

# Master 2

Sciences, Technologies, Santé

2023-2024

*Physique appliquée et ingénierie physique*

## Photonique Signal imagerie




M2 PSI



# SOMMAIRE

Contacts de la formation	03
Calendrier	04
Présentation de la formation	05
Volumes horaires et évaluations	07
Contenu des enseignements	09

*Sommaire interactif  
pour revenir  
au sommaire  
cliquer sur *



## CONTACTS DE LA FORMATION

- Sandrine TRAVIER : **Directrice Adjointe à la Pédagogie**  
*sandrine.travier@univ-angers.fr*
- Étienne BELIN : **Responsable pédagogique et Président du Jury**  
Tél. : 02 41 73 52 14  
*etienne.belin@univ-angers.fr*
- Dominique MAZEAUD : **Gestion de la scolarité et des examens**  
Tél. : 02 41 73 53 57  
*dominique.mazeaud@univ-angers.fr*
- Charlotte BROSSET : **Alternance**  
Tél. : 02 41 73 52 17  
*re.sciences@contact.univ-angers.fr*

### SCOLARITÉ – EXAMENS

Bâtiment A, Rez-de-chaussée  
Horaires d'ouverture  
8h30 – 12h00  
13h30 – 16h30  
Du lundi au vendredi  
Fermé le mercredi après-midi



# FORMATION INITIALE

## Semestre

3

Rentrée et  
début des  
cours

11.09.23

Vacances  
d'automne  
28.10.23  
ou  
05.11.23

Vacances de  
fin d'année  
23.12.23  
ou  
07.01.24

Fin du  
Semestre 1  
04.03.24

Jury  
Semestre 1  
Mars 24

## Semestre

4

Vacances  
d'hiver  
02.03.24  
ou  
10.03.24

Début de stage  
11.03.24

Soutenance de  
stage  
31.08.24

Jury  
Semestre 2  
Septembre  
24

*Planning susceptible de modifications*



## PRÉSENTATION DE LA FORMATION

Le Master de **Physique appliquée et Ingénierie physique** est un master co-accrédité entre les Universités d'Angers (UA) et du Maine (UM). La première année (M1) est composée d'enseignements en tronc commun sur chacun des deux sites. La deuxième année (M2) propose 2 parcours, dont un sur le site angevin qui offre une spécialisation en **Photonique, Signal et Imagerie**, en s'adossant sur 3 laboratoires de recherche de l'UA : le Laboratoire de Photonique d'Angers (LPhiA), le laboratoire MOLTECH-Anjou et le Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS). Cette formation est à finalité professionnelle mais permet également de poursuivre en thèse.

### OBJECTIFS

L'objectif principal de ce master est de former des cadres de niveau ingénieur ou des étudiants se destinant à poursuivre en doctorat, aptes à maîtriser les techniques actuelles et à élaborer les techniques de demain, dans les domaines interconnectés que sont l'interaction lumière-matière, l'optoélectronique, la photonique, l'imagerie, le traitement du signal et des images, spécialement considérés en synergie, depuis les constituants physiques jusqu'aux traitements numériques de haut niveau de l'information. L'année M1 du Master porte sur une formation en physique généraliste et prépare à la spécialisation de l'année M2. Aussi, en M2, la formation propose 2 parcours, dont un sur le site angevin qui vise à faire acquérir :

- des compétences en photonique, optoélectronique, signal et imagerie, de façon intégrative ;
- des méthodologies générales permettant l'adaptation et l'innovation technologique dans ces domaines ;

Les étudiants formés acquièrent les

notions essentielles et connaissances fondamentales à la fois de la photonique, du signal et de l'imagerie. En s'appuyant sur les méthodologies générales et les facultés d'adaptation qu'ils ont également acquises, ils sont capables de s'engager dans des métiers correspondant spécialement à l'un ou l'autre de ces domaines, ou bien dans des métiers nécessitant une approche globale de leur champ scientifique et technologique. Selon la nature du stage de fin d'études qui aura été réalisé en M2, ils peuvent alors, soit s'insérer directement en entreprise, soit poursuivre en doctorat.

### COMPÉTENCES VISÉES

Au-delà de compétences transversales linguistiques, informatiques et méthodologiques, qui de fait sont communes à tous les parcours du Master, la formation proposée s'appuie sur un socle de connaissances et de compétences en physique générale avec une coloration en optique. Ces compétences communes sont acquises en tronc commun l'année de M1 sur les deux sites.

Le parcours M2 PSI permet ensuite de viser des compétences plus spécifiques qui permettront aux diplômés de connaître les milieux académiques et de l'entreprise, de maîtriser la gestion de projet, la communication et de mettre à profit leur expertise dans les domaines de la recherche et du développement liés à **la photonique, l'optoélectronique, le traitement du signal et des images**.

### INSERTION PROFESSIONNELLE

Les principaux débouchés concernent les fonctions de recherche et développement, conception, exploitation, maintenance, technico-commercial, création d'entreprise dans le secteur de



la photonique, de l'optoélectronique, du signal et de l'imagerie. Les milieux concernés sont la recherche académique, l'industrie, les secteurs de la santé, les nouvelles technologies de l'information et de la communication, les services comme ceux impliquant l'audiovisuel, le multimédia.

L'objectif du diplôme est d'apporter des connaissances et des compétences à des étudiants intéressés par des problématiques actuelles concernant les sciences de l'information et la photonique. Ces problématiques sont en effet traitées sur les plans international, régional et local. Le site angevin permet alors un bon positionnement pour le master PSI puisque sont identifiées de fortes demandes autour des pôles de compétitivité locaux : santé (CHU) et végétal (INRAe, ACO, GEVES) pour des développements et de la recherche sur un axe à l'interface entre les sciences physiques (signal imagerie, capteurs optiques) et les secteurs du biomédical et du végétal.

## PUBLIC VISÉ

En M1, les étudiants titulaires de licences mention « Physique » ou « Physique, Chimie ». À titre exceptionnel et en fonction de la spécialité et la qualité de leurs dossiers, les étudiants titulaires d'une licence professionnelle peuvent être admis dans la formation.

**En M2, les étudiants ayant validé l'année de M1 mention Physique appliquée, Ingénierie physique ou équivalent** (après examen de leur dossier).

Les étudiants étrangers pourront être admis après examen des dossiers par une commission d'équivalence et de validation des acquis.

## MODALITÉS PRATIQUES EN ALTERNANCE

La formation de M1 n'est pas ouverte à l'alternance.

**Le parcours PSI de M2 est proposé en alternance.**

## STAGE

Un stage de 4 à 6 mois en milieu professionnel (entreprise ou laboratoire) est obligatoire au quatrième semestre. Les étudiants recherchent eux-mêmes leur stage. Ils disposent pour cela de leur propre expérience, ainsi que du fichier répertoriant les entreprises ayant déjà accueilli des stagiaires du M2-PSI. Lorsqu'un étudiant possède une proposition de stage, il en présente un descriptif à l'enseignant responsable. Celui-ci vérifie l'adéquation du sujet avec la formation suivie : le stage doit permettre à l'étudiant de mettre en pratique les connaissances acquises et le préparer à entrer dans la vie professionnelle. Il doit clairement apporter un complément de formation ou d'expérience à l'étudiant pour être accepté. Le stage donne lieu à un rapport écrit ainsi qu'à une soutenance orale. La soutenance a lieu fin août début septembre pour les stages universitaires.

La note affectée au stage tient compte du rapport écrit, de la soutenance orale, et du travail de l'étudiant selon en particulier le rapport du maître de stage. Une note de stage au-dessous de 10/20 est éliminatoire.

Une convention de stage est établie entre l'entreprise ou le laboratoire d'accueil et l'Université d'Angers. La possibilité d'effectuer un stage à l'étranger est complètement ouverte (suivant les mêmes règles qu'un stage effectué en France).



# VOLUMES HORAIRES – ÉVALUATIONS

## SEMESTRE 3

30 ECTS

UE	Matières	Volumes horaires				ECTS	Coeff.	Contrôle des connaissances 1 <sup>ère</sup> session
		CM	TD	TP	Tot.			
<b>Bloc 1 &gt; Photonique</b>								
1	Photonique moléculaire	17	8	3	28	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
2	Laser, interaction laser-matière	17	8	3	28	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
3	Fibres optiques, composants actifs & passifs	17	8	3	28	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
4	Optique non linéaire et applications	17	8	3	28	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
<b>Bloc 2 &gt; Signal</b>								
5	Traitement du signal	17	8	8	33	2	2,66	CC - 0,75 TP - 0,25
6	Théorie de l'information	17	8	4	29	2	2,34	CC - 0,85 TP - 0,15
7	Traitement optique du signal et holographie	17	8	0	25	1	2	CC - 1
<b>Bloc 3 &gt; Imagerie</b>								
8	Physique de l'imagerie	17	8	8	33	1	2,5	CC - 0,8 TP - 0,2
9	Visionique, acquisition, visualisation des images	17	8	4	29	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
10	Traitement numérique des images	17	8	4	29	2	2,25	CC - 0,89 TP - 0,11
11	Imagerie computationnelle	17	8	0	25	2	2	CC - 1
<b>Bloc 4 &gt; Informatique</b>								
12	Physique numérique avancée	9	8	9	26	1	2	CC - 0,75 TP - 0,25
13	Infographie, synthèse d'images et réalité virtuelle	17	8	0	25	1	2	CC - 1
<b>Bloc 5 &gt; Compétences transversales</b>								
14	Création d'entreprises, droit des entreprises	14	0	0	14	1	0	P
15	Fiabilité, gestion de projets, sûreté de fonctionnement	8	0	0	8	1	0	P
16	Qualité, conception de produits, innovation	12	0	0	12	1	0	P
<b>Bloc 6 &gt; Projet</b>								
17	Projet / Projet d'alternance	0	0	0	0	5	8	Oral 20mn - 1



**Conditions de validation du semestre 3 :**  
Semestre 3 validé si moyenne des blocs  $\geq 10$   
et si le bloc 5 est validé.



Pas de DA et pas de Session 2

CT = Contrôle Terminal      P = Validation en Présentiel  
CC = Contrôle Continu      DA = Dispensé d'Assiduité



## SEMESTRE 4

**30 ECTS**

UE	Matières	Volumes horaires				ECTS	Coeff.	Contrôle des connaissances	
		CM	TD	TP	Tot.			1 <sup>ère</sup> session	
<b>Bloc 7 &gt; Stage</b>									
7	Stage	0	0	0	0	30	18	Oral 30mn	
	Alternance								



**Conditions de validation du semestre 4 :**

**Semestre validé si note de stage  $\geq 10,00$  (note plancher)**



**Conditions de validation de l'année :**

**(37\*semestre 3 + 18\*semestre 4) / 55  $\geq 10$   
avec semestre 4  $\geq 10$   
et si le bloc 5 est validé.**



**Pas de DA et pas de Session 2**

CT = Contrôle Terminal      P = Validation en Présentiel  
CC = Contrôle Continu      DA = Dispensé d'Assiduité





# CONTENUS DES ENSEIGNEMENTS

## SEMESTRE 3

### UE OBLIGATOIRES

#### PHOTONIQUE

##### UE1

#### PHOTONIQUE MOLÉCULAIRE

*Molecular photonic*

Responsables Denis Gindre | Matthieu Loumagne

##### Pré-requis

*Notions et contenus*

Optique géométrique et ondulatoire de licence

Optique anisotrope (Master 1)

Bases de l'optique non linéaire (Master 1)

##### Contenus

Cet enseignement aborde : Microscopies non conventionnelles ; Microscopie à force atomique ; effet tunnel optique ; microscopie tunnel ; Applications de l'absorption multiphotonique ; Microscopies de fluorescence et non linéaires ; Imagerie par génération de second harmonique ; Corona Poling ; EFISH ; Dichroïsme circulaire non linéaire ; introduction à la biophotonique ; Détection de molécules uniques ; pinces optiques.

##### Compétences

- Connaître les principales techniques de microscopies non conventionnelles.
- Comprendre le principe de l'AFM et ses différents modes de fonctionnement.
- Connaître l'effet tunnel optique et son application à la microscopie.
- Connaître les techniques de microscopies récentes et leurs performances en termes de résolution.
- Avoir une bonne connaissance des techniques photoniques pour l'étude de systèmes moléculaires.

##### UE2

#### LASER, INTERACTION LASER-MATIÈRE

*Laser, laser-material interaction*

Responsable Mohamed Sahli

##### Pré-requis

*Notions et contenus*

– Notions en mathématiques (calcul matriciel, équations différentielles d'ordre 1 et d'ordre 2, polynômes d'Hermite, polynômes de Laguerre)

– Notions de M1 PSI en ondes et propagation guidée

– Notions de M1 PSI en optique non linéaire

– Notions de M1 PSI en optoélectronique

*Compétences*

– Être capable de calculer et diagonaliser les matrices, de résoudre les équations différentielles et de manipuler les polynômes d'Hermite et de Laguerre

– Savoir calculer les modes de propagation et la fréquence de coupure dans un guide d'onde.

– Connaître les coefficients et paramètres associées à une interaction non linéaire.

– Savoir les phénomènes physiques pour réaliser de la modulation optique.

##### Contenus

Cet enseignement aborde : Faisceaux gaussiens : mode fondamental, modes d'Hermite-Gauss, modes de Laguerre-Gauss ; Propagation d'un faisceau gaussien : loi ABCD pour les faisceaux gaussiens, focalisation d'un faisceau par une lentille ; Introduction matière-rayonnement ; Equations de Maxwell-Bloch : régime stationnaire du laser, lien avec les équations de bilan ; Forme de raie : élargissement homogène, élargissement



inhomogène ; lasers multimodes longitudinaux ; Lasers impulsionsnels : régime déclenché, régime à synchronisation de modes.

### Compétences

- Distinguer les différents phénomènes engendrés dans les matériaux par une irradiation laser (absorption, émission spontanée, émission stimulée).
- Connaître les modes de la cavité résonnante.
- Savoir la condition de stabilité de la cavité laser.
- Savoir les mécanismes d'élargissement de raie.
- Faire la différence entre l'élargissement homogène et l'élargissement inhomogène.
- Comprendre l'intérêt de pompage dans la réalisation de l'inversion de population.
- Savoir les phénomènes de saturation liés à l'absorption et au gain.
- Savoir calculer les équations cinétiques pour un système à 3 niveaux et un système à 4 niveaux d'énergie.
- Savoir calculer le nombre de photons dû à la perturbation de l'état stationnaire en régime transitoire.
- Connaître le principe d'un laser déclenché.
- Savoir comment réaliser un laser déclenché via un absorbant saturable réel ou artificiel.
- Savoir ce que c'est un laser à modes synchronisés.
- Savoir les conditions à réaliser pour obtenir un laser verrouillé en phase.

### UE3

#### FIBRES OPTIQUES, COMPOSANTS ACTIFS ET PASSIFS

*Optic fiber, active & passive components*

Responsable [François Sanchez](#)

#### Pré-requis

*Notions et contenus*

Optique ondulatoire. Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu isotrope. Les mécanismes de base en in-

teraction matière - rayonnement. Algèbre linéaire. Calcul différentiel et intégral.

#### Compétences

- Savoir manipuler les équations de Maxwell et établir l'équation de propagation.
- Savoir résoudre l'équation de propagation dans le cas linéaire et isotrope.
- Être capable de faire un bilan sur les populations des niveaux d'énergie. Notions de spectroscopie.
- Savoir résoudre un problème aux valeurs propres.

#### Contenus

Cet enseignement aborde : introduction aux fibres optiques, analyse modale, pertes aux raccordements, composants passifs : coupleurs, isolateurs, multiplexeurs, réseaux de Bragg, composants actifs: les fibres dopées, les amplificateurs à fibre dopée erbium, les sources superfluorescentes.

#### Compétences

Ce cours a pour objectif principal de présenter les composants fibrés passifs (du plus simple, comme le coupleur, au plus élaboré, comme le réseau de Bragg) et quelques composants actifs basés sur les fibres dopées. A l'issue du cours, l'étudiant doit être capable de concevoir et réaliser un dispositif fibré basé sur des composants passifs et / ou des composants actifs.

### UE4

#### OPTIQUE NON LINÉAIRE ET APPLICATIONS

*Non-linear optic & applications*

Responsable [François Sanchez](#)

#### Pré-requis

*Notions et contenus*

Polarisation de la lumière. Propagation d'une onde électromagnétique dans des milieux isotropes et anisotropes. Algèbre matriciel. Calcul différentiel et intégral. Notions sur les tenseurs.



## Compétences

- Connaître la structure d'une onde plane dans un milieu anisotrope.
- Maîtriser les notions de surface des indices et d'ellipsoïde des indices.
- Savoir manipuler les équations de Maxwell et établir l'équation de propagation.
- Savoir résoudre l'équation de propagation dans le cas linéaire.
- Savoir résoudre un problème aux valeurs propres.
- Maîtriser le calcul différentiel et intégral.

## Contenus

Cet enseignement aborde : Introduction à l'optique non linéaire. Equation de propagation en régime stationnaire et en régime d'impulsions courtes. Génération de la seconde harmonique et problème de l'accord de phase. Quasi-accord de phase et mise en œuvre. Autocorrélateurs optiques. Amplificateur et oscillateur paramétriques. Diffusion Raman et Brillouin. Conjugaison de phase. Bistabilité optique. Propagation d'impulsions courtes dans un milieu dispersif et non linéaire. Solitons.

## Compétences

L'objectif du cours est de donner de solides bases en optique non linéaire. Ce cours est relativement mathématisé et donne à l'étudiant l'essentiel des outils conceptuels et théoriques pour lui permettre de comprendre un grand nombre de dispositifs pratiques utilisant des effets non linéaires. A l'issue du cours l'étudiant doit être capable de comprendre et de concevoir un dispositif basé sur des effets non linéaires.

## Bibliographie

- Y.R. Shen, *The principles of Nonlinear Optics*, Wiley
- G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press
- F. Sanchez, *Optique Non Linéaire*, Ellipses 2020
- P.E. Powers & J.W. Haus, *Fundamentals of Nonlinear Optics*, Taylor & Francis

## SIGNAL

### UE5

## TRAITEMENT DU SIGNAL

### Signal processing

Responsable **François Chapeau-Blondeau**

## Pré-requis

### Notions et contenus

Éléments de base du traitement du signal comme abordés dans ce M1.

Représentation fréquentielle, signaux aléatoires, signaux échantillonnés.

Bases mathématiques : probabilités et statistiques, dérivation et intégration des fonctions usuelles, nombres complexes, fonctions trigonométriques.

Bases de programmation informatique et calcul numérique.

### Compétences

- Capacité au raisonnement scientifique suivi.
- Capacité à mobiliser des notions mathématiques pour les appliquer sur des situations concrètes concernant le signal et les mesures physiques.
- Capacité à mettre en œuvre de façon numérique des méthodologies d'étude et de résolution.

## Contenus

Descriptif : Consolidation des bases du traitement du signal et approfondissements.

1. Signaux déterministes à temps continu : Représentations temporelle, fréquentielle ; Fonctions de corrélation, densités spectrales ; Transformation par les systèmes linéaires.
2. Signaux aléatoires : Caractérisations statistiques du 1er ordre et du 2ème ordre.
3. Signaux à temps discret : Théorème d'échantillonnage de Shannon ; Transformée de Fourier discrète ; Filtres numériques linéaires.
4. Détection des signaux dans le bruit : Détection optimale, critère bayésien, critère de Neyman-Pearson, Cas gaussien,



Filtrage adapté, détection synchrone, Théorie statistique de la décision.

5. Estimation : Estimateurs, biais, erreur quadratique, variance. Information de Fisher, inégalité de Cramér-Rao. Estimateur du maximum de vraisemblance. Estimation bayésienne

6. Analyse temps-fréquence : Transformée de Fourier à fenêtre, spectrogramme. Densités d'énergie temps-fréquence.

7. Analyse temps-échelle, Ondelettes - Transformée en ondelettes - Analyse multirésolution, reconstruction.

Deux TP permettent de mettre en œuvre des traitements de base principalement sur la détection et l'estimation des signaux dans le bruit.

Mots clés : Analyse fréquentielle ; Signaux aléatoires ; Détection ; Estimation ; Analyse temps-fréquence ; Analyse temps-échelle ; Ondelettes.

### Compétences

Consolidation et prise de recul sur les bases dans un cadre élargi.

Prolongements par l'acquisition de notions plus avancées du traitement du signal.

## UE6

### THÉORIE DE L'INFORMATION

*Information theory*

Responsable **François Chapeau-Blondeau**

#### Pré-requis

*Notions et contenus*

Bases mathématiques en probabilités et statistiques.

Bases de programmation informatique et calcul numérique.

*Compétences*

— Capacité au raisonnement scientifique suivi.

— Capacité à mobiliser des notions mathématiques pour les appliquer sur des situations concrètes concernant l'information physique.

— Capacité à mettre en œuvre de façon numérique des méthodologies d'étude et de résolution.

#### Contenus

Descriptif : On propose une introduction à la théorie statistique de l'information et ses applications.

1. Concepts de base : Entropie, entropie conjointe, entropie conditionnelle. Information mutuelle.

2. Sources d'information : Entropie, débits d'entropie. Sources indépendantes, sources dépendantes, sources markoviennes.

3. Codage de source : Problématique, compression. Théorème du codage de source (1er théorème de Shannon). Méthodes pratiques : Huffman, arithmétique, Lempel-Ziv.

4. Codage de canal : Problématique, information mutuelle, capacité. Théorème du codage de canal (2ème théorème de Shannon). Méthodes pratiques : Codes en blocs, linéaires, codes convolutifs, turbo codes.

5. Cryptographie : Problématique, cryptage à clé publique. Point de vue informationnel.

6. Principe de longueur de description minimale : Inférence statistique. Applications à la modélisation paramétrique de données.

Un TP permet de mettre en œuvre des problématiques et traitements de base, principalement en codage de source et communication sur canal bruité.

Mots clés : Information ; Entropie ; Codage de source ; Codage de canal ; Télécommunication.

#### Compétences

Prendre connaissance d'un cadre formalisé et quantitatif pour la description de l'information. Connaître des problématiques et applications clés en sciences et technologies de l'information qui peuvent ainsi être traitées.

## UE7

### TRAITEMENT OPTIQUE DU SIGNAL, HOLOGRAPHIE

*Signal optical processing, holography*

Responsable **Georges Boudebs**



## Pré-requis

### *Notions et contenus*

Notion sur la diffraction en optique. Phénomène d'interférences à deux ondes. Notion de pupilles d'entrée et de sortie dans un système optique

### *Compétences*

Analyse de Fourier à une dimension. Théorèmes concernant la transformation de Fourier.

## Contenus

Après un bref rappel sur le formalisme de Fourier à deux dimensions, nous aborderons la théorie de la diffraction et les limitations qu'elle impose. Nous effectuerons ensuite des approximations qui permettront de ramener les calculs à des opérations mathématiques simples. Le calcul explicite sera mené en détail pour démontrer l'une des propriétés les plus remarquables et les plus utiles d'une lentille convergente à savoir son aptitude à réaliser une TF bidimensionnelle. Ensuite, l'étude générale des systèmes formant des images sera abordée en introduisant la notion de fonction de transfert optique dans le cas de l'éclairage spatialement cohérent et incohérent. Nous passons en revue les systèmes utilisés pour moduler spatialement les ondes optiques ainsi qu'un exemple illustrant les techniques capables de modifier la transmission lumineuse en temps réel, par une commande optique ou électronique. Ensuite et dans la deuxième partie de ce cours, nous abordons le domaine général du traitement de l'information et plus particulièrement celui réalisé par un moyen optique. Diverses applications sont proposées : filtrage de Zernicke, convolution par voie optique, reconnaissance de formes, multiplication matrice-vecteur... De telles applications reposent sur l'aptitude des systèmes optiques à faire subir des transformations linéaires générales aux données d'entrée. En conclusion, Il s'agit ici de décrire et de comprendre les processeurs optiques utilisés pour le traitement d'images qui ont atteint une certaine maturité et un point culminant en termes d'activité de recherche, même

s'ils n'ont pas connu l'essor industriel espéré, parce que la compétition avec les processeurs numériques étant très rude. Les mises en œuvre pratiques de ce cours sont appliquées pour du Filtrage des fréquences spatiales. Détramage d'une photo. Suppression de la fréquence spatiale nulle (strioscopie pour observation d'objets de phases). Simulation numérique sous Matlab.

## Compétences

Calcul littéral de figures de diffraction de Fraunhofer à deux dimensions (ouvertures rectangulaire et circulaire, réseau sinusoïdal en amplitude...). Propriétés des lentilles relatives à la transformation de Fourier. Formation des images en éclairage monochromatique. Analyse fréquentielle des systèmes optiques formant des images dans le cas de l'éclairage cohérent et incohérent. Fonctions de transfert de modulation. Propriétés du film photographique et du SLM (Spatial Light Modulators). Filtrage spatial et traitement optique de l'information. Le microscope à contraste de phase. La convolution en optique incohérente. Synthèse d'un filtre passe bande (en incohérent). Architectures utilisées en éclairage cohérent. Le filtre de Vander Lugt. The Joint transform correlator. Applications à la reconnaissance des formes. Exemple de calcul par voie optique (multiplication matrice-vecteur). Exemple de déconvolution (amélioration d'une photo floue). Formation des images par holographie. Applications de l'holographie.



# IMAGERIE

UE8

## PHYSIQUE DE L'IMAGERIE

*Physics beyond imagery*

Responsables **Georges Boudebs** | **Pascal Picart**

### Pré-requis

*Notions et contenus*

Généralités sur la lumière. Interférences lumineuses. Division du front d'onde. Cohérence temporelle. Description mathématique des ondes lumineuses. Représentation temporelle. Fonction de corrélation. Notion sur la cohérence spatiale.

*Compétences*

Théorie du signal. Convolution, valeurs caractéristiques d'un signal. Signaux physiques à énergies finies et à puissance moyenne finie. Transformée de Fourier à deux dimensions.

### Contenus

Méthodes interférométriques et démodulation de franges

L'objectif est de connaître les principes qui sous-tendent les différents systèmes imageurs à base d'optique cohérente. Dans chaque domaine, l'étudiant doit être capable d'établir le lien entre une figure d'interférences, en niveau de gris, la grandeur physique à la base de cette figure. On insiste notamment sur les artefacts d'origines physiques dans les systèmes d'optique cohérente, tel que par exemple le bruit de décorrélation de speckle.

On étudiera la relation entre phase des interférences et grandeur physique d'intérêt. En particulier, il sera abordé les différentes étapes de traitement des images interférométriques et les problèmes liés au déroulement de phase et le traitement du bruit dans la mesure.

La mesure interférométrique introduira le concept de démodulation de phase. On étudiera les méthodes de d'extraction de phase dans un signal d'interférences par des techniques dites « temporelles »

(découpage de phase temporel, détection hétérodyne) et par celles dites « spatiale » (transformée de Fourier, détection synchrone spatiale). Les erreurs de mesure sous-jacentes aux différentes méthodes seront abordées.

Une partie expérimentale abordera le traitement numériques d'interférogrammes et l'implantation d'une partie des techniques abordées dans le cours. Le traitement numérique sera mené avec le logiciel MATLAB.

Notion de cohérence spatiale. Théorie de la formation de l'image d'un objet plan à travers un microscope. Simulation numérique. Cas de l'éclairage cohérent, incohérent et de l'éclairage partiellement cohérent. Imagerie et caractérisations de matériaux dans un système imageur type 4f ou interférentiel type Mach-Zehnder.

Trois séances de TP sont réalisées autour de système d'imagerie de pointe tels que l'IRM, la microscopie électronique et AFM/STM.

### Compétences

Degré de cohérence. Simulation numérique de la fonction de transfert dans un microscope sous éclairage de Kohler (cas des transformations linéaire et bilinéaire). Images microscopiques d'objets rectangulaires.

UE9

## VISIONNIQUE, ACQUISITION ET VISUALISATION DES IMAGES

*Computer vision*

Responsable **Vincent Boucher**

### Pré-requis

*Notions et contenus*

La vision industrielle

Eclairages

Optique - prise de vue

Caméra CCD / CMOS

Calibration de caméra

*Compétences*

- Connaître les acteurs et le marché
- Connaître et savoir choisir une tech-



nique d'éclairage

– Savoir dimensionner un système optique

– Connaître leurs caractéristiques et fonctionnement

– Calibration géométrique et photométrique

### Contenus

Vision industrielle, vision par ordinateur, éclairage, systèmes optiques, capteur, caméra, image.

### Compétences

Savoir définir et dimensionner un système de vision en fonction d'un besoin exprimé.

UE10

## TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES

*Numerical image processing*

Responsable [Etienne Belin](#)

### Pré-requis

*Notions et contenus*

Éléments de base de M1 notamment en :

– traitement du signal M1  
– approche et représentation fréquentielle

– mathématiques : dérivation et intégration des fonctions usuelles, nombres complexes, fonctions trigonométriques.

– programmation informatique et calcul numérique.

*Compétences*

– Capacité au raisonnement scientifique suivi.

– Capacité à mobiliser des notions mathématiques pour les appliquer sur des situations concrètes concernant le traitement d'images.

– Capacité à mettre en œuvre de façon numérique des méthodologies d'étude et de résolution.

### Contenus

1 - Images numériques – Généralités - Constitution, formats, structure d'une

chaîne de traitement d'images.

2 - Caractérisation des images numériques - Intensités, histogramme, profils, Transformation de Fourier, transformation en cosinus.

3 - Prétraitement des images - Table de conversion des intensités, transformation d'histogramme, égalisation - Filtrage linéaire, convolution - Filtrage non linéaire, filtre médian - Opérateurs morphologiques, dilatation, érosion, squelettisation.

4 - Segmentation des images - Segmentation par les contours, gradient, laplacien - Contours actifs. Transformée de Hough - Segmentation en régions homogènes, caractérisation des textures.

5 - Les images couleurs - Synthèses additives et soustractives - Principaux espaces couleurs.

6 - Analyse d'images - Reconnaissance de formes - Attributs morphométriques - Analyse en composantes principales - Reconnaissance dans l'espace des attributs - Techniques neuromimétiques.

7 - Compression des images - Mesures : entropie, redondance, taux de compression, écart quadratique, PSNR - Compression sans pertes, avec pertes - Codage différentiel, codage prédictif - Quantification vectorielle - Codage par transformation : DCT, ondelettes.

Un TP permet de mettre en œuvre des traitements de base principalement sur la filtrage, la segmentation et la reconnaissance de formes.

Mots-clés : image numérique, filtrage, segmentation, reconnaissance de formes, compression

### Compétences

Consolidation et prise de recul sur les bases dans un cadre élargi.

Prolongements par l'acquisition de notions plus avancées du traitement numérique des images.



**IMAGERIE COMPUTATIONNELLE***Computational imaging*Responsable **David Rousseau****Pré-requis***Notions et contenus*

Optique de Fourier, Théorie de l'information, Traitement des images, Visionique.

*Compétences*

- Être capable de manipuler des images dans le domaine spatial et spectral, être capable de mettre en oeuvre des métriques à base d'entropie, être capable de réaliser des traitements de base des images,
- Connaître les principales méthodes d'éclairage et leur impact sur le contraste dans les images.

**Contenus**

Il s'agit de prendre en compte les évolutions de l'imagerie qui est de plus en plus couplée au traitement de façon conjointe de telle façon que la formation de l'image inclut également le traitement et la correction des défauts.

Le module abordera les systèmes d'imagerie computationnelle les plus courants : Tomographie, Spectro-imagerie, Imagerie epsilon, Apprentissage comprimé. Les principes de ces imageries ainsi que leur mise en oeuvre à la fois matérielle et logicielle seront proposés. Des approches de traitement de l'information pilotée par le modèle physique ou par les données (apprentissage machine) seront abordées. Une initiation aux réseaux de neurone profond (deep learning) est proposée.

Le travail est abordé sous la forme d'études de cas bibliographiques et de mise en oeuvre logiciel qui servent pour l'évaluation.

**Compétences**

Être capable de mettre en oeuvre numériquement les méthodes de base d'imageries computationnelles.

**Support**

— Site youtube pour la partie apprentissage machine :

[https://www.youtube.com/](https://www.youtube.com/watch?v=RzN5RVSwr-)

[watch?v=RzN5RVSwr-](https://www.youtube.com/watch?v=RzN5RVSwr-)

[Rw&list=PLUukCwr0iCef9M7WUOx9\\_bJYJpvmXek6F](https://www.youtube.com/watch?v=RzN5RVSwr-Rw&list=PLUukCwr0iCef9M7WUOx9_bJYJpvmXek6F)



# INFORMATIQUE

UE12

## PHYSIQUE NUMÉRIQUE AVANCÉE *C/C++ programming and software*

Responsable **Victor Teboul**

### Pré-requis

*Notions et contenus*

Physique et Informatique de la licence et du Master 1. Connaissances de la programmation en C du Master 1 Optique anisotrope (Master 1)

Bases de l'optique non linéaire (Master 1)

*Compétences*

Connaître un langage de programmation, et avoir de bonnes bases en programmation C ou C++.

### Contenus

Programmation avancée en langage C/C++ ;

Ce cours est la continuation du cours de physique numérique du M1 qu'il poursuit de manière plus approfondie, à la fois en programmation et avec des applications tournées vers la physique. Le cours se termine par un projet en petits groupes.

### Compétences

Le but de ce cours est de permettre aux étudiants d'atteindre un niveau avancé dans la programmation en langage C, appliquée à la résolution numérique de problèmes de physique, et de faire le lien avec la programmation orientée objet en C++.

### Bibliographie

— *Programmer en langage C++*, Claude Delannoy, Eyrolles

UE13

## INFOGRAPHIE, SYNTHÈSE D'IMAGES, RÉALITÉS VIRTUELLES *Infography & virtual reality*

Responsable **Paul Richard**

### Pré-requis

*Notions et contenus*

Bases de programmation.

*Compétences*

Connaître un langage de programmation, et avoir des bases en programmation.

### Contenus

Infographie, interface homme-machine, réalité virtuelle

### Compétences

Développement d'applications logicielles, infographie temps réel, réalité virtuelle



## COMPÉTENCES TRANSVERSALES

UE14

### CRÉATION D'ENTREPRISES, DROIT DES ENTREPRISES

*Industrial propreties*

Responsable **Etienne Belin**

#### Contenus

Cet enseignement vise à présenter par l'intermédiaire de interventions d'anciens diplômés du Master des montages d'entreprises et des actions d'entreprenariat dans des secteurs de pointe comme la photonique ou l'intelligence artificielle.

UE15

### FIABILITÉ, GESTION DE PROJETS, SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

*Fiability, project management and operating*

Responsables **Mihaëla Barreau | Cécile Gremy-Gros**

#### Contenus

Ces enseignements visent à transmettre des compétences extra-scientifiques, très utiles dans le milieu professionnel et industriel, avec une orientation particulière sur les aspects gestion organisationnelle et méthodes de fiabilité prévisionnelle. Il s'agit de sensibiliser les étudiants, positionnés sur un secteur technologique très évolutif et riche de larges potentialités de développement, aux démarches d'innovation, valorisation, création d'entreprise.

UE16

### QUALITÉ, CONCEPTION DE PRODUITS, INNOVATION

*Quality, product and innovation*

Responsables **Samad Kobi | Henri Samier**

#### Contenus

Ces enseignements visent à transmettre des compétences extra-scientifiques, très utiles dans le milieu professionnel et industriel, avec une orientation particulière sur les aspects innovation, qualité et création d'entreprise ou de valeur. Il s'agit de sensibiliser les étudiants, positionnés sur un secteur technologique très évolutif et riche de larges potentialités de développement, aux démarches d'innovation, valorisation, création d'entreprise.



## SEMESTRE 4

UE7

### STAGE OU ALTERNANCE

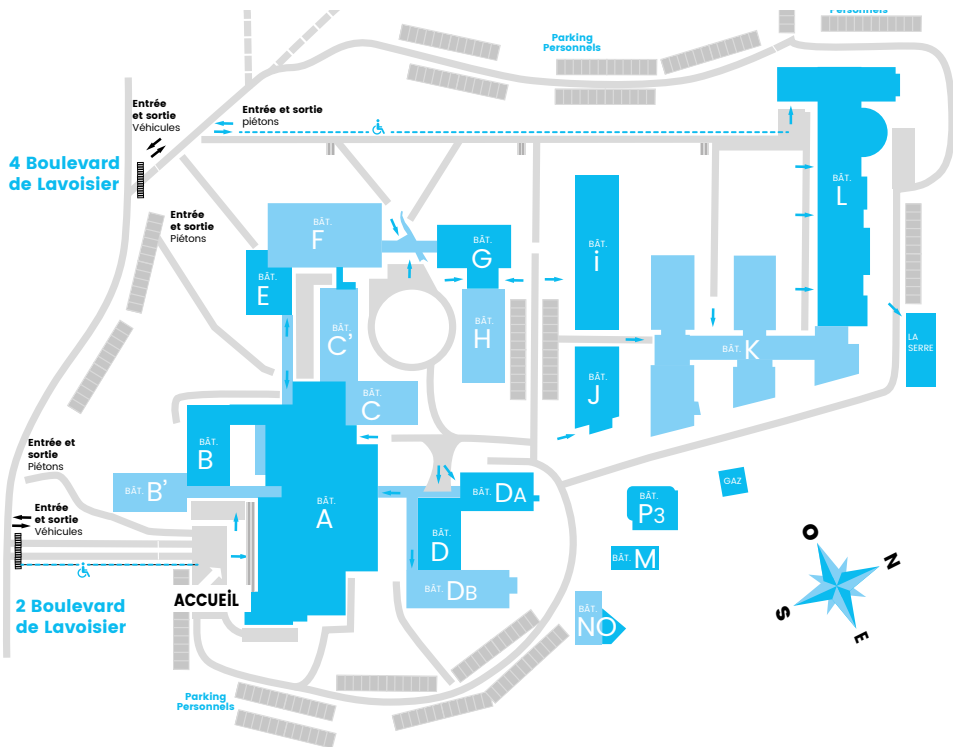
*internship or work-study*

#### **Contenus**

Stage de 4 à 6 mois en entreprise ou  
alternance sur l'année







- A** Administration | Scolarité | Enseignement (Amphi A à E)
- B** Biologie végétale | Physiologie végétale | Travaux pratiques biologie
- B'** Travaux pratiques biologie
- C** Travaux pratiques chimie
- C'** Département de Géologie | Recherche environnement (LETG -LEESA) | Recherche géologie (LPGN-BI&F)
- D** Travaux pratiques physique
- Da** Enseignement | Travaux pratiques physique
- Db** Département de Physique | Recherche physique (LPHIA)
- E** Travaux pratiques biologie
- F** Département de Biologie | Recherche neurophysiologie (SIFCIR) | Travaux pratiques biologie, géologie
- GH** Département informatique | Recherche informatique (LERIA) | Travaux pratiques géologie
- i** Département Mathématiques | Recherche Mathématiques (LAREMA)
- J** Chimie enseignement | Travaux pratiques
- K** Département de Chimie | Recherche Chimie (MOLTECH Anjou)
- L** Espace multimédia | Enseignement (Amphi L001 à L006) | Salle d'examen rez-de-jardin

Impression Service Reprographie UA

**Ua**  
**FACULTÉ  
 DES SCIENCES**  
 UNIVERSITÉ D'ANGERS

2, Boulevard Lavoisier  
 49045 ANGERS CEDEX 01  
 T.0241735353  
 www.univ-angers.fr



**LE TRI**  
+ **FACILE**