

## Catalogue des cours sélectionnés

- 1 : 0325 Advanced Photonics (A)
- 2 : 0310 Analyse et Traitement des Images
- 3 : 0317 Biophotonics
- 4 : 0306 Conception Avancée des Systèmes Optiques (avec CodeV)
- 5 : 0312 Couches minces optiques
- 6 : 0311 Diffusion de la lumière
- 7 : 0315 Fibres optiques avancées (capteurs et fibres microstructurées)
- 8 : 0304 Fonction et Intégration Photonique
- 9 : 0319 Fundamentals of estimation and detection in signals and images
- 10 : 0320 Imagerie à travers la Turbulence
- 11 : 0336 Ingénierie Photométrique
- 12 : 0332 Interaction Lasers Atomes
- 13 : 0329 Modalités d'imagerie
- 14 : 0328 Nanophotonics-Nanophotonique : Photonic crystals and metamaterials
- 15 : 0323 Nonlinear Electromagnetism
- 16 : 0322 Optique dans les Milieux Solides
- 17 : 0326 Optique de l'Extrême
- 18 : 0309 Optique des matériaux nanostructurés
- 19 : 0330 Optique des Milieux Complexes
- 20 : 0327 Optique Quantique
- 21 : 0305 Physique des détecteurs
- 22 : 0321 Physique des Lasers
- 23 : 0338 Problèmes inverses
- 24 : 0337 Projets de traitement d'images
- 25 : 0302 Radar
- 26 : 0339 Reconnaissance des formes
- 27 : 0324 Statistical Optics (Optique statistique)
- 28 : 0318 Surfaces Optiques, optomécanique
- 29 : 0316 Télécommunications Optiques
- 30 : 0303 Visualisation

## 0325 Advanced Photonics (A)

L'objectif de ce cours est de montrer comment les semi-conducteurs et leurs spécificités, comme les excitons ou les transitions inter-sous-bandes jouent un rôle crucial aux frontières de la photonique avancée : le traitement optique non linéaire du signal optique, et la mise en œuvre de structures quantiques comme les lasers à cascade quantique.

1) Couplages d'ondes, dispositifs semi-conducteurs emblématiques (H. Benisty):

Nous commencerons par un rappel de la description du couplage d'onde, et des semi-conducteurs et des puits quantiques.

Nous étudierons alors à titre de base générale l'application de ces concepts à travers un choix de dispositifs emblématiques (laser à puits quantique, laser DFB, VCSEL, laser à boîte quantique)

2) Propriétés linéaires des structures basiques et avancées en semi-conducteurs (A. Levenson, R. Kuszelewicz)

Propriétés optiques et optoélectroniques des puits quantiques

Propriétés optiques et optoélectroniques des fils quantiques et des points quantiques

Fabrication et technologies

Structures périodiques : Propriétés Optiques

3) Optique non-linéaire des semi-conducteurs: phénomènes & applications (A. Levenson, R. Kuszelewicz)

Non-linéarités intrinsèques et non-linéarités dynamiques

Non-linéarités intrinsèques du second ordre.

Effets non-linéaires dans les systèmes à cavité verticale

Effets non linéaires gouvernés par la dynamique des excitons du matériau

ONL et effets spatio-temporels

Génération de Second Harmonique et autres applications des non-linéarités du second ordre

Cristaux photoniques non-linéaires

Solitons spatiaux et application à la logique tout-optique

4) Structures semi-conductrices quantiques(G. Leo)

Sur la base de la physique de la basse dimensionnalité des électrons et des photons, nous soulignerons les possibilités que procure l'ingénierie de bande pour exploiter les transitions interbandes, du THz à l'infrarouge moyen

Deux dispositifs emblématiques basés sur les transitions intersous-bandes seront mis en avant : les détecteurs QWIP, et les lasers à cascades quantiques, d'un grand intérêt pour la détection de raies moléculaires, etc.

Un cours plus prospectif sera dédié aux sources de photons uniques ou de photons jumeaux intégrées optiquement, pour miniaturiser et fiabiliser les applications à l'optique quantique et notamment celles en cryptographie quantique

Bibliographie :

« The principles of nonlinear optics », Y.R. Shen (Wiley-Interscience) ; « Wave Mechanics applied to semiconductor heterostructures, » G.Bastard (Springer) - Quantum semiconductor Structures : Fundamentals and applications, C. Weisbuch and B. Vinter (Academic Press); « Optoélectronique » E. Rosencher and B. Vinter, Paris: Masson, 1997.

### Niveau requis

Bases sur la diode laser (de type Fabry-Perot), bases sur les milieux à gain et les milieux diélectriques ,

bases sur les télécommunications optiques (fibres, modes des fibres, débits employés)

**Responsable** : Henri Benisty

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 30

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Wednesday 23 November 2011

## 0310 Analyse et Traitement des Images

Le premier objectif de ce cours est de cerner les éléments qui déterminent les critères de « qualité » d'une image par la caractérisation de la chaîne d'acquisition et de visualisation d'une image.

Dans un deuxième temps, vous vous familiariserez avec les principaux algorithmes de traitement et d'analyse des images dans le secteur de l'imagerie scientifique, biomédicale et industrielle ainsi que dans les secteurs de la surveillance de l'environnement : l'imagerie radar à synthèse d'ouverture, la télédétection et l'imagerie hyperspectrale.

Cet enseignement se compose de séances de cours illustrés et de TD intégrés.

Cet enseignement est évalué à partir des comptes-rendus de TD et d'un mini projet.

Ce cours comporte deux parties :

1-Traitement des images (Jean Taboury)

2-Télédétection (Rémi MICHEL) (15H)

**Responsable** : Jean Taboury

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 60

**Crédits ECTS** : 6

**Dernière mise à jour** : Wednesday 08 December 2010

## 0317 Biophotonics

**OBJECTIVES:** To give insights into modern research trends in biophotonics. To provide in particular an overview of the various optical techniques available for biomedical imaging and detection, giving their characteristics and highlighting their advantages and drawbacks.

\*\*\*\*\*

\*\*

#### INTRODUCTION TO OPTICAL IMAGING OF BIOLOGICAL MEDIA

A. Dubois, Lab. Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School  
1,5h

#### INTRODUCTION TO CELL BIOLOGY

Cellular components, DNA, RNA, proteins  
C. Bouzigues, Lab. d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique  
1,5h

#### OPTICAL MICROSCOPY

Fluorescence microscopy, confocal microscopy. Full-field imaging techniques. Organic/inorganic fluorophores  
C. Bouzigues – 3h

#### FLUORESCENCE TECHNIQUES

Single-molecule tracking, Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP), Fluorescence Correlation and Cross-Correlation (FCS, FCCS), Fluorescence lifetime imaging (FLIM), Fluorescence Resonant Energy Transfer (FRET).  
C. Bouzigues – 3h

#### SUPER-RESOLUTION IMAGING

Total Internal Reflection Fluorescence microscopy (TIRF), microscopy, Stimulated Emission Depletion microscopy (STED), Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (STORM), PhotoActivated Localization Microscopy (PALM).  
C. Bouzigues - 1h30

#### OPTICAL TWEEZERS

Single molecule manipulation  
N. Westbrook - Lab. Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School  
1h30

#### DNA and PROTEIN MICRO-ARRAYS

Readout techniques: fluorescence and Surface Plasmon Resonance, Biochip specifications and realizations, Data processing and interpretation  
H. Benisty, Lab. Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School  
3h

#### NON-LINEAR MICROSCOPY

Two-photon excitation fluorescence microscopy  
Harmonic generation microscopy  
Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS) microscopy  
E. Beaurepaire Lab. d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique  
3h

#### OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

Time-domain / frequency-domain OCT  
Full-field OCT  
Applications  
A. Dubois, Lab. Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School  
3h

## Modalités d'évaluation

Examen écrit

**Responsable** : Arnaud Dubois

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 30

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Tuesday 23 January 2018

## 0306 Conception Avancée des Systèmes Optiques (avec CodeV)

En 2019-2020, cet enseignement est un module de 58h (dont 9h Erasmus+), uniformément réparti sur la séquence 3 (janvier-février)

La capacité de conception demeure la force et la particularité de la formation d'ingénieur dont elle constitue le véritable aboutissement. Elle consiste à utiliser les connaissances acquises au cours des nombreuses années d'enseignements scientifiques pour inventer des réponses efficaces et maîtrisées aux besoins de la société. Ce module, au travers du cas particulier des systèmes optiques, est une ouverture sur cette démarche que l'ingénieur développera par la suite dans son exercice professionnel et comporte deux thèmes liés :

Esquisse d'un système optique. L'objectif est de mettre les étudiants en situation de pré-conception d'un système optique. À partir d'études de cas didactiques, les premières phases de la conception seront abordées à partir d'expressions de besoin purement littérales, parfois incomplètes. Le but du travail sera de fournir les grandes lignes d'un avant-projet cohérent en se posant les bonnes questions, et ceci en quelques heures. Différents outils méthodologiques seront présentés pour donner les ordres de grandeur nécessaires à la bonne prise en compte des données du problème. Pour faire un parallèle avec le monde graphique, la compétence recherchée ici est celle du "roughman", ce dessinateur qui donne une consistance aux projets en quelques traits sur un carnet de croquis.

Conception optique 'avancée' avec le logiciel CodeV® de la société SYNOPSIS (ex- Optical Research Associates). L'objectif est de devenir capable de mener à bien avec ce logiciel, très connu et renommé, la conception détaillée de systèmes optiques d'imagerie réalistes, simples à moyennement complexes. Association des deux compétences. Savoir passer d'une expression de besoin informelle à un système optique précis, fonctionnel et réaliste, via les deux étapes précédentes.

Ces enseignements sont essentiellement construits autour de séances de 3h (ou parfois 4h) de cours/TD en salle d'informatique, c'est-à-dire d'alternance de séquences de cours et de TD applicatifs, permettant aux élèves de découvrir et maîtriser progressivement les concepts, méthodes et outils présentés. Les deux thèmes sont traités en parallèle dans les premières semaines puis combinés dans les dernières.

Esquisse d'un système optique (~12h)

- Exemple du dimensionnement d'un système imageur IR
- Quelques exemples de demandes en conception

- Étude de cas

Conception optique (avancée) avec le logiciel CodeV® (~24h)

- Introduction d'un système optique (dioptries, miroirs, surfaces asphériques, obturations, éléments basculés et décentrés, ...)
- Analyses de la qualité optique (courbes d'aberration, spot-diagram, FTM, ...)
- Optimisation de systèmes optiques (avec contraintes standard et contraintes plus complexes définies par l'utilisateur)

- Manipulation de systèmes multiconfigurations (zooms) simples...
- Notions de base du tolérancement de systèmes optiques, de l'analyse des effets des changements de température et de pression et des techniques de contrôle de la lumière parasite...
- Introduction aux systèmes optiques dans l'IR thermique
- Exemples de conception optique (téléscope de Newton, oculaire avec contrôle de la conjugaison et des aberrations pupillaires, télescope Maksutov-Cassegrain avec mise au point interne, doublet achromatique dans l'IR thermique, télescope TMA {système à 3 miroirs asphériques hors axe}, ...)
- ...

+ cours/conférences Erasmus+ «Optical Manufacturing» (~9h)

- fabrication du verre
- fabrication des composants en verre (avec information sur les plans suivant la norme ISO 10110)

Association des compétences (~9h)

- Études de cas

### **Niveau requis**

Connaissances générales en optique géométrique, radiométrie (dans le visible et l'infrarouge thermique), aberration et conception optique (comme, par exemple, données par les enseignements de 1ère et 2ème années du cursus ingénieur de l'IOGS).

### **Modalités d'évaluation**

Contrôle continu

**Responsable** : Hervé Sauer, Hervé Sauer

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 54

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Saturday 18 January 2020

## **0312 Couches minces optiques**

A faire

**Responsable** : Franck Delmotte

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 21

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Wednesday 26 September 2018

## 0311 Diffusion de la lumière

A faire

**Responsable** : Jean Jacques Greffet

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 18

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## 0315 Fibres optiques avancées (capteurs et fibres microstructurées)

L'objectif du cours est de familiariser les étudiants avec les concepts et les applications avancées des fibres autour de trois thèmes : les capteurs, les fibres microstructurées, les nouvelles applications d'amplification et de laser utilisant des fibres innovantes

Pré-requis : Bases des télécoms optiques (fibres, modes, débit), bases des milieux structurés (notion de bande interdite à 1D), couplage de mode.

### 1) Capteurs à fibres optiques (9h) (P. Ferdinand)

L'utilisation des fibres comme capteurs conduit à des dispositifs répandus et très versatile

-- Avec réseau de Bragg pour le contrôle des déformations,

-- Avec biréfringence, ou avec effets magnéto-optiques, pour la détection le long de la fibre de nombreuses quantités physiques extérieures, dont la température par exemple.

¶ L'utilisation de la sphère de Poincaré est un outil important pour la compréhension des phénomènes. De nombreux exemples pratiques sont donnés

### 2) Fibres microstructurées (6h) (F. Benabid)

-- Les propriétés photoniques remarquables des fibres optiques microstructurées (FMAS Fibres microstructurées Air Silice) dites aussi fibres à cristaux photoniques (PCF : photonic crystal fibers) sont exposées et des applications avancées qui ont déjà connu un grand succès sont présentées :

- Dispersion remarquable : éternellement monomode par exemple

- nonlinéarités faibles et absorption minimale dans les fibres à cœur creux
- nonlinéarités géantes dans les fibres très confinées.

• Ce sont les nonlinéarités qui en font les composants de choix actuellement pour la génération de supercontinuum

(utilisé pour les « peignes de fréquence » en métrologie, cf. le prix Nobel 2004 de T. Hänsch)

3) Nouvelles applications en amplification et lasers des fibres optiques innovantes (G. Bouwmans, Lille) (contenu en cours d'élaboration, premiers cours janvier 2017)

Bibliographie:

Capteurs à fibres optiques :

voir le "MRS Bulletin" Volume 27, No. 5, May 2002

Fibres microstructurées : voir le chapitre 11 dans

J.-M. Lourtioz, H. Benisty, V. Berger, J. M. Gérard, D. Maystre, and A. Tchelnokov, Photonic Crystals, Towards Nanoscale Photonic Devices, 2nd ed. Heidelberg: Springer, 2008.

### Niveau requis

Bases des télécoms optiques (fibres, modes, débit), bases des milieux structurés (notion de bande interdite à 1D), couplage de mode.

### Modalités d'évaluation

En 2017 : Premier CC (valant examen pour les élèves IOGS) : vendredi 10 février à 16h (durée 1h), après le cours de M. Ferdinand, basé à 70% sur un QCM.

Exam final (le seul valant pour le master, le CC pourra augmenter la note de 2 points maximum) : 24 février (14h:check), durée 2h.

**Responsable** : Henri Benisty

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 18

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## 0304 Fonction et Intégration Photonique

Expliciter les principes de fonctionnement et les technologies des dispositifs photoniques semi-conducteurs, dans une perspective d'intégration. On s'appuiera d'abord sur un cas mature, les télécoms optiques pour les réseaux actuels et les tendances émergentes prochainement déployées. On donnera dans la fin du cours les méthodes de traitement du signal par voie électro-optique et acousto-optique, tels qu'elles sont utilisées au-delà des télécoms en photonique micro-onde et dans les lidars.

1) Couplages d'ondes, dispositifs emblématiques (6h, H. Benisty) :



On commencera par un rappel des descriptions de couplage d'onde et de semi-conducteur. Puis on étudiera à titre de base générale l'application de ces concepts au travers de dispositifs emblématiques (QW laser, DFB, VCSEL, QD laser)

2) le cycle performance – technologie des composants télécoms (Béatrice Dagens, IEF)

- On revisite ensuite plus en détail des composants individuels puis intégrés en les resituant dans le contexte des réseaux télécoms et en montrant leur apport à la performance globale.
- Nous considérerons d'abord en détail le cas « élémentaire » du laser à semi-conducteur, pour introduire progressivement les principes physiques sous-jacents à l'ensemble des composants optoélectroniques, leur technologie de fabrication, les principes et les degrés de liberté de leur conception. Cela nous conduira jusqu'à l'intégration des composants en circuits photoniques et les compromis supplémentaires sur la conception liés à l'ensemble de la technologie. Nous aborderons également les autres technologies de composants optoélectroniques (verre, SOI, LiNbO<sub>3</sub>), et nous évoquerons les circuits photoniques développés pour des applications non télécom (bioplasmonique). Ces bases étant acquises, nous pourrions approfondir la physique du fonctionnement et certains principes de caractérisation des composants phares de l'optoélectronique évoqués au début du cours.

3) Composants télécom et datacom : tendances émergentes : (Guang-Hua DUAN, 3-5Lab) (COULD BE IN ENGLISH, pls inform)

- On traitera dans cette partie plusieurs tendances observées ces dernières années dans le domaine de télécommunications et de data communication : le multiplexage et le routage en longueur d'onde, les nouveaux formats de modulation et l'intégration photonique sur silicium. Dans la partie multiplexage et routage en longueur d'onde l'accent sera mis sur les sources accordables en longueurs d'onde et la manipulation de la longueur d'onde (filtrage, routage, translation etc.).
- Sur les nouveaux formats de modulation, on détaillera les circuits photoniques utilisant par exemple une combinaison de plusieurs interféromètres Mach-Zehnder. Sur l'intégration photonique sur silicium, on expliquera les différentes briques de base : laser, modulateur, photo-détecteurs, guides passifs sur silicium, etc. On montera plusieurs exemples d'intégration pour les applications en télécommunications et en "data communication".

4) Traitement du signal électro- et acousto-optique, applications micro-ondes et lidar (D. Dolfi et J.P. Huignard -TRT Thales)

- Phénomènes électro et acousto-optiques et applications : biréfringence induite dans les cristaux et les céramiques, opération en espace libre et en guidage de modes, modulateurs pour les télécom, commutation et balayage électro et acousto-optique de faisceaux lasers.
- Propriétés optiques et électro-optiques des cristaux liquides : phases de cristal liquide, tenseurs optiques et électro-optiques, technologies des cellules de cristaux liquides.
- Applications : afficheurs, vannes à lumières, optique non linéaire

Comparaisons avec d'autres technologies, application au mélange d'onde dans les matériaux, holographie en volume – matériaux : photoréfractifs, à gain, Diffusion Brillouin stimulée ; application du mélange d'onde à l'amplification d'image et à la conjugaison optique. Applications au traitement du signal, au contrôle de faisceau laser, aux compensations d'effets thermiques

- Liaisons électro-optiques, des télécoms aux radars. Principales caractéristiques d'une liaison (gain, figure de bruit, linéarité, gamme dynamique) : des exigences systèmes à la physique du composant ; Applications au traitement optoélectronique de signaux radars (antennes intelligentes [phased array antennae], filtrage agile, corrélation, analyse spectrale, oscillateurs, horloges ultra-précises) ; Génération photonique et détection de signaux millimétriques (fréquence > micro-onde) et THz ; Principes de base des systèmes lidars.

## Niveau requis

Pré-requis

Diode laser de base (Fabry-Perot), milieux à gain et électro-optiques, bases des télécoms optiques (fibres, modes, débit)

**Responsable** : Henri Benisty

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 30

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Wednesday 23 November 2011

## 0319 Fundamentals of estimation and detection in signals and images

Digital processing of signal and images is essential in many applications of optics. Optical communications, remote sensing, industrial control often require signal detection, parameter estimation, target identification.

As another example, in modern imaging systems, optics is designed together with image processing algorithms. Basic knowledge of image processing is thus essential to develop optical systems and quantify their performance.

This course is an introduction to signal and image processing for optics scientists. Half of it consists of « interactive » lectures where basic principles are explained and illustrated with exercises. The second half consists of laboratories where students develop signal and image processing algorithms using Matlab.

1. Basics of probability theory and random functions

- Random variables used in physics, random vectors, central limit theorem,

2. Introduction to estimation theory:

- Bias and variance of an estimator, Maximum likelihood, Cramer-Rao lower bound, matched filter  
Application to distance and position estimation (radar, lidar, ...).

3. Introduction to detection theory :

- Neyman-Pearson theory, likelihood ratio, nuisance parameters, generalized likelihood ratio  
Application to radar, communications, edge detection in images

### Niveau requis

Basic Fourier analysis, probability theory

### Modalités d'évaluation

Labwork reports (1/3)

Project report (1/3)

Written examination (1/3)

**Responsable** : François Goudail, Matthieu Boffety

**Période** : Automne

**Nombre d'heures** : 33

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Saturday 15 September 2012

## 0320 Imagerie à travers la Turbulence

A faire

**Responsable** : Jean Taboury

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 36

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## 0336 Ingénierie Photométrique

A remplir

A remplir

**Modalités d'évaluation**

A remplir

**Responsable** : Lionel Jacubowicz, Jacques Sabater

**Période** : Printemps

**Dernière mise à jour** : Monday 27 February 2012

## 0332 Interaction Lasers Atomes

Le but de la partie I est d'introduire la notion de la matrice densité et les équations de Bloch optiques. On discute différentes sources de dissipation dans un système atomique, et on montre comment la décohérence se décrit par une

trace partielle de la matrice densité. Les exemples sont surtout des situations stationnaires (lasers continus)

Dans la partie II, on traite la régime impulsionnelle ou c'est nécessaire de tenir compte de la réponse spectrale d'un système. Les relations de Kramers et Kronig jouent un rôle important. On développe des méthodes perturbatives pour traiter des problèmes dépendant du temps.

...

**Responsable :** David Clément

**Période :** Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour :** Monday 12 September 2011

## 0329 Modalités d'imagerie

a renseigner

a renseigner

**Responsable :** François Goudail

**Période :** Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour :** Tuesday 06 November 2012

## 0328 Nanophotonics-Nanophotonique : Photonic crystals and metamaterials

Familiariser les élèves de M2 avec

- (1) les éléments fondamentaux de l'électromagnétisme des nanostructures (gaps, milieu effectif, ..) et avec
- (2) les applications des nanostructures artificielles optiques, et enfin avec
- (3) les combinaisons de ces structures optiques avec les structures de confinement électroniques de base (puits et boîtes quantiques), pour une interaction lumière-matière renforcée (effet Purcell, etc.)

La propagation des ondes dans les milieux périodiques est au cœur de nombreux problèmes en physique, à commencer par la propagation des électrons dans les cristaux. Ce cours porte sur le problème optique.

En particulier, nous traitons de la notion de modes de Bloch dans des matériaux optiques artificiels, c'est-à-dire des matériaux structurés à une échelle inférieure à la longueur d'onde de la lumière. Grâce aux

récents développements des procédés de micro- et nanofabrication, ces matériaux sont actuellement en plein essor.

Par analogie avec les électrons, nous introduisons les notions de bande interdite photonique et de matériaux artificiels.

Ces derniers permettent en particulier de synthétiser de manière artificielle des matériaux possédant des propriétés optiques qui ne sont pas disponibles dans la nature.

Les notions théoriques tels la densité d'états (DOS), le "cône de lumière", la lumière lente, etc., sont systématiquement illustrées par des applications issues de la littérature récente sur la nanophotonique, en particulier :

- les cristaux photoniques (1D et 2D),
- les métamatériaux
- l'optique diffractive.

Les notions d'interaction matière-lumière renforcée dans les nanostructures ou en fonction du confinement en général sont abordées : effet Purcell, extraction de la lumière, couplage fort. A Cette occasion, la physique de base du confinement électronique des nanostructures et leurs méthodes d'élaboration sont rappelées dans leurs grands traits.

Le cours est également illustré par quatre travaux dirigés qui permettent d'approfondir certaines notions fondamentales comme :

- le ralentissement de la lumière en bord des bandes interdites photoniques.
- la réfraction négative, notion plus récente.

### **Niveau requis**

Basses sur les ondes, la diffraction, le guidage, les semis conducteurs

### **Modalités d'évaluation**

WRITTEN , partly based on papers

see pedagogical ressources

**Responsable** : Henri Benisty, Philippe Lalanne, Christophe Sauvan

**Période** : Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour** : Friday 19 November 2010

## **0323 Nonlinear Electromagnetism**

- Introduction à l'optique nonlinéaire
- Propagation des ondes électromagnétiques en régime nonlinéaire
- Les effets nonlinéaires d'ordres 2
- Théorie microscopique des susceptibilités
- Les effets nonlinéaires d'ordre 3

### **Modalités d'évaluation**

Examen écrit d'une durée de 3 heures (sans documents)

**Responsable** : François Hache

**Période** : Automne

**Nombre d'heures** : 33

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Tuesday 12 September 2017

## 0322 Optique dans les Milieux Solides

A faire

**Responsable** : Jean-Sébastien Lauret, Nicolas Dubreuil

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 30

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Monday 14 September 2009

## 0326 Optique de l'Extrême

L'objectif de ce module est de faire découvrir aux étudiants la physique et l'optique aux très courtes longueurs d'onde (domaine spectral de l'extrême ultraviolet aux rayons X) et aux très courtes durées (femtosecondes et attosecondes). Après quelques rappels sur les impulsions ultrabrèves, on s'intéressera aux sources à génération d'harmoniques d'ordre élevé pour la génération d'impulsions attosecondes, aux lasers à électrons libres et aux composants optiques utilisés sur ces sources. Nous terminerons en présentant quelques applications du rayonnement XUV ultrabref en physique fondamentale.

Ce domaine est en plein essor au niveau local (Synchrotron SOLEIL, station laser X à Paris Sud, installation Attolab et laser Pétawatt Appolon à l'Orme des Merisiers) et également au niveau international (installation ELI en Europe, lasers à électrons libres X-FEL aux USA et en Europe)...

0- Introduction au domaine de l'extrême ultraviolet et des rayons X, et au domaine ultrabref 1h30

1- Notions d'optique ultrabrève 1h30

2- Génération d'harmoniques d'ordre élevé et impulsions attosecondes 3h

3- Synchrotron et Lasers à électrons libres 3h

4- Interaction XUV-matière, composants optiques 3h

5- Visite de l'installation Attolab

6- Applications des sources de rayonnements XUV ultrabrèves

### **Niveau requis**

Physique et optique générale

### **Modalités d'évaluation**

Examen oral

**Responsable** : Charles Bourassin

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 21

**Dernière mise à jour** : Monday 04 November 2019

## **0309 Optique des matériaux nanostructurés**

A faire

**Responsable** : Philippe Lalanne

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 18

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Tuesday 13 November 2012

## **0330 Optique des Milieux Complexes**

Unité d'enseignement : Formation scientifique Volume horaire : 15,0 h

Coordinateur : Mr Rémi CARMINATI

Examens : Examen écrit

### **Objectifs**

La diffusion de la lumière dans les milieux complexes rend très difficile l'utilisation de techniques d'imagerie standard (microscopie conventionnelle). Pourtant, être capable de « voir à travers des milieux diffusants » est un atout majeur dans des domaines aussi divers que l'imagerie biomédicale, l'étude de la matière molle, ou la caractérisation de peintures. Des approches originales ont été utilisées au cours des vingt

dernières années pour développer des systèmes d'imagerie nouveaux, permettant de détecter des objets et de réaliser des images en régime de diffusion multiple. Le module présente les fondements physiques de la propagation des ondes dans les milieux diffusants désordonnés, et différentes techniques expérimentales modernes permettant de sonder de tels milieux.

## Plan du cours

Diffusion de la lumière par des particules (3h)

Diffusion, sections efficaces, théorème optique.

Approximation dipolaire. Polarisabilité Cas particuliers (diffusion Rayleigh, diffusion de Mie, grosses particules)

Diffusion multiple (3h)

Extinction par un nuage de particules

Balistique et diffus. Echelles de longueur. Champ moyen et champ fluctuant

Homogénéisation (exemple du milieu finement divisé)

Modèles de transport en diffusion multiple (3h)

Equation de transfert radiatif. Méthode à deux flux

Approximation de la diffusion. Conductance radiative

Exemples d'application, imagerie

Speckle (3h)

Statistique de l'intensité (Rayleigh). Modèle de lumière chaotique

Statistiques du second ordre. Corrélations spatiales et angulaires

Diffusion dynamique de la lumière (diffusion simple et diffusion multiple)

Exemples d'application en imagerie (matière molle, vivant)

Techniques d'imagerie en milieux diffusants (3h)

Tomographie par cohérence optique (OCT)

Approches multi-ondes (acousto-optique, photo-acoustique)

Imagerie moléculaire (fluorescence)

## Bibliographie

Scattering and absorption of light by small particles, Bohren et Huffman, J. Wiley, 1981

Light scattering by small particles, H. van de Hulst, Dover 1981

**Responsable** : Rémi Carminati

**Période** : Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour** : Monday 03 January 2011

## 0327 Optique Quantique

Ce cours donnera un aperçu sur la description de l'interaction de la lumière avec un système quantique (atome, puits quantique...). Le but principal est d'introduire quelques subtilités associées au concept du photon.

I. Le corps noir

II. Quantification



- III. Etats du champ
- IV. Interaction atome-champ
- V. Emission spontanée
- VI. Détection de photons
- VII. Détection de photons II
- VIII. Champ incohérent
- IX. Optique quantique non-linéaire
- X. Interférométrie, bruit, et intrication

**Niveau requis**

mécanique quantique, physique atomique, optique non-linéaire, lasers, électromagnétisme

**Responsable** : Christoph Westbrook, Christoph Westbrook

**Période** : Automne

**Nombre d'heures** : 30

**Dernière mise à jour** : Monday 16 September 2019

## 0305 Physique des détecteurs

A faire

**Responsable** : François Goudail

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 18

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## 0321 Physique des Lasers

Ce cours démarre par la description semi-classique de l'interaction lumière matière, pour établir les équations de Maxwell-Bloch. L'approximation des équations de taux est ensuite faite pour décrire le principe du laser monomode. A partir de ce modèle, les mécanismes d'élargissement des transitions, les régimes dynamiques, et les propriétés de bruit sont examinés. Les aspects spatiaux sont ensuite abordés, en utilisant les matrices de transfert dans l'approximation paraxiale pour décrire la propagation des faisceaux et la stabilité des résonateurs optiques. Enfin, le régime de verrouillage de modes conduisant à la génération d'impulsions ultra-brève est décrit, ainsi que la propagation et les méthodes de caractérisation de ces impulsions.

1. Interaction lumière-matière ; équations du laser monomode
2. Laser monomode en régime stationnaire
3. Laser à élargissement inhomogène
4. Régime transitoire et déclenché
5. Bruit des lasers en intensité et phase
6. Cavités optiques : matrices de transfert, faisceaux gaussiens, et notion de stabilité
7. Verrouillage de mode et impulsions ultra-brèves

**Responsable** : Fabien Bretenaker, Marc Hanna, Frédéric Druon

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 36

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Monday 14 September 2009

## 0338 Problèmes inverses

A compléter

A compléter

**Responsable** : Jean-Marc Conan

**Période** : Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour** : Friday 09 November 2012

## 0337 Projets de traitement d'images

Être capable de comprendre et de mettre en œuvre une solution à un problème de traitement d'image ou de vision par ordinateur comme le débruitage, la restauration, le recalage, la superrésolution, la stéréovision, l'extraction d'objets, la reconnaissance des formes...

Le projet s'articule autour d'une étude de contexte (bibliographie), d'un développement algorithmique et d'un ensemble de résultats qui doivent illustrer les performances de la méthode dans différentes conditions.

La présentation des projets se trouve dans les ressources pédagogiques.

### Modalités d'évaluation

Réalisation algorithmique : coefficient 3/5

Présentation orale : coefficient 2/5

**Responsable** : Caroline Kulcsar

**Période** : Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour** : Tuesday 03 January 2017

## 0302 Radar

A compléter

A compléter

**Responsable** : François Goudail, Philippe Lacomme

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 18

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## 0339 Reconnaissance des formes

A compléter

A compléter

**Responsable** : François Goudail, Jérôme Morio

**Période** : Hiver & Printemps

**Dernière mise à jour** : Friday 09 November 2012

## 0324 Statistical Optics (Optique statistique)

Ce cours est enseigné en anglais. Il couvre les thèmes suivants:

Introduction aux outils statistiques pour traiter des fluctuations de la lumière.

Définition de la cohérence temporelle et spatiale des sources lumineuses avec une approche statistique.

Description du phénomène de speckle (principalement le speckle de Fourier) et comment il se manifeste.

Plan du cours:

- rappels sur l'imagerie en éclairage cohérent et incohérent (réponse impulsionnelle, fonctions de transfert) - 1 séance
- Introduction à l'optique statistique - formalisme mathématique adapté - 1 séance
- cohérences temporelle et spatiale des ondes lumineuses (3 séances)
- phénomène de speckle et applications au travers de séminaires sur des sujets de recherche actuels (4 séances)
- photodétection (1 séance)

### **Niveau requis**

Théorie de la diffraction de Fresnel et de Fraunhofer - Application à des systèmes simples d'imagerie - Filtrage de Fourier - Notions de formalisme mathématique associé aux variables aléatoires  
voir par exemple: cours d'Optique de Fourier niveau 2A-M1

### **Modalités d'évaluation**

Evaluation par un examen écrit de 3h en décembre.

**Responsable** : David Clément, Vincent Josse

**Période** : Automne

**Nombre d'heures** : 30

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Sunday 10 November 2013

## **0318 Surfaces Optiques, optomécanique**

A faire

**Responsable** : Sébastien De Rossi

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 36

**Dernière mise à jour** : Friday 11 September 2009

## **0316 Télécommunications Optiques**

A faire

**Responsable** : Nicolas Dubreuil

**Période** : Automne

**Nombre d'heures** : 36

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Thursday 19 January 2017

## 0303 Visualisation

Donner aux étudiants une vue d'ensemble des différentes familles d'écrans plats d'aujourd'hui et du futur, en décrivant les principes physiques de même que les matériaux et les technologies utilisés pour leur fabrication.

Un premier chapitre rappelle les fondamentaux mis en œuvre dans le cadre de la visualisation des images et des écrans plats :

Une rapide introduction sur le fonctionnement de l'œil et sur les principes de constitution des images.

Les différents codages vidéo analogique et numérique utilisés pour la diffusion vidéo

Les propriétés de base des transistors à effet de champ ainsi que leurs procédés de fabrication, basés sur les technologies de la microélectronique.

La suite du cours est organisée en 4 blocs principaux, correspondant aux effets physiques exploités dans les écrans plats :

1-Ecrans plats basés sur un principe de modulation de la lumière

Les écrans plats à cristaux liquides sont les principaux écrans dans cette catégorie. On présentera les différentes familles de cristaux liquides, ainsi que la façon dont ils sont utilisés pour obtenir des effets électro-optiques contrôlés par de faibles tensions.

Principes d'adressage et limitation du multiplexage (critère dit de « Alt et Pleshko »),

Adressage par matrice active,

Technologies de transistors en couches minces : le silicium amorphe hydrogéné, le silicium micro-cristallin, le silicium polycristallin, les transistors organiques et les technologies émergentes (nanofils de semiconducteurs, nanotubes de carbone...).

Pour chaque type de technologie, l'accent sera mis sur les propriétés des matériaux, les procédés, les caractéristiques des transistors etc...

2-Ecrans plats basés sur un principe émissif (écrans luminescents).

Différents types de luminescence sont exploités dans les écrans plats :

Electroluminescence : organic light emitting diodes (OLEDs) et adressage correspondant des écrans.

Matrice active à deux transistors.

Photoluminescence : écrans plasma.

3-La visualisation par projection.

Les principales techniques de projection utilisées seront présentées, basées sur l'utilisation de LCDs ou de micromiroirs (MEMS).

4-Les autres technologies

Nous aborderons ici les écrans de type E-papers mis en œuvre dans les Ebooks mais aussi d'autre technologie plus marginale comme l'électrowetting ou l'émission de champ.

La dernière partie du cours est plus prospective, elle porte sur les développements et les recherches sur le futur des écrans plats :

Visualisation 3D

Ecrans conformables et flexibles

### **Niveau requis**

bonnes bases en électronique du solide et en sciences des matériaux.

### **Modalités d'évaluation**

Présentation orale d'un article, puis questions autour de l'article et du cours

**Responsable** : Yvan Bonnassieux

**Période** : Hiver & Printemps

**Nombre d'heures** : 36

**Crédits ECTS** : 3

**Dernière mise à jour** : Monday 03 January 2011