

1.Présentation du Master2 MNTE

- Le Parcours « *Matériaux et Nouvelles Technologies pour l'Energie* » (**Pro-Recherche** selon la finalité du stage au semestre 4), exploite plus particulièrement les compétences des laboratoires de l'Université de Tours, PCM2E (Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux et des Electrolytes pour l'Energie) et GREMAN (Groupe de Recherche en Matériaux, microélectronique, Acoustique, Nanotechnologies) associé au CNRS. A ces laboratoires fondateurs s'ajoutent leurs partenaires : STMicronics et le CEA Le Ripault dans le cadre de la plateforme CERTEM, sur les thématiques plus particulièrement axées sur les films et couches minces organiques et inorganiques pour des applications liées à l'énergie, la microélectronique et les nanotechnologies.

Matériaux pour les Nouvelles Technologies pour l'Energie

MASTER 2 ^{ème} année= 60 crédits ECTS soit 30 crédits par semestre A préciser pour chaque élément pédagogique								
SEMESTRE/UE	Coefficient	ECTS	Estimation charge étudiant	Eléments pédagogiques	CM VHT Volume Horaire Etudiant	TD VHT	TP VHT	Durée totale Étudiant
Semestre 9 (S9)								
U.E. 9.1	2	3	100	Electrolytes et interfaces	15	10	20	45
U.E. 9.2	3	5	150	Synthèse et croissance cristalline	36	12	19	67
U.E. 9.3	5	9	230	Matériaux pour les nouvelles technologies	47	29	34	110
U.E. 9.4	2	3	100	Techniques de caractérisation des matériaux	15	4	24	43
U.E. 9.5	3	5	170	Dispositifs pour l'énergie	26	39	10	75
U.E. 9.6	3	5	150	Culture Industrielle	60			60
Total S9	18	30	900		199	94	107	400

Semestre 10 (S10)								
U.E. 10a	18	30	900	Stage formation initiale				4-6 mois
U.E. 10b			1200	Stage apprentissage				7 à 8 mois
Total S10	18	30	900-1200					
Total année (S9+S10)	36	60	1800-2100					
Total Master 1+2	66	120						

3. Programme du M2

Descriptif des enseignements

Semestre 9

U.E. 9.1 Milieux ioniques et procédés (45h) (15CM, 10TD, 20TP)

EP 9.1.1 Milieux ioniques avancés (15h) (10CM, 5TD)

Contenu :

- Solvant, sels et milieux ioniques
Formulation de milieux ioniques concentrés pour le stockage électrochimique (liquides ioniques protiques et aprotiques, solvants eutectiques profonds, solvants fluorés, additifs fonctionnalisés, ...)
- Thermodynamique et interaction des milieux chargés
- Modèles d'interactions milieux ioniques /matériaux chargés, stabilité thermodynamique et électrochimique
Forces inter et intramoléculaires dans les électrolytes liquides, Loi de Newton, Jones Dole, Kamensky
Théorie de l'atmosphère ionique, Debye Huckel Onsager. Modèle de Bjerum et association ionique, Modèle pseudoréseau ionique dans les électrolytes. Théorie d'Einstein sur la viscosité, paramètres influençant les grandeurs physiques dans les électrolytes : théorie d'Eyring.

EP 9.1.2 Systèmes polyphasiques (15h) (5CM, 5TD, 5TP)

Contenu :

- Systèmes polydispersés, formulation, émulsion
- Organisation des polymères en milieu solvant / polyélectrolytes

EP 9.1.1 Projet tutoré : du concept aux dispositifs (15h) (15TP)

Etape 1

Compétences acquises : L'objectif de cette UE est de donner aux étudiants les connaissances nécessaires à la formulation de milieux liquides et de leurs propriétés pour mieux répondre à leurs critères d'utilisation, et également de leur permettre de mettre en situation ces concepts.

Modalités d'évaluation :

- Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques
- Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)

U.E. 9.2 Synthèse et croissance cristalline (67h) (36CM, 12TD, 19TP)

EP 9.2.1 La croissance cristalline (15h) (8CM, 7TD)

Contenu :

- Rappels sur la cohésion et l'organisation de la matière solide, les techniques de fabrication de cristaux, les phénomènes mis en jeu lors de la croissance des cristaux, les techniques de caractérisations des monocristaux, les propriétés spécifiques des monocristaux, un exemple spécifique de la poudre au monocristal

EP 9.2.2 Dépôts par voies liquide, gaz et plasma (35h) (18CM, 19TP)

Contenu :

- Techniques de dépôt par voie liquide et sol-gel, Dépôt en phase vapeur (CVD...), Dépôt par voie plasma (PLD, pulvérisation cathodique, IBD, MBE...). Thermodynamique et phénomènes hors équilibre pendant la croissance de films. Films oxydes, métalliques. Techniques de caractérisation avancées des films

EP 9.2.3 Physico-Chimie des oxydes (15h) (10CM, 5TD)

Contenu :

- Propriétés diélectriques, piézoélectriques, ferroélectriques, des matériaux oxydes (ex. : BST, PZT...), Généralités des phénomènes de non stœchiométrie dans les solides, Domaine de non

stœchiométrie par création de lacunes, Non stœchiométrie par intercroissances, Non stœchiométrie par insertions, Phase à cisaillements, Supraconducteurs à haute température critique

Compétences acquises : Connaissances approfondies en méthodes de dépôts de couches minces. Expérimentation des techniques d'élaboration de matériaux en films et couches minces et des techniques avancées de caractérisation de matériaux

Modalités d'évaluation :

Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques

Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)

U.E. 9.3 Matériaux pour les nouvelles technologies de l'énergie (110h) (47CM, 29TD, 34TP)

9.3a Chimie des Matériaux (17CM, 15TD, 23TP)

EP 9.3.a1 Matériaux organiques conjugués (15h) (5CM, 5TD, 5TP)

Contenu :

- Porteurs de charges dans les systèmes dégénérés et non dégénérés
- Stratégie de conception - contrôle des propriétés
- Electropolymérisation et synthèses chimiques
- Contrôle de la morphologie
- Nanocomposites-Nanostructures

EP 9.3.a2 Membranes et séparateurs (11h) (6CM, 5TD)

Contenu :

- Membranes polymères synthèse et propriétés
- Membranes conductrices ioniques
- Membranes micro-poreuses
- Relation structure/composition/propriétés mécaniques

EP 9.3.a3 Matériaux d'électrode (11h) (6CM, 5TD)

Contenu :

- Matériaux à base de métaux de transitions : synthèse, structure et propriétés (électriques, diélectrique, et transport ionique...)
- Alliage métallique
- Matériaux d'insertion
- Matériaux de conversion

EP 9.3.a4 Projet tutoré : du concept aux dispositifs (8h) (8TP)

Etape 2

9.3b-Physique des Matériaux (30CM, 14TD, 11TP)

EP 9.3.b1 Matériaux semi-conducteurs (15h) (10CM, 5TD)

Contenu :

Physique des composants semi-conducteurs, Gravure plasma, Implantation ionique, la conversion photovoltaïque matériaux inorganiques, photolithographie, la cellule photovoltaïque, les différents types d'utilisation de générateurs photovoltaïques, principe de dimensionnement d'une centrale photovoltaïque en site isolé.

EP 9.3.b2 Matériaux pour la conversion thermoélectrique (15h) (8CM, 7TD)

Contenu :

Introduction à la conversion thermoélectriques, Description des phénomènes thermoélectriques, Matériaux thermoélectriques, Caractérisation d'un module Peltier, Détermination d'un facteur de mérite

EP 9.3.b3 Matériaux Piézoélectriques (10h) (4CM, 2TD, 4TP)

Contenu :

La piézoélectricité : principe et équations constitutives ; Les différents types de matériaux piézoélectriques et ferroélectriques (monocristaux, céramiques, polymères, composites) : constitution, propriétés et caractérisation ; Panorama des applications de la piézoélectricité ; Les transducteurs ultrasonores piézoélectriques ; Applications médicales des ultrasons

EP 9.3.b4 Modulation moléculaire pour la physique des matériaux (15h) (8CM, 7TP)

Contenu :

Modèles moléculaires, modélisation moléculaire pour certains types de matériaux (polymères et électrolytes pour les applications batteries), modélisation pour les solides en particulier les oxydes, propriétés macroscopiques, estimation des erreurs, calcul des propriétés structurales et thermodynamiques statiques et dynamiques, propriétés de transport classique et quantique (appliqué au transport dans les cellules solaires organiques, batteries et les piles à combustible).

Compétences acquises : connaissances approfondies des matériaux exploités principalement dans les industries de la microélectronique (leur élaboration et leurs applications), dans le domaine de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique et vice versa (ex : les générateurs thermoélectriques et les refroidisseurs Peltier), dans le domaine du stockage électrochimique et de la conversion de l'énergie solaire. Maîtrise de leur synthèse, de leurs techniques de caractérisations et de leurs applications

Modalités d'évaluation :

Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques

Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)

U.E. 9.4 Techniques de caractérisation des matériaux (43h) (15CM, 4TD, 24TP)

EP 9.4.1 Matériaux pour l'optique et techniques de spectroscopies (19h) (10CM, 9TP)

Contenu :

Le dioptre : du milieu continu à l'échelle atomique, Réflexion et transmission d'une lame mince, Interférences, Application aux systèmes multicouches, Théorie de la réponse diélectrique d'un milieu homogène, Conductivité optique, Application de la spectroscopie optique à la caractérisation de matériaux, Spectroscopie optique, Spectroscopie vibrationnelles

EP 9.4.2 Microscopie en champ proche et caractérisation des propriétés physico-chimiques de surface (18h) (5CM, 4TD, 9TP)

Contenu :

Principes de base de microscopie en champ proche (STM/AFM), modes AFM : contact, non contact et semi contact, modes d'imagerie de différentes propriétés physico-chimiques de surface, techniques « simple pass » et « double pass », pratique de la microscopie en champ proche, résolution et limitation de la technique, acquisition d'images

EP 9.4.3 Microscopie électronique à transmission (6h) (6TP)

Contenu :

Etudes de différents modes : diffraction électronique – imageries haute résolution - STEM

Compétences acquises : connaissances approfondies des matériaux exploités principalement dans les industries optiques et micro-électroniques et expérimentation des techniques de spectroscopies optique et vibrationnelle.

Modalités d'évaluation :

Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques

Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)

U.E. 9.5 Dispositifs pour l'énergie (75h) (26CM, 39TD, 10TP)

EP 9.5.1 Nouvelles générations de batteries (12 h) (6CM, 6TD)

Contenu :

R & D de la technologie au lithium (post Li-ion, micro batteries)

- Matériaux actifs d'électrode, formulation d'électrodes, caractérisations électrochimiques
- Electrolytes, Modélisation des phénomènes de transport, applications
- Systèmes de caractérisation (du laboratoire vers l'industrie, scale up).
- Dispositifs post Li-ion (Li-S, Li-Air, Redox flow, tout organique, ...)

EP 9.5.2 Supercondensateurs avancés (12 h) (6CM, 6TD)

Contenu :

- Paramètres caractéristiques (courbes de charge et décharges, cyclage, quantité de charge, capacitance, capacité spécifique, énergie, puissance, cyclabilité, équation de Pukert)
- La spectroscopie d'impédance électrochimique appliquée à l'étude des supercondensateurs (étude des interfaces électrochimiques, mesure de la résistance série, circuits équivalents, capacitance)
- Dispositifs : (i) symétriques : Carbone-Carbone, polymère conducteurs, oxydes métalliques, ... (ii) asymétriques (iii) hybrides

EP 9.5.3 Photovoltaïque organique et hybride (15h) (5CM, 10TD)

Contenu :

- Les différentes configurations de dispositifs tout organiques (bicouches, hétérojonctions volumiques, doubles câbles, copolymères à blocs...)
- Les cellules solaires hybrides solides à colorants
- Les cellules solaire de type pérovskite

EP 9.5.4 Dispositifs électroluminescentes organiques (10h) (3CM, 7TD)

Contenu :

- Principe de fonctionnement
- Configuration des OLEDs
- Technologie d'élaboration de dispositifs.
- Applications

EP 9.5.5 Dispositifs électrochromes (10h) (3CM, 7TD)

Contenu :

- Configuration multicouches
- Les oxydes électrochromes
- Vitesse de commutation, efficacité électrochrome, effet mémoire,
- Vieillessement, cyclabilité
- Les dispositifs hybrides organiques/inorganiques
- Les applications

EP 9.5.6 Piles à combustible (10 h) (3CM, 3TD, 4TP)

Contenu :

- Approfondissement sur les piles à combustibles de type PEMFC, SOFC, DMFC
- Structure d'une AME, polarisation, rendement, gestion de l'eau
- Gestion des gaz, GDL, reformage
- Industrie, prototype et réalité commerciale

EP 9.5.7 Projet tutoré : du concept aux dispositifs (6h) (6TP)

Etape 3

Compétences acquises : connaissances approfondies des dispositifs de stockage et de conversion de l'énergie (chimique ou solaire) et des dispositifs électro-optiques.

Connaissances approfondies des matériaux entrant dans la composition de ces technologies.

Modalités d'évaluation :

Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques

Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)

U.E. 9.6 Culture industrielle (60 h) (60CM)

EP 9.6.1 Aspects juridiques et économiques de l'entreprise (14h) (14CM)

EP 9.6.2 Communication et management des ressources humaines (15h) (15CM)

EP 9.6.3 Anglais technologique (17h) (17CM)

EP 9.6.4 Projet Insertion professionnelle (14h) (14CM)

Compétences acquises : sensibilisation au contexte économique, relationnel et juridique pertinent pour le développement industriel des matériaux, de la maintenance industrielle, et de leur place dans le secteur économique.

Modalités d'évaluation :

Session 1 : Contrôle Continu + travaux pratiques

Session 2 : Examen Terminal (écrit ou oral)