conclusion

V. Spectroscopie de rétrodiffusion d'ions (ISS)

1. Introduction

2. Bases physiques

3. Instrumentation et modes opératoires

4. Cas de la rétrodiffusion Rutherford d'ions (RBS)

5. Concepts physiques

6. Appareillage

7. Exemples d'applications

8. Conclusion

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Technique du vide**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

- Maîtrise des principes théoriques de fonctionnement des techniques de pompage de vide dans des enceintes de dépôt de couches minces solides.

- Manipulations pratiques sur différents groupes de pompage( pompes à vide primaire, pompes à vide secondaire poussé, pompes à vide secondaire très poussé) dans le laboratoire responsable du parcours.

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)



**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Elaboration des couches minces**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

- Maîtrise des principes théoriques des différentes techniques physiques et chimiques de dépôt avancées des couches minces.

- Maîtrise des fondements thermodynamiques de la formation et croissance des couches minces sur des substrats massifs de diverses natures.

- Utilisations pratiques des procédés d’obtention des couches minces par évaporation thermique, par pulvérisation cathodique, par voie chimique disponibles dans le laboratoire responsable du parcours et, éventuellement, d’autres procédés dans d’autres laboratoires*.*

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)



**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Physique des plasmas froids**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

- Maîtrise des principes théoriques de la physique des plasmas et leurs modélisations (obtention, caractéristiques électriques et optiques).

- Procédés pratiques d’obtention de plasma et applications pratiques dans les dépôts des couches minces et des traitements de surface dans le laboratoire responsable du parcours et, éventuellement, dans d’autres laboratoires.

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références :**  Livreset polycopiés, sites internet)



**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEF**

**Intitulé de la matière : Nanosciences**

**Crédits : 5**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Compréhension des principes de base des propriétés fondamentales des nanomatériaux, leur fabrication et leurs applications technologiques

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)

****

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UEM**

**Intitulé de la matière : Recherche bibliographique**

**Crédits : 2**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

Recherche bibliographique préparatoire au projet du stage de mémoire de Master en S4.

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références :** Livres et polycopiés, sites internet)

* Réalisation d’une recherche bibliographique sur un thème scientifique correspondant au parcours du Master proposé
* Synthèse et rédaction d’un rapport scientifique sur le thème étudié
* Présentation orale du rapport au sein du laboratoire de soutien

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 3**

**Intitulé de l’UE : UED**

**Intitulé de la matière : Séminaires scientifiques**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

- Séminaires scientifiques portant sur les technologies des micro-systèmes et de l’optique guidée*.*

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# 1ère année Master (S1 et S2)

**Contenu de la matière : (Références**  Livres et polycopiés, sites internet)

Séminaires scientifiques sur :

* Optique intégrée, guidée
* Microélectronique
* Nanotechnologie
* Propriétés de transport
* Toxicité des matériaux et applications des couches minces
* Microscopie
* Supraconductivité

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu*

**Intitulé du Master : Physique des couches minces**

**Semestre *:* 4**

**Intitulé de l’UE : Projet de fin d’étude**

**Intitulé de la matière : Projet de fin d’étude**

**Crédits : 30**

**Coefficients : 1**

**Objectifs de la formation** *Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière.*

L’objectif principal du projet de fin d’études est de :

* Initier l’étudiant à entreprendre un sujet de recherche scientifique, le développer et le mener à terme avec succès
* Permettre à l’étudiant de prendre des initiatives personnelles et adéquates pour surmonter les difficultés susceptibles d’être rencontrées durant la réalisation du projet
* Apprendre à l’étudiant à travailler en groupe

**Prérequis indispensables** *Sous forme de matières déjà décrites, et/ou d’un descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cette matière.*

# - 1ère année Master (S1 et S2)

**- Seuil minimum de crédits à acquérir en S3**

**Contenu de la matière : (Références :** Livres, thèses, mémoires et polycopiés, sites internet)

Le stage de recherche, tutoré dans un laboratoire de recherche et/ou de développement (universitaire ou industriel) sous la direction d’un enseignant référant, sera couronné par la rédaction d’un mémoire et sa soutenance orale devant un jury spécialisé.

L’évaluation du projet de fin d’étude de Master porte sur :

- la méthodologie suivie lors de la réalisation du travail de recherche,

- les résultats scientifiques obtenus et leur interprétation,

- la qualité de la rédaction du mémoire et de la présentation de l’exposé oral.

**Mode d’évaluation :***Soutenance*

**Intitulé du Master :**

**Semestre *:***

**Intitulé de l’UE :**

**Intitulé de la matière :**

**Crédits :**

**Coefficients :**

**Objectifs de l’enseignement** (*Décrire ce que l’étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière – maximum 3 lignes).*

**Connaissances préalables recommandées (***descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes).*

**Contenu de la matière** *(indiquer obligatoirement le contenu détaillé du programme en présentiel et du travail personnel)*

**Mode d’évaluation :***Contrôle continu, examen, etc…(La pondération est laissée à l’appréciation de l’équipe de formation)*

**Références**  *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

**V- Accords ou conventions**

**Oui : x**

**NON**

(Si oui, transmettre les accords et/ou les conventions dans le dossier papier de la formation)

**LETTRE D’INTENTION TYPE**

**(En cas de master coparrainé par un autre établissement universitaire)**

**(Papier officiel à l’entête de l’établissement universitaire concerné)**

Objet : Approbation du coparrainage du master intitulé :

Par la présente, l’université (ou le centre universitaire) déclare coparrainer le master ci-dessus mentionné durant toute la période d’habilitation de ce master.

A cet effet, l’université (ou le centre universitaire) assistera ce projet en :

- Donnant son point de vue dans l’élaboration et à la mise à jour des programmes d’enseignement,

- Participant à des séminaires organisés à cet effet,

- En participant aux jurys de soutenance,

- En œuvrant à la mutualisation des moyens humains et matériels.

SIGNATURE de la personne légalement autorisée :

FONCTION :

Date :

**LETTRE D’INTENTION TYPE**

**(En cas de master en collaboration avec une entreprise du secteur utilisateur)**

**(Papier officiel à l’entête de l’entreprise)**

**OBJET :** Approbation du projet de lancement d’une formation de master intitulé :

Dispensé à :

Par la présente, l’entreprise déclare sa volonté de manifester son accompagnement à cette formation en qualité d’utilisateur potentiel du produit.

A cet effet, nous confirmons notre adhésion à ce projet et notre rôle consistera à :

* Donner notre point de vue dans l’élaboration et à la mise à jour des programmes d’enseignement,
* Participer à des séminaires organisés à cet effet,
* Participer aux jurys de soutenance,
* Faciliter autant que possible l’accueil de stagiaires soit dans le cadre de mémoires de fin d’études, soit dans le cadre de projets tuteurés.

Les moyens nécessaires à l’exécution des tâches qui nous incombent pour la réalisation de ces objectifs seront mis en œuvre sur le plan matériel et humain.

Monsieur (ou Madame)…………………….est désigné(e) comme coordonateur externe de ce projet.

SIGNATURE de la personne légalement autorisée :

**FONCTION :**

**Date :**

**CACHET OFFICIEL ou SCEAU DE L’ENTREPRISE**