

Master Nanosciences et Nanotechnologies

Programme des UE de la seconde année du Master

Parcours « NanoPhysique et Matière condensée »

I- Vue d'ensemble du M2 (semestres 3 et 4) :

		NanoPhy	NanoElec	Ingénierie Matériaux			NanoPhy	NanoElec	Ingénierie Matériaux	
SEMESTRE 3	Professionalisation 3 (3 ECTS) Initiation à l'entrepreneuriat - Qualité, sécurité, environnement et risques professionnels - Management de projets et ressources humaines									
	Anglais 3 (3 ECTS)									
	Séminaires étudiants (2 ECTS)			Matériaux & dispositifs pour l'énergie (8 ECTS) # Matériaux pour l'énergie A # Matériaux pour l'énergie B						
	Nanomagnétisme et spintronique (6 ECTS)									
	Techniques de nano-fabrication (4 ECTS)	Quantum Nanoelectronics (8 ECTS) # Low dimensional systems # Emerging concepts for devices # Quantum transport			Matériaux & santé (6 ECTS) # Matériaux et santé A # Matériaux et santé B					
	Photonique et nanophotonique (3 ECTS)	Hybrid electronics 1 (4 ECTS à choix : 2 UEs parmi 3) 1) Sensors (2 ECTS) 2) Organic optoelectronics (2 ECTS) 3) Advanced memories (2 ECTS)			Durabilité des matériaux (8 ECTS) # Corrosion et vieillissement # Protection et recyclabilité					
Mécanique des solides et nanomécanique (3 ECTS)	Hybrid electronics 2 (4 ECTS au CMP) # Hybrid electronics 2A # Hybrid electronics 2B			Matériaux pour l'énergie et durabilité : TPs (2 ECTS)						
Surfaces et interfaces, nano-objets sur surfaces et imagerie des nano-objets (6 ECTS) # Surfaces et interfaces, nano-objets sur surfaces # Caractérisation de nanostructures par microscopie à champ proche										
SEMESTRE 4	Nanosciences émergentes (UE d'ouverture) (2 ECTS)				Stage en entreprise (30 ECTS)					
	Nanotechnologies, environnement et société (2 ECTS)									
	Applications avancées des nanosciences et nanotechnologies (2 ECTS)									
Nanobiosciences ou simulations numériques avancées/ Compléments de nanoélectronique ou nanosciences (3 ECTS à choix : 1) Nanobiosciences (3 ECTS) 2) Méthodes de simulations avancées (3 ECTS) 3) integration and reliability (3 ECTS)										
Stage en laboratoire ou en entreprise (4 mois) (21 ECTS)										

Le programme détaillé des UE du **parcours « Nanophysique et Matière condensée »** (NMC) est présenté ci-après. Le responsable de l'UE (laboratoire de rattachement et adresse mail), sa répartition horaire ainsi que les modalités de contrôle des connaissances sont précisés à chaque fois.

Liste des acronymes utilisés :

<ul style="list-style-type: none"> • UE : Unité d'enseignement • EC : Élément constitutif • CM : Cours Magistral • TD : Travaux Dirigés • TP : Travaux Pratiques 	<ul style="list-style-type: none"> • PA : Pédagogie Active • MCC : Modalité de Contrôle des Connaissances • Examen Terminal, ET • Contrôle Continu, CC • ECTS : European Credits Transfer System
---	---

II- Programme détaillé des UE du **semestre 3** :

1. UE « *Professionalisation 3* » (SMPROS3D, 3ECTS)

UE *commune* aux parcours Nanophysique et Matière Condensée, Nanoélectronique, Ingénierie des matériaux et nanotechnologies.

L'étudiant pourra choisir l'une des quatre UE suivantes :

Initiation à l'entrepreneuriat
Responsable 2018-2019 : Virginie Hornebecq (MADIREL, Virginie.Hornebecq@univ-amu.fr)
Heures : 20 h
Contenu :
<ul style="list-style-type: none"> - Droit du travail - Ethique professionnelle - Propriété intellectuelle
MCC : CC

Management de projets et ressources humaines
Responsable 2018-2019 : Virginie Hornebecq (MADIREL, Virginie.Hornebecq@univ-amu.fr)
Heures : 20 h
Contenu :
<ul style="list-style-type: none"> - Méthodologie et outils de la gestion de projets - Relations managériales et styles management
MCC : CC

Qualité, Sécurité, Environnement et risques professionnels
Responsable 2018-2019 : Virginie Hornebecq (MADIREL, Virginie.Hornebecq@univ-amu.fr)
Heures : 20 h
Contenu :
<ul style="list-style-type: none"> - Qualité et management de la qualité - Management de la sécurité - Risques professionnels
MCC : CC

Entrepreneuriales

Responsable 2018-2019 : Virginie Hornebecq (MADIREL, Virginie.Hornebecq@univ-amu.fr)

Heures :

Contenu :

Participation pendant tout le semestre aux Entrepreneuriales

MCC : CC

2. UE « Anglais » (S58AN3M2, 3ECTS)

UE commune aux parcours Nanophysique et Matière Condensée, Nanoélectronique, Ingénierie des matériaux et nanotechnologies.

Responsable 2018-2019 : David SARRIO (david.sarrio@univ-amu.fr)
Heures : 18h TD
Contenu : <i>Travail de préparation à la lecture et à l'écriture d'articles scientifiques.</i>
MCC : ET

3. UE « Séminaires étudiants » (S58PP2M3, 2ECTS)

UE commune aux parcours Nanophysique et Matière Condensée, Nanoélectronique.

Responsable 2018-2019 : Conrad BECKER (CINaM, conrad.becker@univ-amu.fr)
Heures : 18h TD
Contenu : <i>Cette UE constitue une introduction à la préparation de séminaires scientifiques.</i> <u>Titres des enseignements</u> : <ul style="list-style-type: none">• <i>Introduction à la présentation scientifique</i>• <i>Interaction et accompagnement</i>• <i>Présentations</i>
MCC : ET (oral)

4. UE « Nanomagnétisme et spintronique » (S58PH3M4, 6ECTS)

UE commune aux parcours Nanophysique et Matière Condensée, Nanoélectronique.

Responsable 2018-2019 : Michael KUZMIN (IM2NP, michael.kuzmin@univ-amu.fr)
Heures : 24h CM, 30h TD
<p>Contenu :</p> <p><i>Le cours est structuré en deux parties: la première partie introduit les propriétés magnétiques des matériaux, les bases du magnétisme atomique, les modèles ferromagnétiques et les spécificités liées aux nanomatériaux. La deuxième partie aborde le transport électronique classique et le transport dépendant de spin, le magnétisme en dimensions réduites à travers les couches ultra-minces et les couplages inter-couches dans des hétérostructures, le transfert et le transport de spin dans des nanostructures avec les différentes applications (capteurs magnétorésistifs GMR, STT-MRAM, nano-oscillateurs à transfert de spin), les différentes techniques pour la création et la détection des courants de spin (pompage de spin, effet Hall de spin inverse).</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Nanomagnétisme : Dia- et paramagnétisme, antiferromagnétisme, ferromagnétisme (théorie du champ moléculaire, modèle de Heisenberg), anisotropie magnétique, domaines magnétiques (théorie de Kittel), hystérésis, nanoparticules (monodomaine) et nanofils ferromagnétiques, enregistrement magnétique, résonance magnétique, mesures magnétiques</i> • <i>Transport et Spintronique :</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>1. Transport : théorie semi-classique de transport (équation de Boltzmann), collisions (phonon, impuretés...), recombinaisons (radiative, Auger...), les simplifications à faible perturbation (dérive-diffusion, mobilité), fort champ, le transport balistique (système de basse dimensionnalité), transmission (différent systèmes), théorie quantique de transport (modèle de Luttinger)</i> ○ <i>2. Spintronique : magnétisme des films ultra-minces et hétérostructures (anisotropie, configurations magnétiques non-colinéaires, DMI, couplage d'échange inter-couches, exchange bias), magnétorésistance géante, magnétorésistance tunnel (applications), injection, accumulation et relaxation de spin dans les métaux, effet Hall de spin, couple de transfert de spin</i>
MCC : CC et ET

5. UE « Techniques de nano-fabrication » (S58PH3P5, 4ECTS)

Responsable 2018-2019 : Luc FAVRE (IM2NP, luc.favre@univ-amu.fr)
Heures : 9h CM + 24h TD dont 18h en pédagogie active
<p>Contenu :</p> <p><i>Description des techniques de l'approche Top-Down :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Définition de l'approche Top-Down. Approche historique. Comparaison de l'approche Bottom-Up : avantages et inconvénients.</i> • <i>Lithographie :</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Principes généraux</i> ○ <i>Lithographie optique : DUV, EUV, RX.</i> ○ <i>Lithographie électronique</i> ○ <i>Lithographie ionique</i> • <i>Nanoimpression, nanomoulage, nanotampon.</i> • <i>Structuration par champ proche : AFM & STM</i> <p><i>Certaines de ces techniques seront développées en TP, conjointement avec des procédés de croissance et des techniques de caractérisation : CVD, RTP, lithographie ionique, MBE, Dip-Coating, nanoimprint, Sonde Tomographique, Ablation laser, Source d'électrons à émission de champ.</i></p> <p><u><i>Titres des enseignements :</i></u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Techniques de l'approche Top-Down</i> • <i>CVD, RTP, lithographie ionique : Réalisation de boîtes quantiques ordonnées</i> • <i>EJM : Réalisation de couches contraintes SiGe/Si</i> • <i>Sol-Gel : Réalisation de couches antireflet</i> • <i>Sonde tomographique : Analyse de données obtenues par sonde tomographique</i> • <i>Ablation laser</i> • <i>Source d'électrons à émission de champ : caractéristique de Fowler-Nordheim</i>
MCC : CC et ET (oral)

6. UE « Photonique et nanophotonique » (S58PH3P6, 3ECTS)

Responsable 2018-2019 : Gilles RENVERSEZ (Inst. Fresnel, gilles.renversez@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM, 9h TD
Contenu : <i>L'UE introduit les bases de l'optique guidée, de la plasmonique et de la photonique.</i> <i>Titres des enseignements :</i> <ul style="list-style-type: none">• <i>Introduction et analogie entre les ondes électromagnétique et la mécanique quantique des électrons (dont cas périodique)</i>• <i>Bases de l'optique guidée y compris l'optique planaire intégrée et la plasmonique</i>• <i>Cristaux Photoniques</i>• <i>Microrésonateurs, microcavités, microsources, et autres dispositifs en photoniques</i>• <i>Survol de l'utilisation de l'optique non-linéaire en photonique</i>
MCC : CC et ET (écrit)

7. UE « Mécanique des solides et nano-mécanique » (S58PH3P8, 3ECTS)

Responsable 2018-2019 : Olivier THOMAS (IM2NP, olivier.thomas@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM, 9h TD
<p>Contenu :</p> <p><i>La plupart des propriétés physiques dépendent de la taille et c'est l'objectif des nanosciences que de mesurer, modéliser et prédire les propriétés physiques de la matière aux échelles nanométriques. Il est maintenant bien établi par exemple que les propriétés optoélectroniques de la matière condensée sont radicalement différentes à l'échelle nanométrique de ce qu'elles sont aux échelles macroscopiques. Il en est de même pour le comportement mécanique : des métaux comme l'or connus pour leur ductilité peuvent avoir une limite élastique très élevée aux échelles nanométriques ; des matériaux fragiles à la température ambiante comme le silicium peuvent devenir ductiles aux petites dimensions. Au-delà de l'intérêt que représentent ces études pour la connaissance fondamentale du comportement mécanique des solides, la compréhension et la maîtrise de la déformation aux échelles nanométriques est un enjeu crucial pour la fiabilité et l'ingénierie de nombreux dispositifs.</i></p> <p><i>Ce cours vise à donner aux étudiants les fondamentaux pour comprendre la mécanique des nano-objets. Il ne s'adresse pas à des mécaniciens de formation mais à des physiciens souhaitant avoir une formation de base en mécanique des solides et son application aux nanostructures.</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Introduction: essais mécaniques, spécificité des nanos</i> • <i>Elasticité des milieux continus (fondements, élasticité anisotrope, élasticité de surface, méthodes de mesures des déformations)</i> • <i>Introduction à la théorie des dislocations</i> • <i>théorie élastique des dislocations</i> • <i>Mouvement des dislocations</i> • <i>Mécanique des nano-objets</i>
MCC : CC et ET (écrit)

8. UE « Surfaces et interfaces, nano-objets sur surfaces et imagerie des nano-objets » (S58PH3P7A, 2EC = 6ECTS)

a. EC « Surfaces et interfaces, nano-objets sur surfaces » (3 ECTS)

Responsable 2018-2019 : Pierre MÜLLER (CINaM, pierre.muller@univ-amu.fr)
Heures : 9h CM, 18h TD
<p>Contenu :</p> <p><i>Cet EC constitue une introduction à la physique des surfaces, interfaces et nano-objets adsorbés sur surfaces : description, dynamique, mécanismes de croissance, morphologie, stabilité...</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>I/ Surfaces: Description (espace direct et espace réciproque), Statique, Dynamique, Nanostructuration, Propriétés, Grandeurs d'excès...</i> • <i>II/ Mécanismes de croissance: Lois idéales, Modèle BCF, Nucléation 2D et 3D, Croissance spirale, Epitaxie, Modes de croissance, Instabilités (méandrage, bunching, Mullins Sekerka, ATG...), Bottom-up...</i> • <i>III/ Structure, Morphologie et Stabilité des nano-objets : Théorèmes de Wulff, de Frank de Herring, Mouillage/Démouillage, Murissement/Coalescence, Stabilité/Fluctuations de forme et de composition...</i> • <i>IV/ Propriétés des nano-objets : Dimensions caractéristiques, Effets de taille classique (en $1/r$), Effets de confinement...</i>
MCC : CC et ET (écrit)

**b. EC « Caractérisation de nanostructures par microscopies »
(3 ECTS)**

Responsable 2018-2019 : Laurent NONY (IM2NP, laurent.nony@univ-amu.fr)
Heures : 6h CM, 20h TP
<p>Contenu :</p> <p><i>Cet EC concerne la caractérisation de nanostructures par microscopies à champ proche et microscopies électroniques. Pour le volet champ proche, seront abordées les microscopies à effet tunnel (STM) et à force atomique (AFM). Pour le volet microscopies électroniques, seront abordées la microscopie d'électrons lents (LEEM) et la microscopie électronique en transmission haute résolution (HRTEM). Avec 6h de CM et 20h de TP, l'accent sera porté sur la mise en œuvre pratique de ces techniques via des TP sur des instruments de laboratoire en petits groupes d'étudiants. L'objectif de l'UE est de donner aux étudiants les compétences pratiques et théoriques de base pour comprendre le fonctionnement et savoir mettre en œuvre (partiellement) des microscopes à champ proche et des microscopes électronique. Ils devront également maîtriser les caractérisations auxquelles ces types de microscopies donnent accès (résolution, origine du contraste...).</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Introduction aux méthodes de champ proche (STM & AFM) : Concept; Eléments clés d'un microscope à champ proche; STM (courant tunnel, sensibilité, spectroscopie); AFM (forces entre une pointe et une surface, modes dynamiques, sensibilité, spécificités liées à l'environnement)</i> • <i>Introduction aux microscopies électroniques (LEEM & HRTEM) : Optique électronique; Optique de Fourier; Théorie de formation de l'image (imagerie de phase, fonction de transfert, aberrations...); Méthodes de simulations d'images; Technique d'analyse (analyse de phase géométrique, filtrage)</i> • <i>TP : STM et spectroscopie tunnel sous ultra-vide</i> • <i>TP : AFM en milieu liquide: caractérisation de nanostructures biologiques</i> • <i>AFM en mode non-contact sous ultra-vide: caractérisation de nanostructures inorganiques et de films minces. Méthodes avancées (sonde de Kelvin).</i> • <i>TP: LEEM: Caractérisation d'une transition de phase in situ; champ clair- champ sombre</i> • <i>TP: HRTEM: Analyse quantitative du contraste (structure et déformations)</i>
MCC : CC et ET (oral)

III- Programme détaillé des UE du **semestre 4** :

1. UE « Nanosciences émergentes » (S58PH4M2, 2 ECTS)

Responsable 2018-2019 : Conrad BECKER (CINaM, conrad.becker@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM
<p>Contenu :</p> <p><i>L'UE dispensera un cours spécialisé sur des thèmes scientifiques d'actualité en relation avec les nanosciences, dispensé par différents intervenants internes et externes (par exemples PR invités) à AMU. Partiellement en anglais.</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Introduction aux différents domaines des nanosciences</i> • <i>Définition des nanosciences émergentes</i> • <i>Thèmes d'actualités émergents</i>
MCC : ET

2. UE « Nanotechnologies, environnement et société » (S58PR4M3, 2 ECTS)

Responsable 2018-2019 : Laurence MASSON (CINaM, laurence.masson@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM
<p>Contenu :</p> <p>Série de cours donnée par des intervenant extérieurs exposant l'état de l'art en matière d'impact économique, environnemental, sur la santé humaine des nanotechnologies, ainsi que la réglementation en vigueur.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Historique du développement économique et industriel des nanotechnologies et des questions posées par les ONG depuis 20 ans. Comment les structures politiques y répondent, avec en particulier l'économie circulaire des éléments stratégiques.</i> • <i>Stabilité, transformation (dissolution, oxydation/réduction, ...) des nanoobjets et des produits durant leur utilisation/cycle de vie. Tour d'horizon des outils de caractérisation.</i> • <i>Devenir et transport des nanoparticules dans la colonne d'eau et les milieux poreux, avec introduction à la stabilité colloïdale.</i> • <i>Impact des nanomatériaux sur la santé humaine : principes de nanotoxicologie, sources d'expositions humaines (professionnelles, alimentaires, cosmétiques, etc...), mécanismes de tox connus, état des connaissances sur les différents appareils (pulmonaire, digestif, cutané, reproduction...) avec analyse critique des niveaux de preuve.</i> • <i>Evaluation des risques environnementaux (approche in vitro et mesocosmes)</i> • <i>Règlementation et nanomatériaux</i>
MCC : ET

3. UE « Applications avancées des Nanosciences et Nanotechnologies » (S58PH4M1, 2ECTS)

Responsable 2018-2019 : Conrad BECKER (CINaM, conrad.becker@univ-amu.fr)
Heures : 9h TD PA
<p>Contenu :</p> <p><i>L'UE consiste en la préparation par les étudiants, organisés en trinômes, d'une présentation orale autour d'une thématique scientifique illustrant une application des nanosciences qu'ils auront choisie. Chaque trinôme est suivi et accompagné par un enseignant qui apporte son aide à la conception du projet et de la présentation. Ils seront formés à la présentation scientifique et à la recherche bibliographique avec l'accompagnement d'un enseignant et construiront ensuite en autonomie leur projet de présentation.</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Introduction à la présentation scientifique</i> • <i>Accompagnement des étudiants</i> • <i>Présentations</i>
MCC : ET (oral)

4. UE à choix : « Nanobiosciences » / « Méthodes de simulations avancées » / « Integration and reliability » (3 ECTS)

L'étudiant pourra choisir l'une des trois UE suivantes.

a. « Nanobiosciences » (S58PH4P1A)

Responsable 2018-2019 : Stéphane GRIMALDI (BIP, stephane.grimaldi@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM, 9h TD
<p>Contenu :</p> <p><i>L'objectif de cette UE est de montrer comment les concepts et les techniques des nanosciences peuvent être utilisés pour décrypter le fonctionnement de systèmes biologiques aux échelles nanoscopiques et en tirer des applications potentielles. L'accent sera plus particulièrement mis sur les mécanismes de capture et de stockage d'énergie et leurs interconversions: énergies lumineuse, chimique, mécanique, transfert d'information.</i></p> <p><u>Titres des enseignements :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • I- Introduction aux nanobiosciences • II- Analyse des grands systèmes de conversion et stockage d'énergie – Bioénergétique • III- Conversion énergie chimique – énergie mécanique • IV- Conversion énergie-transfert d'information
MCC : CC et ET (écrit)

b. « Méthodes de simulations avancées » (S58PH4P1B)

Responsable 2018-2019 : Fabienne MICHELINI (IM2NP, fabienne.michelini@univ-amu.fr)
Heures : 9h CM, 18h TP
Contenu : <i>Cette UE sera dédiée à la programmation HPC (High Performance Computing) en langage fortran et utilisant la bibliothèque MPI : paradigmes et applications aux nanosciences et nanotechnologies. Elle fait suite aux UEs de simulations des semestres 1 et 2. Elle est programmée sur le mésocentre d'AMU (personne liée : Nicolas Ferré).</i> <i>Titres des enseignements :</i> <ul style="list-style-type: none">• <i>Paradigmes de la programmation parallèle</i>• <i>Architectures HPC</i>• <i>Applications à des problèmes de nanosciences et nanotechnologies</i>
MCC : CC uniquement

c. « Integration and reliability » (S58PH4E1A)

Responsable 2018-2019 : Jean-Luc AUTRAN (IM2NP, jean-luc.autran@univ-amu.fr)
Heures : 18h CM, 9h TP
Contenu : <i>Cette UE constitue une introduction aux problématiques d'intégration des composants en microélectronique ULSI (Ultra Large Scale Integration) et de fiabilité électrique et radiative des technologies CMOS avancées. Les aspects intégration et fiabilité seront traités via une description de la physique des composants et des phénomènes physiques qui régissent i) la réduction des dimensions des dispositifs à l'échelle déca-nanométrique et ii) leur sensibilité aux mécanismes de dégradation électrique ou induits par le rayonnement, qu'il soit naturel ou artificiel.</i> <u>Titres des enseignements</u> : <ul style="list-style-type: none">• <i>Evolutions et règles d'intégration des composants en microélectronique ULSI</i>• <i>Fiabilité électrique des technologies CMOS avancées</i>• <i>Effets des radiations et fiabilité radiative des technologies CMOS avancées</i>
MCC : CC et ET