



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم و التكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



## **MASTER ACADEMIQUE** **HARMONISE**

### **Programme national**

**MISE A JOUR 2022**

Domaine	Filière	Spécialité
<i>Sciences et Technologies</i>	<i>Electronique</i>	<i>Microélectronique</i>



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم و التكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



# ماستر أكاديمي مواعم

## برنامج وطني

### تحديث 2022

التخصص	الفرع	الميدان
ميكرو إلكترونيك	الالكترونيك	علوم وتكنولوجيا

## **I – Fiche d'identité du Master**

## Conditions d'accès

*(Indiquer les spécialités de licence qui peuvent donner accès au Master)*

Filière	Master harmonisé	Licences ouvrant accès au master	Classement selon la compatibilité de la licence	Coefficient affecté à la licence
<b>Electronique</b>	Microélectronique	Electronique	<b>1</b>	<b>1.00</b>
		Physique des matériaux (Domaine SM)	<b>2</b>	<b>0.80</b>
		Chimie Matériaux (Domaine SM)	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Télécommunications	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Génie biomédical	<b>3</b>	<b>0.70</b>
		Autres licences du domaine ST	<b>5</b>	<b>0.60</b>
		Autres licences du domaine SM	<b>5</b>	<b>0.60</b>

**II - Fiches d'organisation semestrielles des enseignements  
de la spécialité**

**Semestre 1**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Physique des composants semiconducteurs 1	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Couches minces	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Procédés d'élaboration des dispositifs semiconducteurs	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Outils de simulation	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Physique des composants semiconducteurs 1	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Outils de simulation	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP propriétés optiques des SC	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Langage de Programmation	3	2	1h30		1h00	37h30	37h30	40%	60%
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Anglais technique et terminologie	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 1</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>13h30</b>	<b>6h00</b>	<b>5h30</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

**Semestre 2**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Physique des composants semiconducteurs 2	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Conception des circuits intégrés analogiques bipolaires	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Techniques de caractérisation des dispositifs semiconducteurs	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Dispositifs photovoltaïques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.2 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Physique des composants SC 2	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Conception des circuits intégrés analogiques bipolaires	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Caractérisation des SC/ TP Dispositifs photovoltaïques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Conception des circuits intégrés analogiques MOS	3	2	1h30		1h00	37h30	37h30	40%	60%
UE Découverte Code : UED 1.2 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.2 Crédits : 1 Coefficients : 1	Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 2</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>13h30</b>	<b>6h00</b>	<b>5h30</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

**Semestre 3**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Techniques et Systèmes photovoltaïques	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Conception des circuits intégrés numériques CMOS	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Optoélectronique et Circuits électroniques associés	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Physique des composants semiconducteurs 3	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Techniques et Systèmes photovoltaïques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Conception des circuits intégrés numériques CMOS	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Optoélectronique	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Simulation des composants SC	3	2	1h30		1h00	37h30	37h30	40%	60%
UE Découverte Code : UED 2.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	1h30			22h30	02h30		100%
<b>Total semestre 3</b>		<b>30</b>	<b>17</b>	<b>13h30</b>	<b>6h00</b>	<b>5h30</b>	<b>375h00</b>	<b>375h00</b>		

## **Orientations générales sur le choix des matières de découverte :**

Les matières découvertes dans le Référentiel des Matières du Master "Microélectronique" (Tableau ci-dessus) sont laissées au libre choix des établissements qui peuvent choisir indifféremment leurs matières parmi la liste présentée ci-dessous en fonction de leurs priorités.

### **Matières avec programmes détaillés :**

- Technologie du vide et Salle blanche
- Biomatériaux
- Gestion des déchets électroniques
- Introduction aux nanotechnologies
- Les matériaux
- Les matériaux intelligents
- Appareillages et Techniques de caractérisation
- Matériaux pour l'électronique
- Matériaux pour la nanoélectronique et la photonique

### **Semestre 4**

Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche sanctionné par un mémoire et une soutenance.

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	550	09	18
Stage en entreprise ou dans un laboratoire	100	04	06
Séminaires	50	02	03
Autre (Encadrement)	50	02	03
Total Semestre 4	750	17	30

### **Ce tableau est donné à titre indicatif**

### **Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master**

- |  |    |
|--|----|
| - Valeurscientifique (Appréciation du jury)                    | /6 |
| - Rédaction du Mémoire (Appréciation du jury)                  | /4 |
| - Présentation et réponse aux questions (Appréciation du jury) | /4 |
| - Appréciation de l'encadreur                                  | /3 |
| - Présentation du rapport de stage (Appréciation du jury)      | /3 |

### **III - Programme détaillé par matière du semestre S1**

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**  
**Matière 1: Physique des composants semiconducteurs 1**  
**VHS: 67h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)**  
**Crédits: 6**  
**Coefficient: 3**

**Objectifs de l'enseignement:**

Connaître les phénomènes physiques se manifestant dans les matériaux semiconducteurs qui sont utilisés pour réaliser les composants de la microélectronique. Comprendre le principe de fonctionnement des composants électroniques de base : jonction PN, diode Schottky, JFET.

**Connaissances préalables recommandées:**

Physique et chimie de base

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Notions de cristallographie (1 Semaine)**

Systèmes cristallins, Mailles élémentaires, Plans réticulaires, Indices de Miller, Système cubique

**Chapitre 2. Théorie des bandes d'énergie d'un semiconducteur (3 Semaines)**

L'électron dans un cristal

Modèle de Sommerfeld, Bandes d'énergie (approche intuitive), Calcul des bandes d'énergie, Distinction métal-isolant-Semiconducteur, Notion de trou, Masse effective de l'électron dans un cristal, Densité d'états dans les bandes permises).

Semiconducteurs intrinsèques

Semiconducteurs extrinsèques

Ionisation des impuretés, Equilibre électrons-trous, Calcul de la position du niveau de Fermi, Semiconducteurs dégénérés

Alignement des niveaux de Fermi

**Chapitre 3. Théorie de la conductivité électrique et équations de transport (3 Semaines)**

Dérive des électrons dans un champ électrique

Mobilité

Courant de dérive (Effet Hall)

Courant de diffusion

Equations de dérive-diffusion (Relations d'Einstein)

Equations de transport

Quasi-niveaux de Fermi

**Chapitre 4. Phénomène de Génération et de recombinaison (2 Semaines)**

Introduction

Transitions directes et indirectes

Centres de génération-recombinaison

Durée de vie des porteurs excédentaires

Recombinaison SRH

Recombinaison en surface

**Chapitre 5. La jonction PN (2 Semaines)**

Introduction  
 Jonction PN à l'équilibre  
 Jonction PN polarisée  
 Calcul du courant : diode idéale (courant de diffusion), courant de génération / recombinaison, Claquage de la jonction)  
 Capacité de la jonction PN : Capacité de transition, Capacité de diffusion  
 Modèle de la jonction PN : Modèle "grands signaux" à basse fréquence, Modèle "petits signaux" à basse fréquence, Modèle "petits signaux" à haute fréquence

## Chapitre 6. La diode Schottky (2 Semaines)

Diagrammes de bandes  
 Extension de la zone de déplétion  
 Variation de la barrière de potentiel avec la tension appliquée  
 Mécanismes de conduction  
 Influence des états d'interface  
 Comparaison avec la diode à jonction PN

## Chapitre 7. Structure Métal-Isolant Semiconducteur (MIS) (2 Semaines)

2.1. Diagramme énergétique  
     2.1.1. Structure métal-vide-semiconducteur  
     2.1.2. Structure Métal-Isolant-Semiconducteur – MIS  
 2.2. Potentiels de contact  
 2.3. Le modèle électrique de base  
     2.3.1. Description phénoménologique  
     2.3.2. Modèle électrique  
 2.4. Le régime de forte inversion  
 2.5. Le régime de faible inversion

### Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

### Références bibliographiques:

1. J.P. Collinge *Physique des dispositifs semiconducteurs, De Boeck Université, 1998*
2. H. Mathieu, *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques, 6<sup>e</sup> édition, Cours et exercices corrigés, Dunod 2009*
3. P. Leturcq, *Physique des composants actifs à semiconducteurs, Dunod 1978*
4. H. Ngô, *Introduction à la physique des semiconducteurs. Cours et exercices corrigés, Dunod*
5. S.M. Sze, *Physics of semiconductor devices, John Wiley*
6. A. Vapaille, *Physique des dispositifs à semiconducteurs, Masson 1970*
7. B. Sapoval, *Physique des semiconducteurs, Ellipses.*
8. J. Singh, *Semiconductors devices: an introduction, Mc Graw Hill, 1994*
9. D. A. Neaman, *Semiconductor physics and device: basic principle, Mc Graw Hill, 2003*
10. A. Vapaille, *Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs, Dunod, 1987.*
11. M. Mebarki, *Physique des semiconducteurs OPU, Alger, 1993.*
12. C. Ngô et H. Ngô, *Physique des semi-conducteurs, 4<sup>e</sup> édition, Dunod*

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**  
**Matière 2: Couches minces**  
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits: 4**  
**Coefficient: 2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Définir les notions fondamentales concernant les couches minces, leurs applications et les différentes méthodes d'élaboration ainsi que celles utilisées pour leur caractérisation.

### **Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Physique,
- ✓ Chimie,
- ✓ Cristallographie,
- ✓ Physique des semiconducteurs.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Notions sur la physique des couches minces (3 Semaines)**

Définition d'une couche mince, mode de croissance des couches minces, nucléation et coalescence des îlots, énergie de surface, théorie de capillarité, paramètres contrôlant la croissance des couches minces, effets influençant la pureté d'une couche mince, ...

#### **Chapitre 2. Techniques de dépôts physiques (3 Semaines)**

Evaporation par effet joule, évaporation par faisceau d'électrons, pulvérisation cathodique et ses variantes (DC-magnetron, RF-magnetron, ...etc), Ablation Laser, caractéristiques, avantages et inconvénients de chaque technique.

#### **Chapitre 3. Techniques de dépôts chimiques (3 Semaines)**

Dépôt chimique en phase vapeur (CVD), pulvérisation pyrolytique (Spray pyrolyse), Sol-Gel, méthode de bain chimique CBD,

#### **Chapitre 4. Méthodes de caractérisation des couches minces (4 Semaines)**

Caractérisation structurale par diffraction des rayons X, mesure d'épaisseur (profilométrie), caractérisation optique par spectroscopie UV-Visible-IR, spectroscopie Raman, caractérisation morphologique par MEB, AFM, ... caractérisation électrique par la méthode des quatre pointes et effet Hall

#### **Chapitre 5. Applications des couches minces (2 Semaines)**

Application en microélectronique, optique, photovoltaïque, magnétique, mécanique, ..

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

### **Références bibliographiques:**

1. Milton Ohring, *The materials science of thin films*; Academic Press, California, USA, 1991; Milton Ohring, *The materials science of thin films, deposition & structure, Second edition*, Academic Press, USA, 2002;

2. *C. Richard Brundle, Charles A. Evans, Jr. Shaun Wilson, Encyclopedia of materials, Characterization, materials characterization series surfaces, interfaces, thin film, Manning Publications Co, USA, 1992;*
3. *René Guinebretière, X-ray Diffraction by Polycrystalline Materials, ISTE Ltd, London, 2007.*
4. *Alain Cornet, Jean-Paul Deville, Physique et Ingénierie des Surfaces, EDP Sciences, 1998.*
5. *Vapaille, R. Castagné, " Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs physique et technologie", édition Dunod Paris 1990.*

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**  
**Matière 3: Procédés d'élaboration des dispositifs semiconducteurs**  
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits: 4**  
**Coefficient: 2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Aborder l'ensemble des étapes technologiques en détaillant pour chacune d'elles les mécanismes physico-chimiques mis en jeu, les précautions qu'elles nécessitent et les contraintes éventuellement qu'elles imposent vis-à-vis des autres étapes.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions générales sur les semiconducteurs.

**Contenu de la matière:**

<b>Chapitre 1. Généralités</b>	<b>(1 semaine)</b>
Historique et Généralités sur les semiconducteurs, procédés technologiques : étapes et filières	
<b>Chapitre 2. Du sable à la plaquette de silicium</b>	<b>(3 semaines)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purification du silicium</li> <li>• Tirage et la croissance des semiconducteurs.</li> <li>• Fabrication des plaquettes</li> </ul>	
<b>Chapitre 3 L'épitaxie</b>	<b>(1 semaine)</b>
<b>Chapitre 4 Le dopage</b>	<b>(3 semaines)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le dopage par diffusion</li> <li>• Le dopage par 'implantation ionique</li> </ul>	
<b>Chapitre 5 L'Oxydation</b>	<b>(3 semaines)</b>
L'oxydation par voie humide et sèche.	
<b>Chapitre 6. Photolithographie</b>	<b>(2 semaines)</b>
<b>Chapitre 7. Gravure, polissage mécano-chimique</b>	<b>(1 semaine)</b>
<b>Chapitre 8. Métallisation, passivation</b>	<b>(1 semaine)</b>

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

1. R. Levy, *Microelectronic Materials and Processes.*
2. C. Grovenor, *Microelectronic materials.*
3. G. Rebeiz, *RF MEMS, theory, Design, and Technologies, Wiley.*
4. Mohamed Gad-el-Hak, *MEMS Introduction and Fundamentals. The MEMS Handbook, 2nd Ed.*
5. J. Ramsden, *Nanotechnology, an introduction, Elsevier.*

**Semestre 1****Unité d'enseignement: UEF 1.2.1****Matière 4:Outils de simulation****VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)****Crédits: 4****Coefficient: 2****Objectifs de l'enseignement:**

Cette UE est destinée à expliquer aux étudiants, comment fonctionne un logiciel de type circuit. Un logiciel de type circuit, est un logiciel où l'on peut saisir le schéma électrique en associant différents composants (résistances, condensateurs, diodes, Transistors...) et les connections entre eux et simuler le comportement électrique du circuit.

L'utilisation aussi de la simulation sous code Spice dans le processus d'apprentissage améliore le niveau de compréhension des phénomènes étudiés et augmente la motivation de l'apprenant.

Il y a plusieurs types de simulations possibles (point de fonctionnement, simulation fréquentielle, simulation transitoire,...). L'objectif est, ici, de montrer quelles sont les méthodes mises en place dans le logiciel pour réaliser ces différentes sortes de simulation (mise en équation de circuits électriques, modèle de composants, régimes continu, alternatif, transitoires,.)

**Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Electricité générales ;
- ✓ Electronique fondamentale ;
- ✓ Electroniques numériques ;

**Contenu de la matière:****CHAPITRE 1.** Initiation au simulateur Spice et simulateur de dessin de masques **(2 semaines)****CHAPITRE 2.** Déclaration des composants actifs/passifs sous Spice et Schématique**(2 semaines)****CHAPITRE 3.** Déclaration des modèles Spice des sous-circuits (Subcircuits)**(2 semaines)****CHAPITRE 4.** Déclaration des sources indépendantes et des sources contrôlées**(2 semaines)****CHAPITRE 5.** Déclaration des Modèles des diodes, Transistors bipolaires et MOS**(2 semaines)****CHAPITRE 6.** DECLARATIONS DES COMMANDES DE SIMULATIONS **(2 semaines)**

- Analyse Op et DC
- Analyse transitoire et analyse de Fourier
- Analyse fréquentielle et de bruit
- Analyse de températures
- Variables de sorties

**CHAPITRE 7.** Simulation des circuits sur un éditeur de dessin de masques (Layout) **(3 semaines)**

- Vérification des règles de conception (DRC)
- Vérification de dessin de masques par rapport au schématique réalisé (LVS)
- Extraction des composants parasites
- Génération du fichier GDSII

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

**Semestre 1**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.1**  
**Matière 1: TP Physique des composants semiconducteurs 1**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

- Connaitre l'allure des principales fonctions et paramètres physiques des semiconducteurs étudiés pendant le cours, tels que : l'énergie du Gap, la distribution de Fermi-Dirac, les densités d'états énergétiques...
- Savoir donner une interprétation physique des courbes indiquant la variation de ces fonctions ou ces paramètres.

**Connaissances préalables recommandées:**

**Contenu de la matière:**

En fonction de la disponibilité des équipements pédagogiques matériels (salle blanche, produits chimiques, ...) et des équipements virtuels (logiciels dédiés à la microélectronique), les équipes de formation sont autorisés à arrêter pour leur propre compte un certain nombre de séances de Travaux Pratiques (entre 4 et 6 TP) relatives à cette matière.

Toutefois, il est fortement demandé à ces équipes d'envoyer au CPND-ST la liste des TP à réaliser pour validation.

**TP1.** : Etude des propriétés physiques d'un SC.

- Influence du dopage (N ou P) sur la concentration des porteurs et la position du niveau de Fermi.
- Influence de la température sur la concentration des porteurs et la position du niveau de Fermi.

**TP2.** : Jonction PN à l'équilibre thermodynamique.

**TP3.** : Jonction PN polarisée.

**TP4.** : Diode Schottky

**TP5.** : Caractéristiques  $I(V)$  et  $C(V)$  d'une diode

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%

**Références bibliographiques**

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.2**  
**Matière 2: TP Outils de simulation**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Consolider par la pratique les concepts théoriques appris en cours.

**Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Electronique fondamentale
- ✓ Electronique numérique
- ✓ Notions de programmation sous code Spice

**Contenu de la matière:**

Est exposée ci-dessous une liste de TPs répondant aux objectifs de la matière. Les équipes de formation sont priées de réaliser au moins 4 TPs (voire plus, si cela est possible) en fonction de la disponibilité des logiciels. Par ailleurs, il est permis de rajouter ou remplacer quelques TPs de la liste jointe par d'autres TPs en relation avec la matière.

**TP1** : Simulation de circuits fondamentaux : étage suiveur – paire Darlington – source de courant – miroir de courant

**TP2** : Simulation d'un amplificateur classe A

**TP3** : Simulation d'un amplificateur classe B

**TP4** : Simulation d'un amplificateur à entrées différentielles

**TP5** : Simulation d'un amplificateur de puissance

**TP6** : Simulation d'une porte NAND en technologie ECL

**TP7** : Réalisation de dessin de masques (Layout) d'un circuit inverseur

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%

**Références bibliographiques :**

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.1**  
**Matière 3: TP propriétés optiques des SC**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant devra acquérir les compétences nécessaires pour l'analyse et l'exploitation des mesures photométriques afin de déterminer les propriétés optiques des matériaux semiconducteurs. L'aspect expérimental de l'enseignement exige la disponibilité d'appareillages (spectrophotomètres; banc de mesure photoélectrique;...), cependant il est possible de faire l'analyse et l'exploitation de spectres de transmittance et de réflectance optiques déjà enregistrés, grâce à des logiciels spécialisés de pilotage de spectrophotomètre ou grâce à des logiciels d'analyse de graphes et de données tels que Origin.

### **Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Physique des semiconducteurs,
- ✓ Optique géométrique,...

### **Contenu de la matière:**

#### **TP.1. Appareillage définitions et principes**

Spectrophotométrie UV-Visible-ProcheIR

*Une visite dans un laboratoire disposant de spectrophotomètres est recommandée.*

#### **TP.2. Détermination du gap optique d'un matériau semiconducteur**

- ✓ Rappel : définitions : semiconducteur, nature du gap : gap direct et gap indirect
- ✓ Exploitation de mesure photométrique de transmittance et de réflectance : coefficient d'absorption
- ✓ Application à différents matériaux

#### **TP.3. Constantes optiques des matériaux semiconducteurs**

Définitions : indice de réfraction, d'extinction, partie réelle et imaginaire de la fonction diélectrique)

- ✓ Détermination à partir de mesure photométrique de transmittance et de réflectance
- ✓ Détermination à partir de mesure photométrique de transmittance et d'absorbance
- ✓ Détermination à partir de mesure de réflectance

#### **TP.4. Spectroscopie Infrarouge à TF**

Définition et principe

- ✓ Interféromètre de Michelson
- ✓ Application aux matériaux semiconducteurs : exemple Si
- ✓ Analyse du spectre d'Absorption

#### **TP5. Autres techniques de caractérisation optique et optoélectronique des semiconducteurs:**

Ellipsométrie, photoconductivité, ....

**Mode d'évaluation:** Contrôle continu: 100 %

### **Références bibliographiques:**

1. C. S. Van Heel, *Advanced Optical Techniques*, North-Holland Publishing Co. Amsterdam, 1967;
2. Vapaille, R. Castagné, " *Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs physique et technologie*", édition Dunod Paris 1990.
3. B. Stuart, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications*, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
4. J. Michael Hollas, *Modern Spectroscopy, Fourth Edition*, John Wiley & Sons Ltd, 2004

**Semestre: 1**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.1**  
**Matière 4: Langage de programmation**  
**VHS: 37h30 (Cours : 1h30, TP: 1h00)**  
**Crédits: 3**  
**Coefficient: 2**

**Objectif et recommandations :**

L'objectif de la matière est de permettre aux étudiants d'apprendre les notions fondamentales du langage évolué Python. Ainsi que la maîtrise des techniques de conception des programmes orientée objets.

**Connaissances préalables recommandées**

Algorithmique.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Introduction à la programmation (2 Semaines)**

- Compilateur
- Interrupteurs
- Principe de la programmation orientée objets.
- Langage de programmation Python

**Chapitre 2. Notions de Base (4 Semaines)**

- Les variables, Les types variables et leurs opérateurs
- Les entrées / Sorties standards
- Les structures de contrôle simples et imbriquées
- Les structures répétitives
- Les tableaux
- Chaines de caractères

**Chapitre 3. Fonctions et modules (3 Semaines)**

- Définitions
- Importation des modules
- Quelques modules courants
- Principes et généralités sur les fonctions
- Passage d'argument
- Renvoi de résultat
- Variables locales et variables globales

**Chapitre 4. Les Fichiers (3 Semaines)**

- Utilités des fichiers
- Lecture dans un fichier
- Ecriture dans un fichier
- Fichier texte

**Chapitre 5. Classes et objets (3 Semaines)**

- Définition d'une classe élémentaire
- Attributs et Méthodes
- Notion de constructeur
- Espaces de noms des classes et instances

- Héritage
- Polymorphisme

## **TP Programmation Python**

**TP1** : Maitrise d'un compilateur Python

**TP2** : programmation de base en python

**TP3** : Tableaux et chaînes de caractères

**TP4** : Les fonctions

**TP5** : Les fichiers

**TP6** : Classes et objets

**TP7** : Héritage et polymorphisme

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

### **Références bibliographiques**

1. *Begin to code with Python*. Rob Miles, Microsoft Press, 2018.
2. *Apprenez à programmer en Python-2<sup>ème</sup> Broché*. V.Le Goff OpenClassrooms, 2014.
3. *Apprendre à programmer avec Python 3*. Gérard Swinnen, Eyrolles.

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UED 1.1**  
**Matière1:au choix**  
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédit: 1**  
**Coefficient: 1**

**Semestre:1**  
**Unité d'enseignement: UED 1.1**  
**Matière2:au choix**  
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédit: 1**  
**Coefficient: 1**

**Semestre : 1**  
**Unité d'enseignement : UET 1.1**  
**Matière : Anglais technique et terminologie**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Initier l'étudiant au vocabulaire technique. Renforcer ses connaissances de la langue. L'aider à comprendre et à synthétiser un document technique. Lui permettre de comprendre une conversation en anglais tenue dans un cadre scientifique.

**Connaissances préalables recommandées:**

Vocabulaire et grammaire de base en anglais

**Contenu de la matière:**

- Compréhension écrite : Lecture et analyse de textes relatifs à la spécialité.
- Compréhension orale : A partir de documents vidéo authentiques de vulgarisation scientifiques, prise de notes, résumé et présentation du document.
- Expression orale : Exposé d'un sujet scientifique ou technique, élaboration et échange de messages oraux (idées et données), Communication téléphonique, Expression gestuelle.
- Expression écrite : Extraction des idées d'un document scientifique, Ecriture d'un message scientifique, Echange d'information par écrit, rédaction de CV, lettres de demandes de stages ou d'emplois.

**Recommandation : Il est vivement recommandé au responsable de la matière de présenter et expliquer à la fin de chaque séance (au plus) une dizaine de mots techniques de la spécialité dans les trois langues (si possible) anglais, français et arabe.**

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques :**

1. P.T. Danison, *Guide pratique pour rédiger en anglais: usages et règles, conseils pratiques, Editions d'Organisation 2007*  
     A. Chamberlain, R. Steele, *Guide pratique de la communication: anglais, Didier 1992*
2. R. Ernst, *Dictionnaire des techniques et sciences appliquées: français-anglais, Dunod 2002.*
3. J. Comfort, S. Hick, and A. Savage, *Basic Technical English, Oxford University Press, 1980*
4. E. H. Glendinning and N. Glendinning, *Oxford English for Electrical and Mechanical Engineering, Oxford University Press 1995*
5. T. N. Huckin, and A. L. Olsen, *Technical writing and professional communication for nonnative speakers of English, Mc Graw-Hill 1991*
6. J. Orasanu, *Reading Comprehension from Research to Practice, Erlbaum Associates 1986*

## **IV - Programme détaillé par matière du semestre S2**

**Semestre: 2**

**Unité d'enseignement: UEF 1.2.1**

**Matière 1: Physique des composants semiconducteurs 2**

**VHS: 67h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)**

**Crédits: 6**

**Coefficient: 3**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Connaître les phénomènes physiques se manifestant dans les matériaux semiconducteurs qui sont utilisés pour réaliser les composants de la microélectronique. Comprendre le principe de fonctionnement des composants électroniques de base : transistor bipolaire, structure MIS, transistor MESFET, MOSFET et les composants optoélectroniques.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Physique des composants semiconducteurs 1

### **Contenu de la matière:**

#### **1. Chapitre 1. Transistors bipolaires (3 Semaines)**

- 1.1. Effet transistor
- 1.2. Equations d'Ebers-Moll
  - 1.2.1. Courants de porteurs minoritaires dans l'émetteur et le collecteur
  - 1.2.2. Courant de porteurs minoritaires dans la base
  - 1.2.3. Courants d'émetteur et de collecteur
- 1.3. Différents types de profil de dopage
  - 1.3.1. Transistor à dopages homogènes
  - 1.3.2. Transistor drift
- 1.4. Effet Early
- 1.5. Modèle dynamique et étages à transistor
  - 1.5.1. Modèle dynamique
  - 1.5.2. Montage base commune
  - 1.5.3. Montage émetteur commun
  - 1.5.4. Montage collecteur commun
- 1.6. Sources de bruit dans un transistor
  - 1.6.1. Bruit de grenaille d'une diode
  - 1.6.2. Bruit de grenaille du bipolaire

#### **Chapitre 2. Le JFET (3 Semaines)**

- 2.1. Paramètres de base et structure d'un JFET ;
  - 2.1.1. Définitions ;
  - 2.1.2. Différents types de JFETs
- 2.2. Fonctionnement d'un JFET sans polarisation de la grille
  - 2.2.1. Evolution de la caractéristique I(V)
- 2.3. Fonctionnement avec polarisation de la grille;
  - 2.3.1. Evolution de la caractéristique I(V)
- 2.4. Modélisation en régime statique
  - 2.4.1. Hypothèses simplificatrices ;

#### **Chapitre 3. Hétérojonctions et transistor à hétérojonction (3 Semaines)**

- 3.1. Diagramme de bandes d'énergie
  - 3.1.1. Diagramme énergétique loin de la jonction
  - 3.1.2. Etats d'interface
  - 3.1.3. Diagramme énergétique au voisinage de la jonction

- 3.2. Hétérojonction à l'équilibre thermodynamique
- 3.3. Hétérojonction polarisée
  - 3.3.1. Modèle d'émission thermoélectronique
  - 3.3.2. Modèle de diffusion
  - 3.3.3. Courant tunnel -courant de recombinaison
- 3.4. Transistor à hétérojonction – HBT
  - 3.4.1. Principe de fonctionnement
  - 3.4.2. Courants d'émetteur et de collecteur

#### Chapitre 4. Transistor MESFET

(3 Semaines)

- 4.1. Transistor à effet de champ à barrière de Schottky MESFET
  - 4.1.1. Structure et spécificité
  - 4.1.2. Courant de drain
  - 4.1.3. Tension de saturation - Courant de saturation
  - 4.1.4. Transconductance
  - 4.1.5. Fréquence de coupure du transistor
- 4.2. Transistor MESFET-GaAs
  - 4.2.1. Régime linéaire
  - 4.2.2. Régime sous-linéaire
  - 4.2.3. Régime de saturation

#### Chapitre 5. Transistor MOSFET

(3 Semaines)

- 5.1. Principe de base et historique
- 5.2. Modification de la structure MOS
- 5.3. Le modèle canal long
  - 5.3.1. Le régime de forte inversion
  - 5.3.2. Le régime de faible inversion
  - 5.3.3. La mobilité effective et ses effets
  - 5.3.4. Le MOS canal p
- 5.4. Le modèle canal court
  - 5.4.1. Effet de diminution de la longueur de canal
  - 5.4.2. Effet de saturation de la vitesse
  - 5.4.3. Effet de diminution du seuil effectif
  - 5.4.4. Traitement analytique du canal court
- 5.5. Le fonctionnement dynamique du MOS
  - 5.5.1. Régime quasi-statique
  - 5.5.2. Régime dynamique
- 5.6. Les modèles du transistor MOSFET
  - 5.6.1. Rappels du modèle statique
  - 5.6.2. Modèles petits signaux : généralités
  - 5.6.3. Le MOS interne en basse fréquence
  - 5.6.4. Le MOS interne à fréquence moyenne
  - 5.6.5. Le modèle du MOS complet aux fréquences moyennes
  - 5.6.6. Un résumé du modèle du MOS

#### Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

#### Références bibliographiques:

1. J.P. Collinge *Physique des dispositifs semiconducteurs*, De Boeck Université, 1998
2. H. Mathieu, *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques*, 6<sup>e</sup> édition, Cours et exercices corrigés, Dunod 2009
3. P. Leturcq, *Physique des composants actifs à semiconducteurs*, Dunod 1978
4. H. Ngô, *Introduction à la physique des semiconducteurs. Cours et exercices corrigés*, Dunod

5. *S.M. Sze, Physics of semiconductor devices, John Wiley.* *A. Vapaille, Physique des dispositifs à semiconducteurs, Masson 1970*
6. *B. Sapoval, Physique des semiconducteurs, Ellipses.*
7. *J. Singh, Semiconductors devices: an introduction, Mc Graw Hill, 1994*
8. *D. A. Neaman, Semiconductor physics and device: basic principle, Mc Graw Hill, 2003*
9. *A. Vapaille, Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs, Dunod, 1987.*
10. *M. Mebarki, Physique des semiconducteurs OPU, Alger, 1993.*
11. *C. Ngô et H. Ngô, Physique des semi-conducteurs, 4<sup>e</sup> édition, Dunod.*

**Semestre:2**

**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**

**Matière 4:Conception des circuits intégrés analogiques bipolaires**

**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**

**Crédits: 4**

**Coefficient: 2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Maîtriser le Design Flow de la conception des circuits intégrés analogiques bipolaires

**Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Electronique fondamentale ;
- ✓ Technologie des composants électroniques ;
- ✓ Physique des composants semiconducteurs

**Contenu de la matière:**

**CHAPITRE 1. Généralités**

**(1 semaine)**

- 1.1. Historique
- 1.2. Echelle d'intégration
- 1.3. Définition de la conception de circuits intégrés
- 1.5. Composition d'un circuit intégré
- 1.6. Les étapes de design d'un circuit analogique

**CHAPITRE 2.Structure et modélisation des composants intégrés**

**(2 semaines)**

- 2.1 Introduction
- 2.2 Jonction PN et région de déplétion
- 2.3 Comportement des transistors bipolaires en grand- signal
- 2.4 Modèles petit-signal d'un transistor bipolaire
- 2.5 Les processus de base dans la fabrication d'un circuit intégré
- 2.6 Composants passifs des circuits intégrés bipolaire

**CHAPITRE 3.Miroirs de courants, charges actives bipolaires**

**(3 semaines)**

- 3.1 Définition
- 3.2. Miroir de courant simple à base des transistors NPN
- 3.3 Source de courant miroir à sortie multiples
- 3.4 Miroir de courant de base compensé
- 3.5 Référence de courant à sortie multiples à partir d'un miroir de courant de base Compensé
- 3.6 Transistor PNP latéral multi collecteur
- 3.7 Miroir de courant simple à base des transistors PNP
- 3.8 Source de courant à base compensé réalisée avec des transistors PNP
- .9 Source de Wilson à sorties multiples réalisée à base de transistors PNP

**CHAPITRE 4.Etage différentiel bipolaire**

**(2 semaines)**

- 4. I. Etude détaillées de l'étage différentiel bipolaire
  - .1.1 Paire différentielle dégénérée
  - 4.1.2 Etage volontairement dissymétrique
  - 4.2.2 Etage différentiel symétrique
  - 4.2.3 Exemple concret de réalisation d'un amplificateur différentiel
  - 4.2.4 Etage différentiel munie de charges actives

**CHAPITRE 5. Etages de sortie bipolaire****(3 semaines)**

- 5.1 Introduction
- 5.2 Différents étages de sortie d'un circuit intégré bipolaire
  - 5.2.1 Montage émetteur-suiveur
  - 5.2.2 Etages de sortie avec transistors de classe B
  - 5.2.3 Etage de sortie avec une paire complémentaire classe B (étage push pull)

**CHAPITRE 6:les bruits dans les circuits intégrés****(2 semaines)**

- 6.1 Introduction
- 6.2 Les sources de bruit
  - 6.2.1 Bruit de grenaille
  - 6.2.2 Bruit thermique
  - 6.2.3 bruit de scintillation (bruit 1/f) (flicker: en anglais)
- 6.3 Les modèles de bruit des composants intégrés
  - 6.3.1 Modèle d'une diode avec les sources de bruits
  - 6.3.2 Modèle d'un transistors bipolaires menue de sources de bruits

**CHAPITRE 7:Amplificateurs opérationnels intégrés****(2 semaines)**

- 7.1 Introduction
- 7.2 Amplificateur opérationnel parfait
- 7.3 Applications des amplificateurs opérationnels
- 7.4 Fonctionnement interne d'un amplificateur opérationnel
- 7.5 Schéma interne d'un amplificateur opérationnel  $\mu A$  741
  - 7.5.1 Les sources de courant
  - 7.5.2 L'étage différentiel
  - 7.5.3 L'étage de sortie

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. D.A. Johns, *Analog Integrated Circuit Design*, Wiley, 1997
2. T.C. Carusone, *Analog Integrated Circuit Design*
3. P.R. Gray, *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, Wiley, 2001
4. B. Razavi, *Design of Analog Integrated Circuits*, McGraw Hill, 2001
5. J.P. Collinge *Physique des dispositifs semiconducteurs*, De Boeck Université, 1998
6. P. Leturcq, *Physique des composants actifs à semiconducteurs*, Dunod 1978
7. S.M. Sze, *Physics of semiconductor devices*, John Wiley
8. J. Singh, *Semiconductors devices: an introduction*, Mc Graw Hill, 1994
9. A. Vapaille, *Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs*, Dunod, 1987.

**Semestre: 2**

**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**

**Matière 3 : Techniques de caractérisation des dispositifs semiconducteurs**

**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**

**Crédits: 4**

**Coefficient: 2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Un aspect important dans l'évaluation de la qualité du matériau et de la fiabilité d'un composant électronique est le développement et l'utilisation de techniques de caractérisation rapides, non-destructives et précises afin de déterminer les paramètres essentiels. Pour ce faire, amener l'étudiant à comprendre le principe des techniques de caractérisation et leur intérêt dans le domaine des dispositifs à semiconducteurs. Déterminer la (ou les) méthode(s) de caractérisation à appliquer sur un échantillon semiconducteur afin d'en extraire les propriétés fondamentales souhaitées.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Les propriétés fondamentales des semiconducteurs et les phénomènes de transport ; couches minces, procédés technologiques de fabrication des dispositifs à semiconducteurs.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1: Introduction**

Intérêt de l'étude des techniques de caractérisation, différents types de techniques et leur classification, leur rôle dans l'étude des dispositifs microélectroniques à semiconducteurs.

#### **Chapitre 2 : Rappels sur les propriétés des semiconducteurs**

La conductivité, la résistivité, la densité de porteurs, la mobilité des porteurs ; évolution de la mobilité avec la température du cristal.

#### **Chapitre 3 : Contact Métal/Semiconducteur**

Le contact ohmique et le contact Schottky. L'utilisation de ces deux types de contacts dans les dispositifs microélectroniques. Caractéristiques Courant-tension d'un contact ohmique et d'un contact Schottky.

**Chapitre 4 : Techniques de mesure de la résistivité par la méthode des quatre pointes** Pointes alignées et équidistantes : cas d'un échantillon semi-infini (épais) et cas d'une couche très mince. Cas des pointes en carré.

#### **Chapitre 5 : Techniques de mesure de la concentration des porteurs libres et de leur mobilité dans un semiconducteur par la mesure de l'effet Hall**

Rappels sur la théorie de l'effet Hall, Les échantillons pour mesures d'effet Hall. Méthode de Van der Pauw : théorie de la méthode et mise en œuvre de cette méthode. Mesures sans champ magnétique et avec champ magnétique, mesure de la tension de Hall, moyens d'élimination des sources d'erreurs.

#### **Chapitre 6 : Caractérisations C(V)**

**1.** But de la caractérisation : détermination de la tension de bandes plates, estimation de la quantité de charges dans l'isolant et à l'interface Métal /SC, mesure de l'épaisseur de l'isolant.

**2.** Caractérisation par C-V métrique d'une structure MIS : Etude théorique de la structure MIS idéale, notion de tension de bandes plates, différence des travaux de sortie Métal/SC ; Structure MOS réelle, présence de charges dans l'oxyde et influence sur la tension de bandes

plates. Notions de base sur l'étude d'une structure capacitive, influence de la polarisation de grille sur l'interface Oxyde/SC : régimes d'accumulation, de déplétion et d'inversion.

3. Etude de la réponse C(V) en statique, puis en dynamique (BF et HF) : extraction des paramètres fondamentaux à l'issue de la caractérisation.

### **Chapitre 7 : Techniques de mesures optiques**

Photoconductivité, Photoluminescence.

### **Chapitre 8 : Techniques d'analyses surfaciques et spectroscopiques**

Techniques structurales et surfaciques, Techniques spectroscopiques.

#### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

#### **Références bibliographiques:**

1. A. Vapaille, R. Castagné, *Dispositifs et circuits intégrés semi-conducteurs*, Dunod, 1987.
2. A. Vapaille, *Méthodes de caractérisation*
3. C. et H. Ngô, *Introduction à la physique des semi-conducteurs*, Dunod, 1998.
4. Dieter K. Schroder, *Semiconductor material and device characterization*, 2<sup>nd</sup> edition, 1998.
5. R.A. Stradling and P.C. Klipstein, *Growth and characterization of semiconductors*, Adam Hilger, Bristol, 1991.
6. S. Kasap et P. Capper (Eds.), *Handbook of Electronic and Photonic Materials*, Springer, 2006.

**Semestre: 2**  
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**  
**Matière 4: Dispositifs Photovoltaïques**  
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits: 4**  
**Coefficient: 2**

### Objectifs de l'enseignement:

Cette matière présente un cours qui explique les cellules solaires depuis la physique des semiconducteurs jusqu'au fonctionnement des modules photovoltaïques. Les différentes filières à base des semiconducteurs ordonnés et désordonnés utilisés dans les cellules solaires sont également traitées. Les aspects socio-économiques et environnementaux du photovoltaïque sont abordés.

### Connaissances préalables recommandées:

Physique des semiconducteurs, interaction lumière-matière.

### Contenu de la matière:

#### **Chapitre I : Energies renouvelables**

**(1 semaine)**

Les différentes manifestations de l'énergie, C'est quoi une énergie renouvelable, Principales énergies renouvelables, la sécurité énergétique, La situation énergétique mondiale...

L'énergie solaire (thermique, photovoltaïque, thermodynamique).

#### **Chapitre II : Notions de rayonnement solaire**

**(1 semaine)**

le soleil comme un corps noir, Grandeurs liées à l'éclairement solaire, nombre d'air masse, spectres AM0, AM1, AM1.5, durée d'insolation irradiation, rayonnement diffus, absorption par l'atmosphère, épaisseur d'atmosphère albédo, rayonnement global, constante solaire et répartition spectrale, Eléments de la photométrie.

#### **Chapitre III : Interactions rayonnement-matière**

**(2 semaines)**

Conversion photon-électron, effet photovoltaïque, notion de gap direct et gap indirect, absorption du rayonnement solaire, coefficient d'absorption, coefficient de réflexion, indice de réfraction, génération de paires électron-trou, population des porteurs ou densité.

#### **Chapitre IV : Physique de la cellule solaire photovoltaïque**

**(3 semaines)**

Rappels sur la jonction PN à l'obscurité : Jonction PN à l'équilibre thermodynamique, Densité de charge  $\rho(x)$ , Champ électrique  $E(x)$ , Potentiel de diffusion  $V_d$ , Largeur de la zone de charge d'espace  $W$ , Polarisation de la jonction PN, Jonction PN polarisée en direct, Densité de courant totale de diffusion, Densité de courant de recombinaison, Densité de courant totale, Jonction PN polarisée en inverse, Densité de courant de diffusion des minoritaires, Densité de courant de génération thermique, Densité de courant totale, Jonction PN sous éclairage solaire : Principe de fonctionnement, Calcul du courant d'éclairement, Région neutre de type N, Région neutre de type P, Région de la zone de charge d'espace, Caractéristique courant-tension  $I(V)$  à l'obscurité et sous éclairage.

#### **Chapitre V : Paramètres électriques d'un dispositif photovoltaïque**

**(1 semaine)**

Définition des paramètres photovoltaïques, le courant de court-circuit  $I_{CC}$ , la tension à vide ou tension de circuit ouvert  $V_{CO}$ , la puissance maximale débitée, le facteur de forme FF, le rendement de conversion  $\eta$ . Modélisation idéale et schéma équivalent, Modélisation réelle et schéma équivalent, la résistance série et la résistance shunt. Réponse spectrale de la cellule photovoltaïque : rendement quantique interne et rendement quantique externe.

## **Chapitre VI : Architecture de la cellule photovoltaïque en silicium (1 semaine)**

Technologie épitaxiale planar (jonction PN), Contact face avant et contact face arrière, Couche antireflet, Texturation de la surface, Le BSF.

## **Chapitre VII : Architecture d'un module photovoltaïque (1 semaine)**

Association en série, Association en parallèle, Association Mixte, calcul des paramètres photovoltaïques du module, Le courant de court-circuit  $I_{CC}$ , tension de circuit ouvert  $V_{CO}$ , la puissance maximale débitée, Facteur de forme FF, Le rendement de conversion  $\eta$ .

## **Chapitre VIII : Variantes de cellules solaires et différentes filières (1 semaine)**

Variantes de cellules solaires (PIN, Schottky, Hétérojonctions, Tandem) et Différentes filières du photovoltaïque : filière silicium (monocristallin, polycristallin et silicium amorphe), couches minces (CdTe, CIS ou CIGS), à base matériaux III-V (InGaP, InGaN), organiques (pérovskites :  $CH_3NH_3PbI_3$ ).

## **Chapitre IX : Convertisseurs photovoltaïques (1 semaine)**

Notions générales sur les Systèmes photovoltaïques : le soleil (le carburant), le champ photovoltaïque (Modules, Panneaux et Champs photovoltaïques), stockage d'énergie, électronique de gestion, les récepteurs et consommateurs.

## **Chapitre X : Appareils de mesure (1 semaine)**

L'héliographe, Mesure des durées d'ensoleillement, Le spectro-radiomètre, Le pyranomètre, Le pyréliomètre, Les photopiles de référence

## **Chapitre XI : Aspects socioéconomiques et environnementaux (2 semaines)**

Les applications de l'énergie photovoltaïque (pompage, connexion au réseau...), Caractéristiques techniques d'une installation au sol, Protections des modules photovoltaïques, Impacts des systèmes photovoltaïques sur l'environnement.

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

### **Références bibliographiques:**

1. H. Mathieu, *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques*, 6<sup>e</sup> édition, Cours et exercices corrigés, Dunod 2009.
2. A. Vapaille, *Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs*, Dunod, 1987.
3. M. Orgeret, *les piles solaires*, Masson, 1985.
4. S.M. Sze, *Physics of semiconductor devices*, John Wiley.
5. A. Ricaud, *Photopiles solaires*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1997.
6. E. Lorenzo, G. Araflio, *Solar Electricity - Engineering of Photovoltaic Systems*.
7. Minano, R. Zilles, *Stand alone photovoltaic Applications*, JAMES & JAMES 1994.
8. J. Manwell, J. Mc Gowan, A. Rogers, *Wind Energy Explained*, Wiley 2001.
9. B. Multon, *Production d'énergie électrique par sources renouvelables*, Techniques de l'Ingénieur, Traités de Génie Electrique, D4005/6, mai 2003.
10. J. Nelson, *The physics of solar cells*, Imperial College Press.
11. A. Labouret, P. Cumune, *Cellules solaires*, 5e édition - Les bases de l'énergie photovoltaïque, Dunod, 2010
12. A. Labouret, *Energie solaire photovoltaïque*, 3ème édition, Dunod, 2006.
13. Deambi, Suneel, *Photovoltaic System Design: Procedures, Tools and Applications*, CRC Press, 2016.

14. O. Isabella, K. Jäger, A. Smets, R. Van Swaaij, MiroZeman, *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*, UIT Cambridge Ltd, 2016.
15. Gottfried H. Bauer, *Lecture Notes in Physics 901, Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
16. [www.pveducation.org](http://www.pveducation.org)
17. <http://www.cythelia.fr/nos-documents/>
18. <http://www.solems.com/depots-de-couches-minces>

**Semestre:2**  
**Unité d'enseignement: UEM1.2**  
**Matière 1:TP Physique des composants semiconducteurs 2**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

**Connaissances préalables recommandées:**

**Contenu de la matière:**

En fonction de la disponibilité des logiciels de simulation (dédiés à la microélectronique), les équipes de formation sont autorisées à arrêter pour leur propre compte un certain nombre de séances de Travaux Pratiques (entre 4 et 6 TP) relatives à cette matière.

Toutefois, il est fortement demandé à ces équipes d'envoyer au CPND-ST la liste des TP à réaliser pour validation.

Ci-dessous quelques TPs qui peuvent être réalisés à l'aide du logiciel COMSOL.

**TP1.** Transistor bipolaire

**TP2.** Capacité MOS

**TP3.** Transistor MOS

**TP4.** Transistor MES-FET

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu:100%

**Références bibliographiques**

**Semestre: 2**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.1**  
**Matière 2: TP Conception des CI intégrés analogiques bipolaires**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

### **Connaissances préalables recommandées:**

#### **Objectifs de l'enseignement:**

La simulation des circuits intégrés présente un intérêt considérable en microélectronique, car elle permet de simplifier les circuits et les systèmes réels étudiés afin de faciliter la tâche cognitive des apprenants. Dans ce contexte, l'étudiant se familiarise avec les outils de conception des circuits intégrés comme GateWay, Cadence, Xpert, Spsice...et ils essaient, d'un côté, de réaliser des montages à base des circuits intégrés.

### **Connaissances préalables recommandées:**

- Electronique fondamental
- Electronique numérique
- Outil de simulation

### **Contenu de la matière:**

**TP1.** Simulation de miroirs de courants à base des transistors bipolaires:

- Miroir de courant Simple
- Miroir de courant Cascode
- Miroir de courant de base compensé

**TP2.** Simulation d'un étage différentiel

**TP3.** Simulation d'un étage de sortie avec transistor bipolaire classe B

**TP4.** Etage de sortie avec une paire complémentaire classe B (étage push pull)

**TP5.** Simulation d'un amplificateur opérationnel

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100 %

### **Références bibliographiques:**

1. S.M. Sze, "VLSI Technology", 2nd edition, McGraw-Hill International Editions, 1988

2. *Paul R. Gray, Paul J. Hurst, Stephen H. Lewis, Robert G. Meyer, Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, 5th Edition*
3. *Richard C. Dorf Davis (University of California), The VLSI Handbook Second Edition  
Tony Chan Carusone, David Johns, Kenneth Martin, Analog Integrated Circuit Design 2nd Edition*

**Semestre: 2**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.2**  
**Matière 3: TP Caractérisation des dispositifs SC / TP Dispositifs Photovoltaïques**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Acquérir des notions fondamentales et théoriques sur les différentes techniques de caractérisation électrique des matériaux semiconducteurs.

Au moyen de Travaux Pratiques mis en œuvre sous environnement technologique et électrique utilisant le TCAD (TechnologyComputerAidedDesign)-Silvaco (ATHENA-ATLAS), l'étudiant simule et détermine les caractéristiques et les paramètres électriques des structures étudiées.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Propriétés électriques et physiques des composants semiconducteurs. Notions du contact métal /SC.

### **Contenu de la matière:**

*Sont exposées ci-dessous deux listes de TPs répondant aux objectifs de la matière. Les équipes de formation sont priées de choisir entre 2 et 4 TPs (voire plus, si cela est possible) de chaque liste en fonction de la disponibilité des équipements tant matériels que logiciels. Par ailleurs, il est permis de rajouter ou remplacer quelques TPs de la liste jointe par d'autres TPs en relation avec la matière. **Précision** : Tout changement apporté à ces listes doit être signalé au CPND de manière à en faire profiter les autres établissements.*

### **TP Caractérisation des dispositifs SC**

**TP1** : Caractérisation électrique I(V) du contact ohmique d'une structure à SC sous environnement TCAD –ATLAS.

**TP2** : Caractérisation électrique I(V) du contact Schottky d'une structure à SC sous environnement TCAD –ATLAS.

**TP3** : Caractérisation électrique de la méthode des quatre pointes d'une structure à SC sous environnement TCAD-ATLAS.

**TP4** : Caractérisation C(V) de la structure MIS sous environnement TCAD-ATLAS (sous polarisation continue et alternative BF et HF).

### **TP Dispositifs Photovoltaïques**

**TP1** : Simulation numérique avec PC-1D d'une diode à jonction, d'une cellule solaire photovoltaïque

**TP2** : Caractérisation d'une cellule solaire, réponse spectrale

**TP3** : Optimisation des paramètres de sortie d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin avec PC1D

**TP4** : Caractérisation d'une cellule solaire (TP pratique). et faire la comparaison entre simulation et pratique

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%

### **Références bibliographiques :**

1. *P.N. Favennec, Technologies pour les composants à semiconducteurs, Masson, Paris, 1996.*
2. *D. K. Schroder, Semiconductor Material Device Characterization, 2<sup>nd</sup> Edition, a Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC.*
3. *S. Dusausay, Comprendre l'Electronique par la Simulation, 43 circuits simulés & rappels de cours. Vuibert.*
4. *Atlas user's Manual: Device Simulation Software. Santa Clara, 2013.*
5. *Athena user's Manual: Device Simulation Software. Santa Clara, 2013.*
6. Site :<http://www.silvaco.com>

**Semestre: 2**  
**Unité d'enseignement: UEM 1.2**  
**Matière 4: Conception des circuits intégrés analogiques MOS**  
**VHS: 37h30 (Cours: 1h30, TP: 1h00)**  
**Crédits: 3**  
**Coefficient: 2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Maîtriser le Design Flow de la conception des circuits intégrés analogiques.

### **Connaissances préalables recommandées:**

Electronique fondamentale, Technologie des composants électroniques.

### **Contenu de la matière:**

#### **Chapitre 1. Le transistor MOS**

- 1.1 Le transistor NMOS et PMOS à enrichissement : structure et fonctionnement.
- 1.2 Le transistor NMOS et PMOS à déplétion : structure et fonctionnement.
- 1.3 Modèle du transistor MOS : modèle linéaire, modèle quadratique.
- 1.4 Régimes de fonctionnement.
- 1.5 Effet de substrat, effet de champ électrique, effet de la modulation du canal.
- 1.6 Modèle Pspice du transistor MOS.
- 1.7 Méthode de simulation des caractéristiques d'un transistor MOS sous Pspice.

#### **Chapitre 2. Les circuits analogiques de base à technologie MOS**

- 2.1 Miroirs de courant : analyse des différents types de miroirs de courant.
- 2.2 Circuit de décalage.
- 2.3 Amplificateur à source commune.
- 2.4 Amplificateur différentiel.
- 2.5 Amplificateur opérationnel

#### **Chapitre 3. Technologie et dessin de masque**

- 3.1 Procédé de fabrication en technologie MOS.
- 3.2 Règles de dessin.
- 3.3 Dessin symbolique.
- 3.4 Dessin de masque d'une résistance et d'un transistor MOS.
- 3.5 Dessin de masque d'un circuit analogique.

### **TP Conception des circuits intégrés analogiques MOS**

*Est exposée ci-dessous une liste de TPs répondant aux objectifs de la matière. Les équipes de formation sont priées de réaliser au moins 4 TPs (voire plus, si cela est possible) en fonction de la disponibilité des logiciels. Par ailleurs, il est permis de rajouter ou remplacer quelques TPs de la liste jointe par d'autres TPs en relation avec la matière. **Précision** : Tout changement apporté à cette liste doit être signalé au CPND de manière à en faire profiter les autres établissements.*

**TP1** : Initiation au logiciel Pspice : Simulation et analyse des caractéristiques d'un transistor MOS.

**TP2** : Simulation et analyse d'un amplificateur à source commune.

**TP3** : Simulation et analyse d'une source de courant.

**TP4** : Simulation et analyse d'un amplificateur différentiel.

**TP5** : Initiation au logiciel Microwind : Dessin de masques : (résistance, transistor MOS, amplificateur différentiel).

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

**Références bibliographiques:**

1. *R. Jacob Baker, CMOS Circuit Design, Layout and Simulation, Wiley, 3<sup>rd</sup> ed., 2010*
2. *D.A. Johns, Analog Integrated Circuit Design, Wiley, 1997*
3. *T.C. Carusone, Analog Integrated Circuit Desig*
4. *P.R. Gray, Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, Wiley, 2001*
5. *B. Razavi, Design of Analog Integrated Circuits, McGraw Hill, 2001*

**Semestre : 2**  
**Unité d'enseignement : UED 1.2**  
**Matière 1 : au choix**  
**VHS : 22h30 (cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 2**  
**Unité d'enseignement : UED 1.2**  
**Matière 2 : au choix**  
**VHS : 22h30 (cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 2**

**Unité d'enseignement : UET 1.2**

**Matière : Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité.**

**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**

**Crédit : 1**

**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Développer la sensibilisation des étudiants au respect des principes éthiques et des règles qui régissent la vie à l'université et dans le monde du travail. Les sensibiliser au respect et à la valorisation de la propriété intellectuelle. Leur expliquer les risques des maux moraux telle que la corruption et à la manière de les combattre, les alerter sur les enjeux éthiques que soulèvent les nouvelles technologies et le développement durable.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Ethique et déontologie (les fondements)

### **Contenu de la matière :**

#### **A. Respect des règles d'éthique et d'intégrité,**

##### **1. Rappel sur la Charte de l'éthique et de la déontologie du MESRS : Intégrité et honnêteté.**

Liberté académique. Respect mutuel. Exigence de vérité scientifique, Objectivité et esprit critique. Équité. Droits et obligations de l'étudiant, de l'enseignant, du personnel administratif et technique,

##### **2. Recherche intègre et responsable**

- Respect des principes de l'éthique dans l'enseignement et la recherche
- Responsabilités dans le travail d'équipe : Égalité professionnelle de traitement. Conduite contre les discriminations. La recherche de l'intérêt général. Conduites inappropriées dans le cadre du travail collectif
- Adopter une conduite responsable et combattre les dérives : Adopter une conduite responsable dans la recherche. Fraude scientifique. Conduite contre la fraude. Le plagiat (définition du plagiat, différentes formes de plagiat, procédures pour éviter le plagiat involontaire, détection du plagiat, sanctions contre les plagiaires, ...). Falsification et fabrication de données.

##### **3. Éthique et déontologie dans le monde du travail :**

Confidentialité juridique en entreprise. Fidélité à l'entreprise. Responsabilité au sein de l'entreprise, Conflits d'intérêt. Intégrité (corruption dans le travail, ses formes, ses conséquences, modes de lutte et sanctions contre la corruption)

#### **B- Propriété intellectuelle**

##### **I- Fondamentaux de la propriété intellectuelle**

- 1- Propriété industrielle. Propriété littéraire et artistique.
- 2- Règles de citation des références (ouvrages, articles scientifiques, communications dans un congrès, thèses, mémoires, ...)

##### **II- Droit d'auteur**

**1. Droit d'auteur dans l'environnement numérique**

Introduction. Droit d'auteur des bases de données, droit d'auteur des logiciels. Cas spécifique des logiciels libres.

**2. Droit d'auteur dans l'internet et le commerce électronique**

Droit des noms de domaine. Propriété intellectuelle sur internet. Droit du site de commerce électronique. Propriété intellectuelle et réseaux sociaux.

**3. Brevet**

Définition. Droits dans un brevet. Utilité d'un brevet. La brevetabilité. Demande de brevet en Algérie et dans le monde.

**III- Protection et valorisation de la propriété intellectuelle**

Comment protéger la propriété intellectuelle. Violation des droits et outil juridique. Valorisation de la propriété intellectuelle. Protection de la propriété intellectuelle en Algérie.

**C. Ethique, développement durable et nouvelles technologies**

Lien entre éthique et développement durable, économie d'énergie, bioéthique et nouvelles technologies (intelligence artificielle, progrès scientifique, Humanoïdes, Robots, drones,

**Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

**Références bibliographiques:**

1. *Charte d'éthique et de déontologie universitaires*, [https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran\\_ais+d\\_f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce](https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran_ais+d_f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce)
2. *Arrêtés N°933 du 28 Juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat*
3. *L'abc du droit d'auteur, organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture(UNESCO)*
4. *E. Prairat, De la déontologie enseignante. Paris, PUF, 2009.*
5. *Racine L., Legault G. A., Bégin, L., Éthique et ingénierie, Montréal, McGraw Hill, 1991.*
6. *Siroux, D., Déontologie : Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, Paris, Quadrige, 2004, p. 474-477.*
7. *Medina Y., La déontologie, ce qui va changer dans l'entreprise, éditions d'Organisation, 2003.*
8. *Didier Ch., Penser l'éthique des ingénieurs, Presses Universitaires de France, 2008.*
9. *Gavarini L. et Ottavi D., Éditorial. de l'éthique professionnelle en formation et en recherche, Recherche et formation, 52 | 2006, 5-11.*
10. *Caré C., Morale, éthique, déontologie. Administration et éducation, 2e trimestre 2002, n°94.*
11. *Jacquet-Francillon, François. Notion : déontologie professionnelle. Letélémaque, mai 2000, n° 17*
12. *Carr, D. Professionalism and Ethics in Teaching. New York, NY Routledge. 2000.*
13. *Galloux, J.C., Droit de la propriété industrielle. Dalloz 2003.*
14. *Wagret F. et J-M., Brevet d'invention, marques et propriété industrielle. PUF 2001*
15. *Dekermadec, Y., Innover grâce au brevet: une révolution avec internet. Insep 1999*
16. *AEUTBM. L'ingénieur au cœur de l'innovation. Université de technologie Belfort-Montbéliard*
17. *Fanny Rinck et Léda Mansour, littératie à l'ère du numérique : le copier-coller chez les étudiants, Université grenoble3 et Université paris-Ouest Nanterre la défense Nanterre, France*
18. *Didier DUGUEST IEMN, Citer ses sources, IAE Nantes 2008*
19. *Les logiciels de détection de similitudes : une solution au plagiat électronique? Rapport du Groupe de travail sur le plagiat électronique présenté au Sous-comité sur la pédagogie et les TIC de la CREPUQ*

20. EmanuelaChiriac, Monique Filiatrault et André Régimbald, *Guide de l'étudiant: l'intégrité intellectuelle plagiat, tricherie et fraude... les éviter et, surtout, comment bien citer ses sources*, 2014.
21. *Publication de l'université de Montréal, Stratégies de prévention du plagiat, Intégrité, fraude et plagiat*, 2010.
22. Pierrick Malissard, *La propriété intellectuelle : origine et évolution*, 2010.
23. *Le site de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle* [www.wipo.int](http://www.wipo.int)
24. <http://www.app.asso.fr/>
25. <http://ressources.univ-rennes2.fr/propriete-intellectuelle/cours-2-54.html>

**V - Programme détaillé par matière du semestre S3**

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UEF 2.1.1**  
**Matière 1 : Techniques et Systèmes photovoltaïques**  
**VHS : 67h30 (Cours : 3h00, TD : 1h30)**  
**Crédits : 6**  
**Coefficient : 3**

### **Objectifs de l'enseignement :**

Cette matière aborde des connaissances relatives aux énergies renouvelables vertes non polluantes, aux dispositifs photovoltaïques (PV), aux procédés de fabrication d'une cellule solaire, à la conversion photovoltaïque, aux assemblages des modules PV, à leur dégradation. Elle vise également à faire apprendre à estimer la ressource solaire en un lieu donné et à dimensionner un système PV. Elle aborde enfin les systèmes auxiliaires : la batterie, la pile à combustible, les convertisseurs DC-DC et DC-AC.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Physique des semiconducteurs, Notions sur la physique du rayonnement, sur les mathématiques, sur l'électronique.

### **Contenu de la matière :**

#### **Chapitre 1. Energies renouvelables et efficacité énergétique (1 Semaine)**

Le potentiel solaire, historiques des photopiles, le marché du photovoltaïque, l'industrie du photovoltaïque.

#### **Chapitre 2. La source solaire (3 Semaines)**

Introduction. Rayonnement solaire. Modélisation de la position du soleil. Modélisation du rayonnement solaire (diverses composantes : rayonnement direct, diffus, global). Etude de cas. Le gisement solaire.

#### **Chapitre 3. La source photovoltaïque (4 Semaines)**

La conversion photovoltaïque. Technologie des cellules solaires. Propriétés des cellules solaires. Modélisation d'une cellule (d'un module) photovoltaïque (modélisation électrique, thermique, ...). Rendement de conversion, facteur de forme, ... Caractérisation (d'un module) photovoltaïque. Différentes connexions (série, parallèle, mixte). Impact de divers facteurs sur les caractéristiques électriques. Dégradation. Protections des modules photovoltaïques. Les applications de l'énergie photovoltaïque (pompage, connexion au réseau, ...).

#### **Chapitre 4. Systèmes photovoltaïques (4 Semaines)**

Connexion directe Générateur photovoltaïque/Charge (Point de fonctionnement, Influence des paramètres, Angle d'inclinaison du module PV, Ensoleillement, Température, Rendement d'utilisation, ...). Stockage (Batterie). Pile à combustible. Hacheur. Onduleur. Etude d'un exemple de système global. Dimensionnement d'une installation photovoltaïque (principe, exemple, méthode de calcul, ...). L'hybridation.

#### **Chapitre 5. Optimisation du fonctionnement du système (3 Semaines)**

Poursuite de la position du soleil. Maximum Power Point Tracker (MPPT). Changement de configuration ...

### **Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

### **Références bibliographiques :**

1. Anne Labouret, *Energie solaire photovoltaïque*, 3<sup>ème</sup> édition Dunod 2006.

2. Deambi, Suneel, *Photovoltaic System Design: Procedures, Tools and Applications*, CRC Press 2016.
3. Olindo Isabella, Klaus Jäger, Arno Smets, René van Swaaij, MiroZeman, *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems*, UIT Cambridge Ltd. 2016.
4. Gottfried H. Bauer, *Lecture Notes in Physics 901, Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1<sup>st</sup> ed.*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
5. Rekioua, Djamilia, Matagne, Ernest, *Optimization of Photovoltaic Power Systems-Modelization, Simulation and Control*, [Green Energy and Technology](#), 2012
6. Florin Danes et Bertrand Garnier, *Energie et procédés-Maîtrise de l'utilisation de l'énergie Bilan et utilisation efficiente et rationnelle*, illustrés par des exemples et exercices corrigés, Edition Ellipses, 2012
7. Jacques Vernier, *Les énergies renouvelables*, édition PUF, 2012
8. Emmanuel Riolet, *Le mini-éolien*, édition Eyrolles, 2010

<http://www.cythelia.fr/nos-documents/>

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UEF 2.1.1**  
**Matière 2 : Conception des CI numériques CMOS**  
**VHS : 45h00 (Cours : 1h30, TD : 1h30)**  
**Crédits : 4**  
**Coefficient : 2**

**Objectifs de l'enseignement :**

Maîtriser la conception des circuits intégrés analogiques et numériques CMOS.

**Connaissances préalables recommandées :**

Electronique fondamentale, Logique combinatoire et séquentielle, Conception des circuits intégrés analogiques MOS.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. L'inverseur CMOS (6 semaines)**

- 1.1 Les différents types d'inverseur à base de transistor MOS : NMOS (E/D), Pseudo NMOS, CMOS
- 1.2 Analyse statique de l'inverseur CMOS: régimes de fonctionnement, seuil logique, immunité aux bruits.
- 1.3 Analyse dynamique de l'inverseur CMOS : capacités parasites, capacité totale de sortie, temps de propagation, puissance statique et dynamique.
- 1.4 Portes de transfert (interrupteurs) NMOS, PMOS et CMOS

**Chapitre 2. Les circuits numériques CMOS(5 semaines) (5 semaines)**

- 2.1 Les opérateurs statiques.
- 2.2 Les opérateurs dynamiques ou semi-statiques avec portes de transfert et horloge.
- 2.3 Les cellules de mémorisation CMOS : registre dynamique, bascule maître esclave.

**Chapitre 3. Dessin symbolique et dessin de masques (4 semaines)**

- 3.1 Règles de dessin.
- 3.2 Dessin symboliques et dessin de masques des portes de base : inverseur, porte NAND, porte NOR.
- 3.3 Dessin symbolique et dessin de masques d'un diviseur de fréquence, d'un additionneur.

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

1. R. JACOB BAKER, *CMOS Circuit Design, Layout and Simulation*, Wiley, 3<sup>rd</sup> ed., 2010;
2. N. Weste, K. Eshraghian "Principles of CMOS VLSI design", Addison Wesley, ISBN 0-201-53376-6, 1993;
3. R.J. Baker, H. W. Li, D.E. Boyce "CMOS circuit design, layout and simulation", IEEE Press, ISBN 0-7803-3416-7, 1998;
4. Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith "Microelectronic Circuits", Oxford University Press 2004
5. John P. Uyemura, "CMOS Logic Circuit Design" 2002 Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow

**Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

**Semestre: 3**  
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**  
**Matière 3 :Optoélectronique et Circuits électroniques associés**  
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**  
**Crédits: 4**  
**Coefficient: 2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Acquérir des connaissances de base sur l'optoélectronique. Connaître les composants opto-électroniques et leurs utilisations.

**Connaissances préalables recommandées:**

Physique des semi-conducteurs.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. La Lumière (2 semaines)**  
**Propriétés fondamentales et interaction rayonnement matière**

Aspect ondulatoire de la lumière ; Définition de la lumière, Propagation de la lumière, L'indice optique, La puissance transportée par l'onde optique, Réflexion et réfraction de la lumière. L'aspect Corpusculaire, Notion de photon et interaction rayonnement-matière, Absorption, Emission spontanée, Emission stimulée. Spectre de lumière, Structure de bandes d'énergie. Rendement d'électroluminescence et recombinaisons

**Chapitre 2. Photométrie et Radiométrie (2 semaines)**

Définition La radiométrie ; La photométrie, Les grandeurs physiques au rayonnement d'un faisceau lumineux. Le flux énergétique, Le flux lumineux, Intensité lumineuse. Efficacité lumineuse d'une source. L'éclairement d'une surface, La luminance L, -Caractéristiques métrologiques spécifiques aux photo détecteurs, Le courant d'obscurité. La sensibilité spectrale, La directivité.

**Chapitre 3. Les photoémetteurs**

**I- La diode électroluminescente LED (2 semaines)**

Définition, Les caractéristiques de la LED, Caractéristiques électroniques, Principe de fonctionnement, Caractéristique énergétiques. Le spectre d'émission, Caractéristiques optiques, Circuits associés à la diode LED, Le rendement de la LED, Alimentation des diodes électroluminescentes, Types de matériaux utilisés, Les différents types des LED

**II-La diode laser (2 semaines)**

Définition du laser, Le principe du Laser, Un matériau actif, Un dispositif d'excitation ou de pompage. La cavité. Principe de la diode laser, Fonctionnement de la diode laser, Condition laser. Différents type de laser à semiconducteur, Caractéristique puissance-courant, Influence de la température, Distribution spatiale du rayonnement, Spectre multimode et monomode.

**Chapitre 4. Les photorécepteurs**

**I-Photorésistance ou cellule photoconductrice (LDR)(2 semaines)**

Définition, Principe de fonctionnement, Les porteurs en excès Gain de la cellule, Réponse spectrale et sensibilité. Matériaux utilisés. Application des photorésistances, Détection de variation d'éclairement, Détection des seuils d'éclairement.

## II- La photodiode

(2 semaines)

Définition, Principe de fonctionnement d'une photodiode (mode photovoltaïque et mode photoconducteur), La caractéristique de la photodiode (absence d'éclairement, Eclairement) Schéma équivalent de la photodiode- Coefficient d'absorption -Sensibilité spectrale et rendement quantique de la photodiode- Bruit et détectivité d'une photodiode- Les différents types de photodiodes La photodiode PIN- La photodiode à avalanche (APD)

## III- Le phototransistor

(2 semaines)

Définition, Principe de fonctionnement, Schéma équivalent, Réponse spectrale, Sensibilité du phototransistor. Circuit associés, Applications des phototransistors.

## IV- Les matrices CCD

(1 semaine)

Structure de base. Principe du photosite. Types de CCD. Sources de bruit.

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 60% ; Examen: 40%.

### **Références bibliographiques:**

1. *Harry J. R. Dutton*, Understanding Optical Communications, First Edition (September 1998)
2. Eric W. Van styland, David R. Williams and William L. Wolfe, Handbook of optics, Devices, measurements and properties, second edition, volume II, 1995
3. David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Ondes, optique et physique moderne, 6<sup>e</sup> édition, Dunod 2004
4. B.E.A. Saleh and M.C. Teich fundamentals of photonics, second edition, A John Wiley & Sons, 2007
5. Patricia segonds, Sylvie le boiteux and Jean-paul pariset, Optique en 26 fiches, Dunod, 2008.

**Semestre: 3**

**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**

**Matière 4 :Physique des composants semiconducteurs 3**

**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**

**Crédits: 4**

**Coefficient: 2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Connaître les phénomènes physiques se manifestant dans les matériaux semiconducteurs qui sont utilisés pour réaliser les composants de la microélectronique. Comprendre le principe de fonctionnement des composants électroniques: Composants quantiques.

**Connaissances préalables recommandées:**

Physique des composants 1 et 2

**Contenu de la matière:**

**Chapitre1. Effets quantiques dans les composants. Puits quantiques et super-réseaux (7 semaines)**

- 1.1. Effets quantiques dans les hétérojonctions et les structures MIS
  - 1.1.1. Structure de sous-bandes d'énergie
  - 1.1.2. Energie potentielle des électrons
  - 1.1.3. Méthodes de calcul dans l'approximation de Hartree
- 1.2. Puits quantiques
  - 1.2.1. Spectre d'énergie
  - 1.2.2. Multipuits quantiques
  - 1.2.3. Puits quantiques couplés
- 1.3. Superréseaux
  - 1.3.1. Structure de sous-bandes d'énergie
  - 1.3.2. Modèle de Kronig-Penney
- 1.4. Transistor à effet de champ à gaz d'électrons bidimensionnel-TEGFET
  - 1.4.1. Structure
  - 1.4.2. Commande de grille
  - 1.4.3. Polarisation de drain
  - 1.4.4. Effet MESFET parasite

**Chapitre2. Composants quantiques (8 semaines)**

- 2.1. Transport parallèle dans les structures quantiques
  - 2.1.1. Spécificités
  - 2.1.2. Mobilité
  - 2.1.3. Effet Gunn bidimensionnel
  - 2.1.4. Transfert dans l'espace réel - RST
  - 2.1.5. Etalon de résistance
- 2.2. Transport perpendiculaire dans les structures quantiques
  - 2.2.1. Oscillateur de Bloch
  - 2.2.2. Effet Wannier-Stark
  - 2.2.3. Transport dans un superréseau-RDN
  - 2.2.4. Effet tunnel résonnant dans un puits quantique à double barrière
  - 2.2.5. Effet tunnel résonnant dans un superréseau
- 2.3. Lasers à puits quantiques
  - 2.3.1. Effets géométriques - Facteur de confinement
  - 2.3.2. Effets quantiques
  - 2.3.3. Laser à cavité verticale-VCSEL
  - 2.3.4. Microcavité photonique - Laser sans seuil
  - 2.3.5. Laser à cascade quantique

- 2.3.6. Laser à boîtes quantiques
- 2.4. Blocage de Coulomb et systèmes à peu d'électrons
- 2.5. Nanotubes et nanofils 744
  - 2.5.1. La structure des nanotubes
  - 2.5.2. Une nouvelle théorie de la conduction
  - 2.5.3. Propriétés et fabrication des nanotubes
  - 2.5.4. Applications des nanotubes
  - 2.5.5. Les nanofils

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

**Références bibliographiques:**

1. J.P. Collinge *Physique des dispositifs semiconducteurs*, De Boeck Université, 1998.
2. H. Mathieu, *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques*, 6<sup>e</sup> édition, Cours et exercices corrigés, Dunod 2009
3. P. Leturcq, *Physique des composants actifs à semiconducteurs*, Dunod 1978.
4. H. Ngô, *Introduction à la physique des semiconducteurs. Cours et exercices corrigés*, Dunod
5. S.M. Sze, *Physics of semiconductor devices*, John Wiley
6. A. Vapaille, *Physique des dispositifs à semiconducteurs*, Masson 1970
7. B. Sapoval, *Physique des semiconducteurs*, Ellipses.
8. J. Singh, *Semiconductors devices: an introduction*, Mc Graw Hill, 1994
9. D. A. Neaman, *Semiconductor physics and device: basic principle*, Mc Graw Hill, 2003
10. A. Vapaille, *Dispositifs et circuits intégrés semiconducteurs*, Dunod, 1987.
11. M. Mebarki, *Physique des semiconducteurs OPU*, Alger, 1993.
12. C. Ngô et H. Ngô, *Physique des semi-conducteurs*, 4<sup>e</sup> édition, Dunod.

**Semestre:3**  
**Unité d'enseignement: UEM2.1**  
**Matière1:TP Techniques et Systèmes photovoltaïques**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Mettre en pratique les connaissances théoriques abordées pendant le cours.

**Connaissances préalables recommandées:**

Dispositifs photovoltaïques.

**Contenu de la matière:**

Ci-dessous un ensemble de TP parmi lesquels l'enseignant est appelé à mettre en pratique (simulation) au moins 5 TPs.

TP : Modélisation de la position du soleil.

TP : Modélisation du rayonnement solaire.

TP : Modélisation d'un module photovoltaïque sous les conditions standards (Caractéristiques électriques courant-tension, puissance-tension, détermination de la tension optimale, courant optimal, puissance optimale, ...).

TP : Modélisation d'un module photovoltaïque sous des conditions quelconques (caractérisation, impact de l'ensoleillement, de la température, du vieillissement, ...).

TP : Modélisation thermique d'un module photovoltaïque.

TP : Modélisation de la connexion directe de la source solaire à une charge (calcul du point de fonctionnement, du rendement d'utilisation, ...).

TP : Détermination du MPPT.

TP : Modélisation d'un exemple de système (pompage par exemple).

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%

**Références bibliographiques**

**Semestre: 3**  
**Unité d'enseignement: UEM 2.1**  
**Matière 2: TP Conception des CI numériques CMOS**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Maîtriser la conception des circuits intégrés numériques CMOS

### **Connaissances préalables recommandées:**

- ✓ Electronique fondamentale ;
- ✓ Logique combinatoire et séquentielle ;
- ✓ Conception des circuits intégrés analogiques MOS.

### **Contenu de la matière:**

**TP1 :** Simulation et analyse des caractéristiques statiques et dynamiques d'un inverseur CMOS avec PSpice.

**TP2 :** Simulation et analyse du fonctionnement des portes de passage de types : NMOS, PMOS et CMOS avec PSpice.

**TP3 :** Simulation et analyse du fonctionnement d'une bascule maître-esclave et d'un diviseur de fréquence par deux en CMOS avec PSpice.

**TP4 :** Dessin de masques et simulation d'un demi-additionneur avec le logiciel : MICROWIND.

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu : 100%

### **Références bibliographiques:**

1. R. JACOB BAKER, *CMOS Circuit Design, Layout and Simulation*, Wiley, 3<sup>rd</sup> ed., 2010;
2. N. Weste, K. Eshraghian "Principles of CMOS VLSI design", Addison Wesley, ISBN 0-201-53376-6, 1993;
3. R.J. Baker, H. W. Li, D.E. Boyce "CMOS circuit design, layout and simulation", IEEE Press, ISBN 0-7803-3416-7, 1998;
4. Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith "Microelectronic Circuits", Oxford University Press 2004
5. John P. Uyemura, "CMOS Logic Circuit Design" 2002 Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow
6. . Logiciel MICROWIND pour le dessin de masque :  
[https://fr.freedownloadmanager.org/Windows- PC/MICROWIND-software.html](https://fr.freedownloadmanager.org/Windows-PC/MICROWIND-software.html)

**Semestre: 3**  
**Unité d'enseignement: UEM2.1**  
**Matière3:TP Optoélectronique**  
**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Mettre en pratique les connaissances théoriques abordées pendant le cours. Aborder la modélisation physique et technologique des composants optoélectroniques à base de matériaux semi-conducteurs.

**Connaissances préalables recommandées:**

**Contenu de la matière:**

- 1-Les LEDs et la constante de Planck
- 2-La photorésistance capteur de lumière
- 3- Caractérisation en fonction du flux lumineux: photorésistance, photodiode et phototransistor
- 4-Etude d'un photocoupleur : association d'une LED infrarouge avec d'un phototransistor

Simulation (électrique et/ou technologique) d'une photodiode PIN  
Simulation (électrique et/ou technologique) d'une photodiode à avalanche  
Simulation (électrique et/ou technologique) d'une led  
Simulation (électrique et/ou technologique) d'une diode laser

**Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%

**Références bibliographiques**

**Semestre: 3**  
**Unité d'enseignement: UEM 2.1**  
**Matière4:Simulation des composants semiconducteurs**  
**VHS: 37h30 (Cours : 1h30, TP: 1h00)**  
**Crédits: 3**  
**Coefficient: 2**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Etre capable de modéliser et de simuler des composants et des fonctions électroniques avec des langages et des outils de description et de simulation de haut niveau.

### **Connaissances préalables recommandées:**

### **Contenu de la matière:**

- Modélisation et simulation des systèmes analogiques et mixtes
  - Méthodologie de conception,
  - Représentation d'un système dans un environnement informatique,
- Simulation analogique : méthodes, algorithmes et problèmes de modélisation associés.
- Les langages de descriptions de systèmes mixtes : MODELICA, VHDL-AMS, SIMULINK, SCICOS
- Développement de modèles.
- Études de cas.

**TP1 :** Simulation des différentes étapes technologiques (diffusion, implantation ionique ; oxydation ;etc. ;) sous Silvaco

**TP2 :** Simulation de quelques composants de base (Diode ;TMOS ; LOCOS MOS sous Silvaco )

**TP 3 :** Interface entre silvaco et Matlab

### **Mode d'évaluation:**

Contrôle continu: 100%.

### **Références bibliographiques**

1. Y. Hervé, *VHDL-AMS - Applications et enjeux industriels*, Dunod.
2. E. Sicard, *La micro-électronique simulateur en main*, Tec&Doc. Lavoisier.
3. D. Houzet, *Conception de circuits en VHDL-Principe et méthodologie*, Edition Cépaduès 2000.
4. A. Nketsa, *Circuits logiques programmables-Mémoires, PLD, CPLD et FPGA*, Ellipse 1998.
5. L. Dutrieux, D. Demigny, *Logique programmable : Architecture du FPGA et CPLD, Méthodes de conception, le langage VHDL*, Eyrolles 1997.

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UED 2.1**  
**Matière 1 : au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 3**  
**Unité d'enseignement : UED2.1**  
**Matière 2 : au choix**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédits : 1**  
**Coefficient : 1**

**Semestre : 3**

**Unité d'enseignement: UET 2.1**

**Matière 1 :Recherche documentaire et conception de mémoire**

**VHS : 22h30 (Cours: 1h30)**

**Crédits : 1**

**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Donner à l'étudiant les outils nécessaires afin de rechercher l'information utile pour mieux l'exploiter dans son projet de fin d'études. L'aider à franchir les différentes étapes menant à la rédaction d'un document scientifique. Lui signifier l'importance de la communication et lui apprendre à présenter de manière rigoureuse et pédagogique le travail effectué.

**Connaissances préalables recommandées :**

Méthodologie de la rédaction, Méthodologie de la présentation.

**Contenu de la matière:**

**Partie I- : Recherche documentaire :**

**Chapitre I-1 : Définition du sujet**

**(2 Semaines)**

- Intitulé du sujet
- Liste des mots clés concernant le sujet
- Rassembler l'information de base (acquisition du vocabulaire spécialisé, signification des termes, définition linguistique)
- Les informations recherchées
- Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

**Chapitre I-2 : Sélectionner les sources d'information**

**(2 Semaines)**

- Type de documents (Livres, Thèses, Mémoires, Articles de périodiques, Actes de colloques, Documents audiovisuels...)
- Type de ressources (Bibliothèques, Internet...)
- Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

**Chapitre I-3 : Localiser les documents**

**(1 Semaine)**

- Les techniques de recherche
- Les opérateurs de recherche

**Chapitre I-4 : Traiter l'information**

**(2 Semaines)**

- Organisation du travail
- Les questions de départ
- Synthèse des documents retenus
- Liens entre différentes parties
- Plan final de la recherche documentaire

**Chapitre I-5 : Présentation de la bibliographie**

**(1 Semaine)**

- Les systèmes de présentation d'une bibliographie (Le système Harvard, Le système Vancouver, Le système mixte...)
- Présentation des documents.
- Citation des sources

## Partie II : Conception de mémoire

### Chapitre II-1 : Plan et étapes du mémoire

(2 Semaines)

- Cerner et délimiter le sujet (Résumé)
- Problématique et objectifs du mémoire
- Les autres sections utiles (Les remerciements, La table des abréviations...)
- L'introduction (*La rédaction de l'introduction en dernier lieu*)
- État de la littérature spécialisée
- Formulation des hypothèses
- Méthodologie
- Résultats
- Discussion
- Recommandations
- Conclusion et perspectives
- La table des matières
- La bibliographie
- Les annexes

### Chapitre II- 2 : Techniques et normes de rédaction

(2 Semaines)

- La mise en forme. Numérotation des chapitres, des figures et des tableaux.
- La page de garde
- La typographie et la ponctuation
- La rédaction. La langue scientifique : style, grammaire, syntaxe.
- L'orthographe. Amélioration de la compétence linguistique générale sur le plan de la compréhension et de l'expression.
- Sauvegarder, sécuriser, archiver ses données.

### Chapitre II-3 : Atelier : Etude critique d'un manuscrit

(1 Semaine)

### Chapitre II-4 : Exposés oraux et soutenances

(1 Semaine)

- Comment présenter un Poster
- Comment présenter une communication orale.
- Soutenance d'un mémoire

### Chapitre II-5 : Comment éviter le plagiat ?

(1 Semaine)

(Formules, phrases, illustrations, graphiques, données, statistiques,...)

- La citation
- La paraphrase
- Indiquer la référence bibliographique complète

### Mode d'évaluation :

Examen : 100%

### Références bibliographiques :

1. M. Griselin et al., *Guide de la communication écrite, 2e édition, Dunod, 1999.*
2. J.L. Lebrun, *Guide pratique de rédaction scientifique : comment écrire pour le lecteur scientifique international, Les Ulis, EDP Sciences, 2007.*
3. A.Mallender Tanner, *ABC de la rédaction technique : modes d'emploi, notices d'utilisation, aides en ligne, Dunod, 2002.*
4. M. Greuter, *Bien rédiger son mémoire ou son rapport de stage, L'Etudiant, 2007.*
5. M. Boeglin, *lire et rédiger à la fac. Du chaos des idées au texte structuré. L'Etudiant, 2005.*
6. M. Beaud, *l'art de la thèse, Editions Casbah, 1999.*
7. M. Beaud, *l'art de la thèse, La découverte, 2003.*
8. M. Kalika, *Le mémoire de Master, Dunod, 2005.*

## **Proposition de quelques matières de découverte**

**Semestre:**  
**Unité d'enseignement: UED**  
**Matière1:Technologie du vide et Salle blanche**  
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits: 1**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Familiarisation avec les exigences d'une salle blanche : accès, équipements, produits chimiques,...

**Connaissances préalables recommandées:**

Aucune

**Contenu de la matière:**

- Techniques du vide : terminologie du vide, pompes à vide, Jauge à vide, enceintes à vide,...
- Généralités sur la conception de salle blanche
- Types de salle blanche et normes internationales
- Filtration de l'air
- Techniques d'ultrapurification des salles blanches
- Production d'eau désionisée
- Règles d'accès à une salle blanche
- Règles d'utilisation des produits chimiques dangereux (Acides, bases, solvants,...)
- Présentation générale des équipements de la salle blanche
- Procédés Technologiques : procédé de nettoyage standard, oxydation, étalement de la résine, photolithographie, ...

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques:**

**Semestre:**  
**Unité d'enseignement: UED**  
**Matière2:Biomatériaux**  
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits: 1**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Compréhension des concepts de biocompatibilité et de bio fonctionnalité des matériaux.

**Connaissances préalables recommandées:**

Cours de base de physique

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Classes de matériaux utilisés en médecine**

**Chapitre 2. Tissus et cellules biologiques**

**Chapitre 3. Réactions de l'hôte aux biomatériaux et leur évaluation.**

**Chapitre 4. Essais biologiques des biomatériaux**

**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques:**

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 3:Gestion des déchets électriques et électroniques**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Connaitre les grands principes relatifs à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. Prévenir (ou réduire) la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la fabrication et sur la distribution des produits. Savoir comment organiser le transport des déchets et le limiter. Savoir valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables et connaître les effets sur l'environnement et la santé publique des opérations de production et d'élimination des déchets.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Produits nocifs qui entrent dans la fabrication des circuits électroniques et électriques, les matériaux utilisés dans les circuits (Al, Cu, Si, Ge, ...).

### **Contenu de la matière :**

Introduction

1. Définitions
2. Quelques chiffres
3. La réglementation mondiale sur la gestion des déchets électriques et électroniques « DEEE ».
4. Organisation de la filière DEEE
  - La collecte des DEEE
  - Le tri des DEEE
  - La vente des DEEE
  - Liste des équipements concernés par le recyclage des DEEE
5. Enjeux économiques
6. Impact environnemental
7. Entreprises de Collecte et de recyclage des déchets électriques et électroniques (DEEE, D3E) en Algérie.

### **Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

### **Références bibliographiques:**

26. *Déchets électroniques (WEEE), Division de l'environnement, de l'énergie et de la recherche, STOA Parlement européen L-2929 Luxembourg*
27. [https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9chets\\_d%27%C3%A9quipements\\_%C3%A9lectriques\\_et\\_%C3%A9lectroniques](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9chets_d%27%C3%A9quipements_%C3%A9lectriques_et_%C3%A9lectroniques) (voir nombreuses références incluses dans cet article).

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 4:Introduction aux Nanotechnologies**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Au terme de l'enseignement de cette matière, l'étudiant est censé avoir des notions sur les sciences des nanotechnologies et des nanostructures.

**Connaissances préalables recommandées :**

Electronique et Semi-conducteurs.

**Contenu de la matière :**

- Introduction à la nanotechnologie
- Phénomènes dans les nanostructures et étude à l'échelle nanométrique
- Notions sur la croissance et la nanofabrication des nano matériaux
- Notions sur les nanotubes et transistors moléculaires
- Techniques d'analyse des nano matériaux (Photoémission des RX, MEB,...)
- Notions sur les techniques de caractérisations des nano objets
- Nanoélectronique et les capacités de stockage de données
- Impact sur l'industrie future.

**Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

**Références bibliographiques:**

1. *M. Lahmani, C. Dupas, P. Houdy, Les nanosciences, nanotechnologies et nanophysiques, edition Belin.*
2. *D. Feigenbaum, A. Nsamirizi, B. Sinclair-Descagné, Les nanotechnologies : leurs bénéfices et leur risques, Série Scientifique-Montréal 2004-CIRAND.*
3. *A. Korkin, Nanotechnology for Electronic Materials and Devices, Springer, 2007.*
4. *H. Fanet, Micro et nano-électronique – Bases - Composants - Circuits, Dunod, Paris, 2006.*

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 5 : Les matériaux**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Sont présentées dans ce cours les grandes classes de matériaux, métaux, alliages, céramiques, verres, polymères... avec leurs principales caractéristiques et méthodes d'élaboration les plus courantes, ceci afin d'initier l'étudiant à développer une méthodologie de choix des matériaux pour une application donnée faisant intervenir plusieurs propriétés simultanément. Les matériaux émergents sont aussi introduits dans ce cours.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Notions générales de Physique.

### **Contenu de la matière :**

#### **Chapitre 1 : Introduction et rappels**

#### **Chapitre 2 : Physico-chimie du solide**

- 1- Classification des matériaux de l'amorphe au cristallisé
- 2- Solide réel. Défauts cristallins
- 3- Thermodynamique du solide
- 4- Non-stœchiométrie. Solutions solides

#### **Chapitre 3 : Classification des Matériaux**

- 1- Métaux et alliages : structures, alliages ordonnés et désordonnés, solutions solides, cristaux liquides, propriétés électriques, mécaniques, thermiques, applications : superalliages...
- 2- Polymères : structure et microstructure, transitions thermiques, propriétés mécaniques, thermiques, électriques
- 3- Céramiques : structures, propriétés et applications particulières
- 4- Semiconducteurs : états d'énergie, absorption et émission de lumière, transport, jonction PN et structure MIS, Capteurs à jonction P N.
- 5- Matériaux particuliers : cristaux liquides, supraconducteurs
- 6- Matériaux émergents : Quasi-cristaux, nanotubes, matériaux à gradient, matériaux cellulaires, adaptatifs Supra haute température, matériaux à mémoire de forme, Matériaux pour le stockage et la conversion de l'énergie, biomimétique, ...

### **Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

### **Références bibliographiques:**

1. C. Kittel, *Physique de l'état solide*, Dunod, 1981.
2. W. Kurz, J.P. Mercier, G Zambelli, *Traité des Matériaux : 1-Introduction à la science des matériaux*
3. Ashby & Jones, *Matériaux : 1- Propriétés et applications*, Dunod, 1998.
4. Ashby & Jones, *Matériaux : 1- Microstructure et mise en œuvre*, Dunod, 1991.
5. P. Jacquinet, *Utilisation des matériaux composites*, Hermes, 1991.
6. M. Dupeux, *Aide Mémoire - Science des Matériaux*, Dunod.

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 6 : Les matériaux intelligents**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Introduire le concept d'adaptabilité des matériaux. Découvrir les différents types de matériaux intelligents. Définir les caractéristiques et les applications de chaque type de matériau.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Notions générales de Physique.

### **Contenu de la matière :**

#### **Chapitre 1 : Définition des matériaux intelligents**

1. Les propriétés des matériaux intelligents
2. Pourquoi les matériaux intelligents ?

#### **Chapitre 2 : Piézoélectricité**

1. La piézoélectricité
2. Propriétés mécaniques d'un matériau piézoélectrique
3. Matériaux piézoélectriques
4. Applications des matériaux piézoélectriques

#### **Chapitre 3 : Pyroélectricité**

1. La pyroélectricité
2. Applications des matériaux pyroélectriques
3. Matériaux pyroélectriques

#### **Chapitre 4 : Ferroélectricité**

1. Ferroélectricité et applications électroniques
2. Ferroélectricité et applications optiques
3. Progrès sur les matériaux ferroélectriques en couches minces

#### **Chapitre 5 : Magnétoélectricité**

1. Généralités sur l'effet magnétostrictif
2. Magnétoélectricité
3. Applications

#### **Chapitre 6 : Alliages à mémoire de forme (AMF)**

1. Familles d'alliages
2. Propriétés : effet mémoire, superélasticité
3. Applications pratiques : aérospatial, industrie, biomécanique.

### **Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

### **Références bibliographiques:**

1. J. C. Anderson, *Dielectrics, Modern electrical studies.*

2. *K. Uchind, Ferroelectric Devices, Mercel Dekker inc.*
3. *C. Kittel, Physique de l'état solide, Dunod.*
4. *HungtDiep, Physique de la matière condensée, cours, exercices et problèmes corrigés, Dunod.*
5. *M. F. Ashby, David R. H. Jones, Matériaux. T1 Propriétés, applications et conception.*
6. *M. Brissaud, Matériaux piézoélectriques - Caractérisation, modélisation et vibration, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.*

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 7 : Appareillages et Techniques de caractérisation**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

Faire acquérir aux étudiants la maîtrise des appareils de caractérisation que l'on trouve dans les laboratoires de microélectronique, des méthodes et des protocoles de mesure.

**Connaissances préalables recommandées :**

Notions sur les matériaux et de Physique des semiconducteurs.

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1 : Caractérisation morphologique**

Microscopie optique classique  
 Microscopie électronique à balayage (SEM)  
 Microscopie électronique à transmission (TEM)  
 Microscopie à effet tunnel (STM)  
 Microscopie à force atomique (AFM)  
 Profilomètre

**Chapitre 2 : Caractérisation physico-chimique**

Spectrométrie des rayons X (XES, EMP)  
 Spectroscopie d'électrons Auger (AES)  
 Fluorescence X (XRF)  
 Spectrométrie des photoélectrons (ESCA, XPS)  
 Spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS)  
 Rétrodiffusion Rutherford (RBS)

**Chapitre 3 : Caractérisation structurale**

Diffraction par des électrons de basse énergie (LEED)  
 Diffraction des rayons X (XRD)  
 Spectroscopie de Rétrodiffusion Rutherford en condition de canalisation RBS

**Chapitre 4 : Caractérisation optique**

Ellipsométrie  
 Spectroscopie infrarouge

**Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %

**Références bibliographiques:**

1. C. Kittel, *Physique de l'état solide*, Dunod, 1981.
2. D. K. Schroder, *Semiconductor Material Device Characterization*, 2<sup>nd</sup> Edition, a Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC
3. A. Vapaille, *Méthodes de caractérisation*
4. R.A. Stradling and P.C. Klipstein, *Growth and characterization of semiconductors*, Adam Hilger, Bristol, 1991.

**Semestre :**  
**Unité d'enseignement : UED**  
**Matière 8 : Matériaux pour l'Electronique**  
**VHS : 22h30 (Cours : 1h30)**  
**Crédit : 1**  
**Coefficient : 1**

### **Objectifs de l'enseignement:**

Sont présentées dans ce cours les grandes classes de matériaux utilisées en électronique : les diélectriques, les semiconducteurs, les céramiques, les polymères ainsi que les propriétés principales rencontrées dans les composants électroniques.

### **Connaissances préalables recommandées :**

Notions générales de Physique.

### **Contenu de la matière :**

#### **Chapitre 1 : Les diélectriques**

Polarisation des diélectriques. Mécanismes de la polarisation électrique. Les piézoélectriques. Les cristaux polaires (ferroélectriques, ...). Les céramiques isolantes et leurs applications (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BeO, MgO). Les céramiques diélectriques (TiO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, AlN).

#### **Chapitre 2: Les semiconducteurs**

Les semiconducteurs de valence IV. Les matériaux intermétalliques III-V. Les matériaux ternaires et quaternaires. Les nouveaux semi-conducteurs (carbure de silicium, ..., etc.). Propriétés, technologie et applications.

#### **Chapitre 3 : La nature des porteurs de charges.**

Mécanismes de la conduction dans les métaux. Les semi-conducteurs : intrinsèques et dopés, applications. Les superconducteurs : l'Alumine Beta. Les supraconducteurs : théorie et applications (YBaCuO). Les nouveaux conducteurs.

#### **Chapitre 4: Les céramiques**

Les ferro/piézoélectriques. Condensateurs céramiques

#### **Chapitre 5: Polymères pour l'électronique**

Propriétés diélectriques des polymères. Polymères hétérocycliques thermostables. Polymères conjugués et polymères conducteurs électroniques.

#### **Chapitre 6 : Les propriétés magnétiques des solides**

Action d'un champ magnétique sur un solide. Les ferromagnétismes. Autres types d'ordre des moments magnétiques : les ferrimagnétiques (les ferrites) et l'antiferromagnétisme (MnO).

### **Mode d'évaluation :**

Examen : 100 %.

### **Références bibliographiques:**

1. J. C. Anderson, *Dielectrics, Modern electrical studies.*
2. K. Uchind, *Ferroelectric Devices, Mercel Dekker inc.*
3. C. Kittel, *Physique de l'état solide, Dunod.*
4. M. F. Ashby, David R. H. Jones, *Matériaux. T1 Propriétés, applications et conception.*

5. *W. Kurz, J.P. Mercier, G Zambelli, Traité des Matériaux : 1-Introduction à la science des matériaux*
6. *Ashby& Jones, Matériaux : 1- Propriétés et applications, Dunod, 1998.*
7. *Ashby& Jones, Matériaux : 1- Microstructure et mise en œuvre, Dunod, 1991.*
8. *M. Dupeux, Aide Mémoire - Science des Matériaux, Dunod.*

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université.....  
Faculté.....  
Département.....

Filière :.....  
Spécialité :.....  
Année universitaire 20... /20....

Le...../...../20....

**PROCES VERBAL CONCERNANT LE CHOIX DES MATIERES DE DECOUVERTE DE LA  
PREMIERE ANNEE MASTER**

Les enseignants, soussignés, après délibération ont arrêté le choix des matières de découverte du master ..... proposées dans le canevas de ce master. A ce propos, les enseignants\* dont les noms suivent s'engagent à assurer l'enseignement de ces matières. Dans le cas où l'équipe de formation choisit une matière dont le programme n'est pas disponible dans le canevas, le responsable de la filière s'engage à adresser ce programme au CPND-ST pour enrichissement et validation.

\* A chaque matière, il est possible d'indiquer le nom de l'enseignant principal et éventuellement le nom d'un enseignant suppléant.

Semestres	Matières de découverte	Enseignants
<b>S1</b>	<u>Matière 1</u> : <u>Matière 2</u> :	
<b>S2</b>	<u>Matière 1</u> : <u>Matière 2</u> :	

Observations :.....  
.....

Noms et Prénoms des enseignants		Matières enseignées	Semestre	Emargements
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Le responsable de la filière

Le chef du département

**Rappels** : La nature des matières de découverte doivent apporter un complément à la formation et doivent être choisies en fonction des besoins du tissu socio-économique local ou régional et de la disponibilité des enseignants spécialistes en la matière.

Copies aux VRP/VDP

Université.....  
 Faculté.....  
 Département.....

Filière :.....  
 Spécialité :.....  
 Année universitaire 20... /20....

Le...../...../20....

### PROCES VERBAL CONCERNANT LE CHOIX DES MATIERES DE DECOUVERTE DE LA DEUXIEME ANNEE MASTER

Les enseignants, soussignés, après délibération ont arrêté le choix des matières de découverte du master ..... proposées dans le canevas de ce master. A ce propos, les enseignants\* dont les noms suivent s'engagent à assurer l'enseignement de ces matières. Dans le cas où l'équipe de formation choisit une matière dont le programme n'est pas disponible dans le canevas, le responsable de la filière s'engage à adresser ce programme au CPND-ST pour enrichissement et validation.

\* A chaque matière, il est possible d'indiquer le nom de l'enseignant principal et éventuellement le nom d'un enseignant suppléant.

Semestres	Matières de découverte	Enseignants
<b>S3</b>	<u>Matière 1</u> : <u>Matière 2</u> :	

Observations : .....

Noms et Prénoms des enseignants		Matières enseignées	Semestre	Emargements
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Le responsable de la filière

Le chef du département

**Rappels** : La nature des matières de découverte doivent apporter un complément à la formation et doivent être choisies en fonction des besoins du tissu socio-économique local ou régional et de la disponibilité des enseignants spécialistes en la matière.

Copies aux VRP/VDP