# PROGRAMME DE DOCTORAT AMUTECH 2026

## MATÉRIAUX AVANCÉS ET NANOTECHNOLOGIES

### OBJECTIF

L'Institut AMUtech propose un programme doctoral qui vise à offrir une compréhension solide des nanomatériaux et de leurs propriétés singulières, en mettant l'accent sur les phénomènes qui émergent aux échelles nanométriques. L'ambition est de donner aux participants une vision solide et transversale du domaine, en leur offrant les bases scientifiques et les enjeux actuels de la recherche.

### PUBLIC CIBLE

Conçu pour être transversal et accessible, le programme accueille physiciens, chimistes et ingénieurs sans exiger de prérequis spécifiques. Il s'adresse en premier lieu aux doctorants souhaitant consolider leurs connaissances ou élargir leur champ de compétences. Il est également accessible aux étudiants de master, ainsi qu'aux ingénieurs et chercheurs désireux d'approfondir ou d'actualiser leur expertise dans le domaine des nanomatériaux.

### COMPÉTENCES VISÉES

À l'issue du parcours, les participants seront en mesure de saisir les concepts de base qui confèrent aux nanomatériaux et aux matériaux nanostructurés leurs nouvelles propriétés, puis d'utiliser ces connaissances pour orienter des choix de fabrication, de caractérisation et d'applications technologiques.

### ORGANISATION

Le programme se structure en deux parties complémentaires.

#### Deuxième partie : Nanofabrication et nano-ingénierie

##### I/ Méthodes de nanofabrication (11h)

La première sous-partie concerne les méthodes de nanofabrication. Les cours sont étroitement associés aux installations accessibles sur les campus Aix-Marseille de Luminy et Saint-Jérôme. Les méthodes utilisées par les physiciens et les chimistes sont décrites (approches bottom-up, top-down, méthodes douces et électrochimiques).

###### LES COURS

**I.1/ Méthodes ascendantes (PVD, CVD, ALD)**
Luc FAVRE - mardi 10 novembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 16h00 à 18h00

Les nanotechnologies reposent sur des techniques de fabrication qui demande de réaliser le dépôt de matériaux à des échelles nanométriques. La composition des couches, leur structure, leur adhérence, épaisseur, conformité, et contraintes mécaniques sont autant de paramètres à maîtriser.

Dans ce cours, les principales techniques de dépositions à savoir le dépôt physique en phase vapeur (PVD - Physical Vapor Deposition), le dépôt chimique en phase vapeur (CVD - Chemical Vapor Deposition) et le dépôt de couches atomiques (ALD - Atomic Layer Deposition) vont être étudiés. Le point de vue adopté sera celui des enjeux de l'industrie de la microélectronique qui a joué un rôle important dans leur développement.

**I.2/ Méthodes descendantes (lithographie, RIE)**
Igor OZEROV - jeudi 12 novembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Ce cours d'introduction aux méthodes descendantes (top-down) de fabrication des matériaux et dispositifs présente les techniques utilisées en salle blanche. Il aborde les principales étapes de la micro- et nanofabrication, depuis la définition des motifs par lithographie optique et électronique jusqu'aux procédés de gravure et de dépôt. Les applications de ces méthodes en biophysique, photonique et sciences des matériaux seront illustrées par des exemples concrets.

**I.3/ TP Lithographie (capacité 4 personnes)**
Igor OZEROV - lundi 16 novembre 2026, plateforme PLANETE à Luminy, de 9h00 à 12h00

Pour compléter le cours, nous allons entrer dans la salle blanche du CINaM pour y réaliser quelques étapes de microfabrication. Nous y déposerons une couche mince métallique sur un wafer de silicium, puis nous effectuerons la lithographie et la gravure par plasma. Les observations seront réalisées par microscopie optique et par profilométrie mécanique à contact.

**I.4/ Méthodes de chimie douce (supramoléculaire, sol-gel, colloïdes)**
Éric BESSON - mercredi 25 novembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Ce cours présente les principales méthodes de chimie douce utilisées pour élaborer des matériaux à basse température, en maîtrisant leur composition, leur structure et leurs propriétés. Il aborde les principes de la chimie supramoléculaire, des procédés sol-gel et de la synthèse de colloïdes, ainsi que les mécanismes qui interviennent dans la formation et l'organisation des matériaux.

**I.5/ Méthodes électrochimiques (élaboration de revêtements et nanostructurations)**
Luca PASQUINI - jeudi 26 novembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Ce cours vise à présenter les principales méthodes électrochimiques pour l'élaboration de revêtements et la nanostructuration. En particulier, les sujets suivants seront abordés :

- Anodisation du Ti, du Zr et de l'Al : couches compactes et nanostructurées
- Électrodéposition de couches métalliques compactes
- Électrodéposition à l'aide de matrices (templates)
- Électrodéposition de polymères

## II/ Nano-ingénierie et intégration (9h)

La deuxième sous-partie est plus axée sur une introduction à l'utilisation des plateformes technologiques en lien étroit avec la fabrication de dispositifs. Des équipements spécifiques sont mis à la disposition des étudiants. Elle comprend également un cours consacré à la plasmonique et à la chiralité optique.

### LES COURS

**II.1/ Optical spectroscopy at the nanoscale**
Jérôme WENGER - vendredi 27 novembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Un panorama des différentes réponses optiques des nano-objets à l'échelle nanométrique : absorption, diffusion, fluorescence, effet Raman, effets non linéaires, etc. À travers des exemples concrets en plasmonique, nous montrons comment la nanophotonique permet d'améliorer la détection optique des nano-objets.

**II.2/ Intégration de fonctions dans les dispositifs**

Rémi VAUCHE - mercredi 2 décembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Ce cours aborde les différentes étapes de l'intégration des fonctions électroniques, depuis l'évolution des procédés de fabrication en microélectronique jusqu'aux techniques avancées de packaging et d'assemblage 3D. Il permet également de comprendre la physique des composants élémentaires et de découvrir leurs principales applications.

**II.3/ Plasmonics and optical chirality: towards light-controlled asymmetric photocatalysis**

Artur MOVSESYAN - lundi 7 décembre 2026, salle 1 Étoile Nord, de 14h00 à 16h00

Ce cours présente les principes de la plasmonique et de la chiralité optique, ainsi que leurs rôles dans les interactions entre la lumière et la matière. Il aborde les propriétés optiques des nanostructures plasmoniques et la manière dont elles peuvent être exploitées pour contrôler les réactions photochimiques.

**II.4/ TP Lithographie électronique ou TP Microscopie FIB-SEM (capacité 3 personnes)**

Frédéric BEDU - lundi 14 décembre 2026, plateforme PLANETE à Luminy, de 9h00 à 12h00

**TP de lithographie électronique**

La lithographie électronique est une technique de nanofabrication permettant de définir des motifs avec une résolution nanométrique à l'aide d'un faisceau d'électrons focalisé. Contrairement à la photolithographie conventionnelle, elle permet d'écrire directement des motifs dans une résine électrosensible, sans nécessiter de masque physique. Ce TP a pour objectif de vous familiariser avec les principales étapes du procédé, depuis la préparation de l'échantillon et l'exposition du motif jusqu'au développement de la résine et à la caractérisation des structures obtenues. Il permettra également d'aborder les paramètres clés du procédé, tels que la dose d'exposition, la résolution, les effets de proximité et les limites de cette technique, afin de mieux appréhender son utilisation dans la réalisation de dispositifs micro- et nanométriques.

**TP de FIB (Focused Ion Beam)**

Le FIB (Focused Ion Beam) est une technique de caractérisation et de nanofabrication reposant sur l'utilisation d'un faisceau d'ions focalisé, généralement constitué d'ions gallium ou d'ions issus d'une source plasma. L'interaction entre le faisceau et le matériau permet notamment de réaliser des gravures localisées, des coupes transversales, des préparations d'échantillons pour la microscopie électronique en transmission (MET) ou encore des reconstructions tridimensionnelles de volumes nanométriques. Ce TP a pour objectif de vous familiariser avec les principes de fonctionnement du FIB, ses principales applications et les paramètres influençant les opérations d'usinage. Une attention particulière sera portée aux artefacts susceptibles d'être générés, afin de comprendre les possibilités offertes par cette technique ainsi que ses limites dans le cadre de recherches en science des matériaux et en nanotechnologies.