

# Master 1

Sciences, Technologies, Santé

2025-2026

*Physique appliquée et ingénierie physique*

## Photonique Signal imagerie



M1 PSI



---

# SOMMAIRE

# CONTENUS

**03**

Contacts de la formation

**04**

Calendrier

**05**

Présentation de la formation

**07**

Volumes horaires et évaluations

**09**

Contenu des enseignements  
Semestre 1

**16**

Contenu des enseignements  
Semestre 2

Sommaire interactif  
pour revenir au sommaire  
cliquer sur 



---

# CONTACTS

Hélène TRICOÏRE-LEIGNEL : *Directrice adjointe à la Pédagogie*  
[helene.tricoire-leignel@univ-angers.fr](mailto:helene.tricoire-leignel@univ-angers.fr)

Stéphane CHAUSSEMENT : *Responsable pédagogique et Président du Jury*  
Tél. : 02 41 73 54 29  
[stephane.chaussement@univ-angers.fr](mailto:stephane.chaussement@univ-angers.fr)

Camille Parant : *Gestion de la scolarité et des examens*  
Tél. : 02 41 73 53 57  
[camille.parant@univ-angers.fr](mailto:camille.parant@univ-angers.fr)

## Scolarité - Examens

Bâtiment A, Rez-de-chaussée

Horaires

8h30 > 12h30

13h30 > 16h30

Du lundi au vendredi

Fermé le mercredi après-midi



## Semestre 1

Rentrée et début des cours		Lundi 08 septembre 2025
Contrôles continus n°1		Du lundi 20 octobre 2025 au vendredi 24 octobre 2025
<i>Vacances d'automne</i>		<i>Du samedi 25 octobre 2025 au dimanche 02 novembre 2025</i>
Fin des cours du semestre 1		Vendredi 12 décembre 2025
Contrôles continus n°2		Du lundi 15 décembre 2025 au vendredi 19 décembre 2025
<i>Vacances de fin d'année</i>		<i>Samedi 20 décembre 2025 au dimanche 04 janvier 2026</i>
Jury Semestre 1 - Session 1		Jeudi 08 janvier 2026

## Semestre 2

Début des cours		Lundi 05 janvier 2026
Contrôles continus n°1		Du lundi 16 février 2026 au vendredi 20 février 2026
<i>Vacances d'hiver</i>		<i>Du samedi 21 février 2026 au dimanche 01 mars 2026</i>
Fin des cours semestre 2		Vendredi 27 mars 2026
Contrôles continus n°2		Du lundi 30 mars 2026 au vendredi 03 avril 2026
Stage		Du mardi 07 avril 2026 au vendredi 12 juin 2026
<i>Vacances de printemps</i>		<i>Du samedi 18 avril 2026 au dimanche 26 avril 2026</i>
Remise de rapport de stage		Vendredi 12 juin 2026
Soutenance de Stage		Mercredi 17 juin 2026
Jury Semestre 2 - Session 1		Jeudi 18 juin 2026
Examens Semestre 1 - Session 2		Du mardi 25 août 2026 au lundi 31 août 2026
Examens Semestre 2 - Session 2		Du mardi 25 août 2026 au lundi 31 août 2026
Jurys Semestre 1 et Semestre 2 - Session 2		Vendredi 04 septembre 2026

Calendrier susceptible de modifications



# PRÉSENTATION DE LA FORMATION

## Objectifs

Le Master de Physique appliquée et Ingénierie physique est une formation co-accréditée par les universités d'Angers et du Maine. Il propose une solide formation en Physique, en forte interaction avec les activités de recherche des laboratoires des deux sites. Aussi, après une première année pendant laquelle l'étudiant.e acquiert un large socle de compétences communes en physique fondamentale et appliquée ( $\approx 75\%$  de tronc commun), le choix d'une spécialisation est offert en deuxième année à travers les 2 parcours suivants :

– le parcours **Photonique, Signal, Imagerie** (PSi – site d'Angers) forme des diplômés aux compétences larges et complémentaires couvrant les sciences de l'information et la photonique (ensemble de la chaîne informationnelle en optique, du capteur au traitement du signal et de l'image) ;

– le parcours **Nanophysique et Optique Avancée** (NOA – site du Mans) assure des compétences théoriques et expérimentales en Physique des matériaux aux échelles nanométriques et mésoscopiques, leurs propriétés structurales et fonctionnalités (électroniques, optiques, magnétiques) ; il est par ailleurs dédié aux propriétés optiques avancées des matériaux dont l'ingénierie optique des matériaux, micro-nanostructures, fonctionnalités optiques et méthodes optiques ultra-rapides

## 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.

Les parcours proposés en M2 permettent 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 recherche liés aux nanotechnologies et aux matériaux fonctionnels (parcours PNANO), aux méthodes optiques innovantes appliquées à l'étude de matériaux (parcours OAM), **ou dans les domaines de R&D liés à la photonique, l'optoélectronique, le traitement du signal et des images (parcours PSi).**

## Insertion professionnelle

Le parcours PSi offre des débouchés clairement identifiés aussi bien dans l'industrie que dans les services, la R&D et la recherche académique. Ainsi, ce parcours peut conduire à une poursuite d'étude en doctorat en même temps qu'il permet une insertion professionnelle sur des postes d'ingénieurs dans des secteurs allant des télécoms jusqu'à l'imagerie du végétal en passant par l'imagerie médicale et la visionique.

Les diplômés du parcours NOA intègrent des laboratoires de recherche universitaires ou des grands organismes de recherche (CEA, INRA, ESRF,...) pour des formations doctorales ou dans des groupes industriels pour des postes à responsabilités en ingénierie des matériaux et procédés. Ce parcours offre également des débouchés dans le milieu R&D industriel où la culture optique et matériaux est appréciée.



## Public visé

Les étudiants titulaires de licences mention « Physique » ou « Physique, Chimie ».

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

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.

## 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 d'au moins 2 mois en milieu professionnel ou universitaire est obligatoire au deuxième semestre sur un sujet obligatoirement en rapport avec les enseignements du Master 1. Ce stage peut se réaliser sur l'intervalle allant du 07 avril au 13 juin 2025. La soutenance orale est prévue le 18 juin 2025.

Le stage représente une part importante de l'année de M1 puisqu'il est validé par l'attribution de 5 crédits ECTS et la note obtenue est affectée d'un coefficient 6 pour le calcul de la note moyenne du second semestre. Cette note tient compte de la **qualité du travail réalisé** (évalué principalement par le responsable du stage), du **rapport écrit** (évalué par le rapporteur) et de la **soutenance orale** (évalué par le jury d'audition).

## Fonctionnement

Compte tenu de la structuration du Master, l'étudiant.e peut s'inscrire indifféremment en M1 dans l'une ou l'autre des deux universités (Angers ou le Mans) et envisager de suivre ensuite, en M2, l'un des deux parcours proposés (NOA au Mans ou PSI à Angers). En effet, même si le semestre 2 contient des enseignements qui préfigurent l'un ou l'autre des parcours de M2, le socle commun de compétences acquis en M1 est suffisamment important pour permettre toutes les passerelles possibles entre les deux sites. Inscrit.e en M1 à Angers, l'étudiant.e a tous ses cours sur le site d'Angers. La Charte des examens et les modalités de contrôle des connaissances sont celles adoptées par le CFVU de l'Université d'Angers (arrêté du 2 mai 2017). Les dispositions particulières sont les suivantes :

> en première session, l'évaluation des connaissances a lieu par contrôle continu intégral. Aucun étudiant.e ne pourra donc être dispensé.e d'assiduité (DA) ;

> en deuxième session, un examen écrit (ou une épreuve orale lorsque les effectifs ou des considérations pédagogiques le justifient) est organisé. En revanche, aucune épreuve de rattrapage n'est organisée pour les TP et le stage : la note acquise en première session sera automatiquement reportée pour le calcul de la moyenne de deuxième session.

# VOLUMES HORAIRES - ÉVALUATION

## SEMESTRE 1

30 ECTS

UE	Matières	Volumes horaires				ECTS	Coef.	Contrôle des connaissances			
		CM	TD	TP	Tot.			1 <sup>ère</sup> session		2 <sup>ème</sup> session	
								Examen	Durée	Examen	Durée
<b>Bloc 1 &gt; Physique fondamentale</b>											
1	Physique du solide : électrons et semi-conducteurs	9,3	9,3	9	27,6	3	3	CC-0,67 TP-0,33	-	CT-0,67 TP-0,33*	1h30
2	Mécanique quantique	9,3	9,3	0	18,6	3	2	CC	-	CT	1h30
3	Physique statistique	9,3	9,3	0	18,6	3	2	CC	-	CT	1h30
4	Propriété physique des matériaux et symétrie	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30
<b>Bloc 2 &gt; Optique</b>											
5	Optique ondulatoire	9,3	9,3	7	25,6	3	3	CC-0,67 TP-0,33	-	CT-0,67 TP-0,33*	1h30
6	Ondes et propagation guidée	9,3	9,3	7	25,6	3	3	CC-0,67 TP-0,33	-	CT-0,67 TP-0,33*	1h30
7	Optique anisotrope	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30
<b>Bloc 3 &gt; Physique appliquée et compétences transversales</b>											
8	Cristallographie et applications	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30
9	Traitement du signal I	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30
10	Mathématiques et méthodes numériques	18,7	9,3	18	46	5	5	CC-0,6 TP-0,4	-	CT-0,6 TP-0,4*	1h30
11	Anglais	0	0	18,7	18,7	2	2	CC	-	Oral	15mn
<b>Total</b>		102,4	93,0	59,7	255,1						

\* En session 2, report de note de TP  $\geq 0$

! Pas de DA



**Conditions de validation  
du semestre 1**

Admis-e si moyenne des UE  $\geq 10$ .

CT = Contrôle Terminal

P = Validation en Présentiel

CC = Contrôle Continu

DA = Dispensé d'Assiduité



## SEMESTRE 2

## 30 ECTS

UE	Matières	Volumes horaires				ECTS	Coeff.	Contrôle des connaissances				
		CM	TD	TP	Tot.			1 <sup>ère</sup> session		2 <sup>ème</sup> session		
								Examen	Durée	Examen	Durée	
<b>Bloc 4 &gt; Optique appliquée</b>												
1	Méthodes spectroscopiques	18,7	9,3	0	28	3	3	CC	-	CT	1h30	
2	Optique instrumentale	9,3	9,3	9	27,6	3	3	CC-0,67 TP-0,33	-	CT-0,67 TP-0,33*	1h30	
3	Introduction à l'optique non linéaire	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30	
4	Optoélectronique	18,7	9,3	9	37	3	4	CC-0,75 TP-0,25	-	CT-0,75 TP-0,25*	1h30	
<b>Bloc 5 &gt; Signal et compétences numériques</b>												
5	Visualisation et acquisition de données	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30	
6	Traitement du signal 2	9,3	9,3	15	33,6	3	3	CC-0,5 TP-0,5	-	CT-0,5 TP-0,5*	1h30	
7	Physique numérique	9,3	9,3	0	18,6	2	2	CC	-	CT	1h30	
8	Électronique numérique	9,3	9,3	15	33,6	3	3	CC-0,5 TP-0,5	-	CT-0,5 TP-0,5*	1h30	
<b>Bloc 6 &gt; Compétences transversales</b>												
9	Anglais scientifique	0	18,7	0	18,7	2	2	CC	-	Oral	15mn	
10	Préparation à l'insertion professionnelle	0	10	0	10	2	0	P	-	P	-	
11	Stage	0	3	0	3	5	6	CC	-	*	-	
<b>Total</b>		93,2	103,1	48,0	247,3							

<b>Total année</b>	<b>195,6</b>	<b>199,1</b>	<b>107,7</b>	<b>502,4</b>
--------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

\* En session 2, report de note de TP >=0

! Pas de DA

✓ **Conditions de validation du semestre 2** Admis-e si moyenne des UE >=10 et si l'UE S2-UE10 est validée.

👍 **Conditions de validation de l'année** Admis-e si la moyenne des 2 semestres est supérieure ou égale à 10,00 et si l'UE S2-UE10 est validée. La moyenne de l'année est (Semestre 1 + Semestre 2) / 2.

CT = Contrôle Terminal  
CC = Contrôle Continu

P = Validation en Présentiel  
DA = Dispensé d'Assiduité



# CONTENU DES ENSEIGNEMENTS

## SEMESTRE 1

### UE OBLIGATOIRES

UE1

#### PHYSIQUE DU SOLIDE : ÉLECTRONS ET SEMI-CONDUCTEURS

*Solid-state physics: electron and semiconductors*

Responsable **Mihaela Girtan**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Électrocinétique, Électronique, Mécanique quantique.

*Compétences*

Niveau avancé en mathématiques (algèbre et analyse). Savoir résoudre des intégrales complexes. Connaître la signification de l'équation de Schrödinger et sa résolution pour un puit de potentiel 1D.

#### CONTENUS

États électroniques dans les solides. Structure de bande d'énergie. Méthodes de calcul de la structure de bandes d'énergie. Modèle de Kroning-Penney. Niveaux d'impuretés, états de surface. Niveau Fermi. Calculs des concentrations de porteurs de charge, les notions de mobilité des porteurs, masse effective, états localisés, temps de relaxation. Phénomènes de transport dans les matériaux semi-conducteurs. Coefficients de transport. Hétérostructures. Effets quantiques dans les hétérostructures. Puits de potentiels 1D, 2D et 3D. Interaction photon – électron. Transitions électroniques. Absorption. Génération et recombinaison des porteurs de charge. Etudes expérimentales de structure de bande par méthodes optiques. Nanotechnologies. Procédés de fabrication des dispositifs semi-conducteurs.

#### COMPÉTENCES

- Connaître les notions de défauts et impuretés dans un matériau semi-conducteur cristallin.
- Savoir expliquer la formation des bandes

d'énergie dans un semi-conducteur. Ecrire l'équation de Schrödinger dans l'approximation adiabatique, l'approximation uni-électronique, l'approximation des électrons libres, l'approximation des électrons faiblement liés, l'approximation des électrons fortement liés, le modèle de Kroning-Penney.

– Connaître la classification des solides (isolants, semi-conducteurs, métaux) selon l'occupation des bandes d'énergie.

– Savoir exprimer le Hamiltonien et l'expression de l'énergie dans les différentes approximations.

– Comprendre la formation des niveaux d'impureté dans les semi-conducteurs dopé n et p. Comprendre le positionnement du niveau Fermi, la formation des jonctions et des hétérojonctions.

– Savoir expliquer la courbure des bandes d'énergie. Savoir résoudre l'équation de Schrödinger à une dimension pour un puit de potentiel rectangulaire et triangulaire.

– Comprendre le fonctionnement d'un transistor de type FET.

– Savoir calculer la position du niveau Fermi et du potentiel chimique dans différentes situations et ou approximations.

– Savoir déduire l'expression de la densité de courant.

– Savoir calculer différents coefficients de transport tels que la conductivité électrique, le coefficient Hall, le coefficient Seebeck.

– Comprendre l'interaction photon électron dans un semi-conducteur.



N. W. Ascroft, N.D.Mermin,  
Physique des solides, 2002.

Henry Mathieu, Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, 1997.

M.Brousseau, Physique du solide – propriétés électroniques, 1992.

C. Kittel, Physique de l'état solide, 1998.

L.L. Kazmerski Polycrystalline and Amorphous Thin Films and devices, 1980.

– C. Hamann, H. Burghardt, T. Frauenheim,



Electrical conduction mechanism in solids, 1988.

S. Mittura, Nanotechnology in Materials Science, Elsevier 2000.

## UE2

### MÉCANIQUE QUANTIQUE

*Quantum mechanics*

Responsable **Michel Chrysos**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Cours de base de mécanique quantique (L3 PA S5, S6). Cours de base d'électromagnétisme (L2, L3).

*Compétences*

Notions de physique théorique.

Bases en mathématiques appliquées (L3 PA S5, S6).

#### CONTENUS

Partant des fondements de la mécanique quantique, l'objectif est de donner l'essentiel du formalisme nécessaire à son développement ainsi que des phénomènes quantiques fondamentaux. A partir des groupes de rotation, nous étudierons le concept de moment cinétique et son algèbre. S'ensuivra un traitement exhaustif de l'atome d'hydrogène (séries de Frobenius, troncature et quantification, fonctions de Laguerre et de Legendre, harmoniques sphériques, ...) ainsi que du concept d'orbitale atomique (OA). Un traitement complet de la partie angulaire réelle et de la partie radiale d'une OA ainsi que la résolution d'équations différentielles à coefficients non-constants liées à ce traitement seront de mise.

#### COMPÉTENCES

— Acquérir la connaissance de concepts abstraits destinés à la résolution de problèmes spécifiques de physique ou de physicochimie. Avoir la technicité nécessaire pour comprendre ou prévoir le comportement de processus physiques simples impliquant des particules microscopiques et leurs interactions.

— Savoir manier l'algèbre du moment cinétique et les groupes de rotation, savoir résoudre l'équation de Schrödinger à coefficients non-constants ; savoir utiliser les opérateurs d'échelle, construire des harmoniques sphériques et des orbitales atomiques, et prévoir la géométrie et la nature des liaisons impliquées dans des systèmes moléculaires simples. Savoir classer, par ordre d'énergie, un état atomique selon la nomenclature en vigueur pour les termes spectraux dans un atome à plusieurs électrons.

## UE3

### PHYSIQUE STATISTIQUE

*Statistical physics*

Responsable **Victor Teboul**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Connaître les bases de la thermodynamique et surtout la physique statistique classique enseignée au L3.

*Compétences*

Bases en physique et en mathématiques. Calculs d'intégrales et différentiels.

#### CONTENUS

Après un bref rappel sur la physique statistique classique et la distribution de Boltzmann étudiée en L3 nous étudierons la physique statistique quantique (Bosons et Fermions) puis les transitions de phases. Détail des chapitres abordés :

Physique statistique quantique. Fermions et Bosons. Distributions de Fermi-Dirac et de Bose-Einstein. Energie de Fermi. Densité d'états. Modèle du gaz d'électrons. Condensation de Bose Einstein.

Transitions de phases. Modèle d'ising à 1D et 2D. Approximation du champ moyen. Approximation de Bethe. Théorie du groupe de renormalisation.

#### COMPÉTENCES

A la fin du cours l'étudiant devra savoir appliquer la physique statistique à des problèmes physiques concrets, comprendre



les différences entre la physique statistique quantique et classique.



Physique statistique-Introduction, C. Ngo et H. Ngo, Dunod.  
Physique statistique, N. Sator, N. Pavloff, Vuibert.

Statistical Mechanics, R.K. Pathria, P.D. Beale, Academic Press.

Statistical and thermal physics, H. Gould, J. Tobochnik, Princeton University Press.

Fundamentals of statistical and thermal physics, F. Reif, Waveland Press.

Introduction to modern statistical mechanics, D. Chandler, Oxford University Press.

#### UE4

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MATÉRIAUX ET SYMÉTRIE

*Physical properties of materials and symmetry*

Responsable **Stéphane Chaussedent**

#### PRÉREQUIS

##### Notions et contenus

Notions d'algèbre linéaire (niveau L2), mécanique des milieux continus (niveau L3), optique (niveau L3), électromagnétisme (niveau L2).

##### Compétences

- Maîtriser le calcul matriciel de base.
- Être capable de formuler les relations entre les principales grandeurs physiques et les propriétés de la matière, dans les domaines de la mécanique, de l'optique et de l'électromagnétisme.

#### CONTENUS

Notions d'algèbre tensorielle (changement de base, tenseur métrique, produit tensoriel, contraction sur un tenseur, dérivation d'un tenseur...) ; Contraintes et déformations d'un solide anisotrope (tenseur des déformations, tenseur des contraintes, loi de Hooke, tenseurs d'élasticité et de rigidité) ; Opérations de symétrie et application aux tenseurs (principe de Neumann, méthode utilisant la matrice de passage, méthode d'inspection directe) ; Applications

(effets piézoélectriques, électro-optiques, élasto-optiques...).

#### COMPÉTENCES

- Connaître les principales opérations de symétrie.
- Être capable de formuler une grandeur physique par un tenseur.
- Maîtriser le formalisme (base de l'algèbre tensorielle) capable de décrire les propriétés physiques de la matière en lien avec la symétrie du milieu.
- Savoir réduire le nombre de coefficients indépendants d'un tenseur par application des opérations de symétrie (méthode utilisant la matrice de passage et méthode d'inspection directe).
- Savoir utiliser le lien symétrie-propriétés physiques pour expliquer des effets physiques remarquables (à l'origine d'un grand nombre d'applications) : effets piézoélectriques, électro-optiques, photo-élastiques...



Symétrie et propriétés physiques des cristaux, par C. Malgrange et al., Ed. EDP Sciences.

Introduction au calcul tensoriel, applications à la physique, par C. Semay et al., Ed. Dunod.

Le calcul tensoriel en physique, par J. Hladik, Ed. Masson.

#### UE5

### OPTIQUE ONDULATOIRE

*Wave optics*

Responsables **François Sanchez,**  
**Mohamed Sahli**

#### PRÉREQUIS

##### Notions et contenus

Notions d'interférences et de superposition de signaux sinusoïdaux. Transformée de Fourier. Calcul différentiel et intégral.

##### Compétences

- Savoir établir les caractéristiques du signal résultant de la superposition de deux signaux. Notion d'onde plane et sphérique.
- Savoir calculer des transformées de



Fourier pour les fonctions usuelles. Être capable de mettre en œuvre la transformée de Fourier pour la résolution d'équations aux dérivées partielles.

### CONTENUS

Introduction aux phénomènes d'interférences, notion de cohérence. Interférences à deux ondes : cas de Michelson, exemple du gyroscope à fibre. Interférences à ondes multiples : cas particulier du Fabry-Pérot. Diffraction à l'infini. Diffraction en champ proche, exemple de la lentille de Soret. Théorie électromagnétique de la diffraction.

### COMPÉTENCES

L'objectif du cours est de donner les bases de la diffraction en champ lointain et en champ proche. Le lien avec l'électromagnétisme est également réalisé afin que l'étudiant puisse avoir une vue unifiée de l'optique et de l'électromagnétisme. À l'issue du cours, l'étudiant doit être capable d'identifier dans un montage optique la nature d'un problème lié à la diffraction. Il doit être capable de modéliser des problèmes simples que ce soit en champ lointain ou en champ proche.



A. Ghatak & K. Thyagarajan,  
Optical Electronics, Cambridge  
University Press

### UE6

## ONDES ET PROPAGATION GUIDÉE

*Waves and guided waves*

Responsables **Hervé Leblond, Mohamed Sahli**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Théorie électromagnétique et équations de Maxwell dans les milieux.  
Électrocinétique.

*Compétences*

Une bonne maîtrise des techniques de calcul élémentaires est souhaitable.

### CONTENUS

Propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux matériels, réflexion métallique, coefficients de Fresnel.

Guidage sur câble coaxial (ajustement d'impédance, taux d'ondes stationnaires, ...). Guide d'ondes radiofréquences rectangulaire : calcul des modes de propagation, fréquence de coupure.

Guide radiofréquence cylindrique. Guides acoustiques.

Guide diélectrique plan symétrique et dissymétrique : calcul des modes, études de la relation de dispersion modale, projection d'une onde incidente sur les modes.

### COMPÉTENCES

Connaître les principales structures de guides d'ondes. Apprendre à maîtriser le formalisme lié à la description d'un guide d'ondes électromagnétiques, en particulier le calcul des modes guidés.

### UE7

## OPTIQUE ANISOTROPE

*Anisotropic optics*

Responsable **François Sanchez**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu matériel isotrope. Algèbre matricielle. Calcul différentiel et intégral.

*Compétences*

– Savoir établir l'équation de propagation à partir des équations de Maxwell dans un milieu matériel isotrope dans le cas scalaire. Notion d'onde plane et sphérique.

– Savoir trouver une relation de dispersion.  
– Connaître les grandeurs énergétiques et être capable de calculer des flux de puissance électromagnétique.

### CONTENUS

Rappels d'électromagnétisme. Polarisation de la lumière et ses représentations. Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu linéaire, anisotrope et



homogène. Formalisme de Jones et ses applications.

### COMPÉTENCES

L'objectif du cours est de donner les bases de la propagation dans un milieu anisotrope et de comprendre le fonctionnement de composants optiques simples. A l'issu du cours, l'étudiant doit être capable de comprendre et de modéliser le fonctionnement des systèmes optiques usuels basés sur l'utilisation de lames de phase anisotropes.



A. Yariv and P. Yeh, Optical waves in crystals, Ed . Wiley.

A. Ghatak and K. Thyagarajan, Optical Electronics, Cambridge University Press.

F. Sanchez, Optique non linéaire, Ed. Ellipses 2020.

### UE8

## CRISTALLOGRAPHIE ET APPLICATIONS

*Crystallography and applications*

Responsable **Charles Ciret**

### CONTENUS

- 1 Introduction : l'état cristallin.
- 2 Symétrie de translation, d'orientation et de position.
- 3 Réseaux directs et réciproques.
- 4 Opérations de symétrie.
- 5 Groupes ponctuels et systèmes cristallins.
- 6 Rayons X et diffraction cristalline.
- 7 Applications : modes de réseaux et extinctions ; étude de structures réelles sur poudre. Construction d'Ewald et méthode de Laue ; diffraction sur monocristal.

### COMPÉTENCES

L'objectif de cet enseignement est de déterminer les éléments de base de la cristallographie et d'en donner de premiers exemples d'utilisation.

Maîtrise des outils mathématiques de la cristallographie, et notamment du concept de groupe.

Maîtrise de la diffraction X par les cristaux.



Cristallographie géométrique et radiocristallographie de J.-J. Rousseau.

### UE9

## TRAITEMENT DU SIGNAL I

*Signal processing, part 1*

Responsable **Pejman Rasti**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

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

*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.

### CONTENUS

Descriptif : Cet enseignement met en place les bases du traitement du signal, principalement sur les signaux déterministes à temps continu. Il présente les outils mathématiques de base et leurs applications, avec des illustrations dans des secteurs variés comme l'électronique, l'optique, la mécanique, etc. On traite notamment :

- > Représentations temporelle et fréquentielle ; analyse de Fourier ; distributions.
- > Fonctions de corrélation temporelles, densités spectrales d'énergie et de puissance.
- > Interactions des signaux avec les systèmes linéaires : convolution, réponse impulsionnelle, transmittance fréquentielle ; filtrage, déconvolution, identification.

Mots clés :

Signal déterministe, Traitement fréquentiel, Filtrage, Convolution, Corrélation temporelle.

### COMPÉTENCES

— Savoir raisonner et exploiter des notions de base en traitement du signal. En particulier savoir raisonner et exploiter la représentation



et le traitement fréquentiels pour les signaux et les systèmes, et pour la physique.

– Il s'agit d'acquérir des bases du traitement du signal, afin d'aboutir à une vision globale des principales approches et méthodologies.

## UE10

### MATHÉMATIQUES ET MÉTHODES NUMÉRIQUES

*Mathematics and numerical methods*

Responsable **Hervé Leblond**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Aucune notion préalable en informatique, programmation, ou analyse numérique n'est requise

On s'appuiera sur les notions de base vues en L1 - L2, notamment intégration, fonctions usuelles, algèbre linéaire.

*Compétences*

Les méthodes de calcul usuelles doivent être maîtrisées dans les cas simples, par exemple :

- Trouver les vecteurs propres et valeurs propres d'une matrice  $2 \times 2$ .
- Décomposer en éléments simples une fraction rationnelle dont les degrés des numérateurs et dénominateurs ne dépassent pas 2.
- Effectuer une intégration par parties.

#### CONTENUS

Résolution des systèmes différentiels linéaires avec et sans second membre. Applications de la transformée de Laplace à la résolution de systèmes différentiels et d'équations intégrales. Résolution de l'équation aux valeurs propres du Laplacien à l'aide des fonctions de Bessel. Notion de distribution.

Résolution numérique d'équations et de systèmes d'équations : méthodes du point fixe, de Newton, de la tangente. Méthodes de factorisation et méthodes itératives pour la résolution des systèmes linéaires.

Calcul d'intégrales, calcul de dérivées par différences finies. Transformée de Fourier discrète et applications à la dérivation

numérique.

Résolution numérique du problème de Cauchy pour des équations différentielles ordinaires : schémas d'Euler, Krank-Nicholson, Runge-Kutta. Problème à deux points : méthode de tir, différences finies.

Le cours aboutit à des exemples de résolution numérique d'équations aux dérivées partielles. Toutes les méthodes enseignées sont mises en œuvre sur machine par les étudiants.

#### COMPÉTENCES

Apprendre à maîtriser les techniques de résolution des modèles mathématiques utilisés en physique, en particulier les équations différentielles. Les méthodes analytiques sont étudiées, mais aussi les méthodes numériques.

## UE11

### ANGLAIS

*English language*

Responsable **Romain Laudier**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Approfondissement de l'anglais général / vulgarisation de l'anglais scientifique par l'étude de thèmes d'actualité (exploration spatiale / voitures électriques et à l'hydrogène / dernières données sur la crise environnementale...) + rédaction de lettres de motivation/CV en anglais

*Compétences*

Il est souhaitable que les étudiants maîtrisent au moins les bases de la langue anglaise, plus précisément qu'ils aient au minimum le niveau B1 du CECRL (dit « d'utilisateur indépendant »).

#### CONTENUS

Le cours d'anglais a d'abord pour objectif de permettre aux étudiants de continuer à travailler cinq des compétences traditionnelles en langue

– compréhension écrite et orale, expression écrite et orale, et interaction orale



- à travers des supports authentiques (articles, documentaires, documents audio et vidéo d'internet, graphiques...) et des activités variées (exercices de compréhension, d'expression écrite, jeux de rôle, débats, présentations orales...). Les étudiants sont également amenés à étoffer leur vocabulaire, à améliorer leur prononciation, et à revoir certains points de langue le cas échéant.

### **COMPÉTENCES**

On vise, pour la fin du Master 2, le niveau de compétence B2 du Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues (CECRL) qui est résumé comme suit : « Peut comprendre le contenu essentiel de sujets concrets ou abstraits dans un texte complexe, y compris une discussion technique dans sa spécialité. Peut communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance tel qu'une conversation avec un locuteur natif ne comporte de tension ni pour l'un ni pour l'autre. Peut s'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets, émettre un avis sur un sujet d'actualité et exposer les avantages et les inconvénients de différentes possibilités. »

# SEMESTRE 2

## UE OBLIGATOIRES

### UE1

#### MÉTHODES SPECTROSCOPIQUES

*Spectroscopic methods*

Responsables **Michel Chrysos, Florent Racht**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Optique géométrique et optique ondulatoire de Licence.

Cours de base de mécanique quantique (MI PSI semestre 1)

*Compétences*

Bases en physique théorique et en mathématiques appliquées (L3 PA S5, S6)

#### CONTENUS

Sur le plan théorique, les principales spectroscopies pratiquées en physicochimie des matériaux seront étudiées. Des outils avancés de mécanique quantique (opérateurs de création-annihilation, méthodes de perturbations, oscillateur de Morse, ...) seront utilisés et des spectres de rotation et de vibration, en absorption ou émission IR ou en diffusion Raman, seront analysés pour des molécules diatomiques simples. Le fonctionnement de la spectroscopie RMN sera également parcouru. Sur le plan technique, les concepts de fonction d'appareil, de résolution et de luminosité seront étudiés, avec application aux instruments à fentes tel le réseau et aux spectroscopes à ondes multiples tel l'interféromètre de Fabry-Pérot.

#### COMPÉTENCES

— Pouvoir comprendre le fonctionnement d'un capteur de rayonnement électromagnétique ainsi que du processus physique sous-jacent qui est activé. Savoir manier les différents concepts liés aux différents domaines du spectre électromagnétique et lire, voire interpréter, des spectres aussi variés que les spectres d'absorption ou d'émission infrarouge par des molécules, les spectres

Raman, ou encore des spectres RMN, en fonction de la fréquence ou du déplacement chimique.

— Savoir établir la capacité de détection d'un spectroscope et comparer les performances de différents instruments, tout particulièrement en termes de résolution.

### UE2

#### OPTIQUE INSTRUMENTALE

*Instrumental optics*

Responsables **Denis Gindre, Cyril Mauclair**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Optique géométrique niveau L1. Optique ondulatoire niveau L2. Optique de Fourier niveau L3.

*Compétences*

Tracé de rayons. Relation de conjugaison. Systèmes optiques centrés. Notion sur la résolution.

#### CONTENUS

Ce cours d'optique comprend trois parties : Etude des systèmes centrés, éléments cardinaux, association de systèmes centrés. Etude de doublets, diaphragmes de champ et d'ouverture, lucarnes et pupilles, champ de pleine lumière et champ de contour, profondeur de champ.

Les aberrations des systèmes optiques : géométriques et chromatiques. Correction des aberrations chromatique, doublets achromat. Propagation en milieux inhomogènes, gradients d'indice, équation eikonale.

Etude des principaux instruments d'optique Travaux pratiques : Spectroscopes à prisme et à réseau (réalisation du dispositif sur table optique, calibration, étude du spectre de sources conventionnelles), spectroscopie par Transformée de Fourier, réalisation d'un microscope sur banc optique, caractérisation des aberrations.



## COMPÉTENCES

Dégager les lois physiques mises en jeu face à un instrument d'optique. Décrire le fonctionnement des différents instruments optiques courants (microscope, appareil photographique, télescope et lunette astronomique...). Calcul intégral littéral de figure de diffraction d'objets simples. Systèmes optiques centrés et association de systèmes de lentilles. Systèmes afocaux, grossissement. Diaphragmes, pupilles et champs. Estimation de la limite de résolution dans un système optique. Être capable de faire une recherche bibliographique ciblée : les étudiants devront choisir un sujet complémentaire traitant d'un instrument optique ou d'une technique d'imagerie optique qu'ils étudieront. Le travail réalisé sera présenté oralement aux autres étudiants.

### UE3

## INTRODUCTION À L'OPTIQUE NON LINÉAIRE

*Non-linear optics*

Responsable **Hervé Leblond**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Théorie électromagnétique et équations de Maxwell dans les milieux.

*Compétences*

Une bonne maîtrise des techniques de calcul élémentaires est souhaitable.

### CONTENUS

Comparaison optique linéaire et non linéaire. Origine d'une nonlinéarité optique, notion de polarisation des milieux de propagation. Approche tensorielle de la susceptibilité diélectrique non linéaire.

Non linéarités quadratiques : rectification optique, effet électro-optique, doublage de fréquence.

Étude de la génération de seconde harmonique : équation de propagation, hypothèse de l'enveloppe lentement variable, condition d'accord de phase, efficacité de conversion, quasi-accord de phase.

Non linéarités cubiques : effet Kerr, automodulation de phase, autofocalisation, auto-guidage, propagation soliton.

## COMPÉTENCES

Comprendre les effets optiques non linéaires du deuxième et du troisième ordre. Savoir déterminer les coefficients et paramètres associées à une interaction non linéaire (susceptibilité non linéaire, coefficient effectif, désaccord de phase, intensité générée). Application à la génération de seconde harmonique, la sommation et la différence de fréquences, la rectification optique, l'automodulation de phase, les solitons.

### UE4

## OPTOÉLECTRONIQUE

*Optoelectronics*

Responsables **François Sanchez, Florent Bessin**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Matrices de transfert en optique géométrique. Propagation d'une onde électromagnétique dans des milieux isotropes et anisotropes. Formalisme de Jones. Algèbre matricielle. Espaces préhilbertiens. Calcul différentiel et intégral. Notions sur les tenseurs.

*Compétences*

- Savoir étudier l'évolution de l'état de polarisation d'une onde à travers un système optique complexe.
- Savoir manipuler les équations de Maxwell et établir l'équation de propagation.
- Savoir résoudre un problème aux valeurs propres.
- Connaître l'espace des fonctions de carrés sommable

### CONTENUS

Modulation électro-optique. Modulation acousto-optique. Optique gaussienne.

## COMPÉTENCES

L'objectif du cours est de présenter aux



étudiants, d'une part, les phénomènes physiques utilisés pour faire de la modulation optique et d'autre part, une étude générale sur l'optique gaussienne. A l'issue du cours, l'étudiant doit être capable de choisir le bon modulateur pour une application donnée. Il doit être capable également de concevoir un dispositif simple de transformation d'un faisceau gaussien.

TP :

– Alignement d'une cavité laser He-Ne et caractérisation du laser (spectre, angle de divergence, polarisation, étude des modes de la cavité, mesure du waist et de la longueur de Rayleigh, étude du speckle).

– Étude d'un module électro-optique (étude de la réponse en polarisation et mise en évidence de l'effet Pockels, modulation analogique d'un signal lumineux pour le transport de l'information).

– Étude d'une cellule acousto-optique (étude de l'effet de la fréquence acoustique et de son intensité, mesure de la bande passante, modulation numérique d'un signal lumineux pour le transport de l'information).

– Étude d'une cellule acousto-optique (étude de l'effet de la fréquence acoustique et de son intensité, mesure de la bande passante, modulation numérique d'un signal lumineux pour le transport de l'information).



A. Yariv and P. Yeh, Optical waves in crystals, John Wiley & Sons.

A. Ghatak and K. Thyagarajan, Optical Electronics, Cambridge University

Press.

F. Sanchez, Optique non linéaire, Ed. Ellipses 2020.

A. Yariv, Optical Electronics, Saunders College Publishing.

A. Yariv, Quantum Electronics, John Wiley & Sons.

A.E. Siegman, Lasers, University Science Books.

O. Svelto, Principles of Lasers, Springer.

UE5

## VISUALISATION ET ACQUISITION DE DONNÉES

Visualization and Data acquisition

Responsable **David Rousseau**

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Semi-conducteur, électronique, optique géométrique, optique ondulatoire, physique numérique.

*Compétences*

Connaître les éléments de base d'une chaîne d'acquisition des données (capteur, convertisseur analogique numérique).

### CONTENUS

Le cours passe en revue les différents types de capteurs d'images et les différentes approches pour visualiser et manipuler des structures de données complexes (images 2D, 3D, imagerie multi-composantes, données spatio-temporelle, données arborescentes, ...). Les outils de base de caractérisation et d'analyse d'images sont introduits. Les bases de la théorie de la visualisation sont abordées.

Les concepts sont illustrés sur des études de cas d'analyse d'image 2D, 3D, 2D+temps, ...

### COMPÉTENCES

– Être capable de prétraiter, débruiter, normaliser des données complexes pour les visualiser, les caractériser avec des outils statistiques de base.

– Être capable de produire des graphiques scientifiques pour analyser des données complexes.



Chaîne youtube de l'enseignant

<https://www.youtube.com/watch?v=eb-k7WE6gqFc&list=PLUukCwr0iCed6EINpAOk-cuhGLluoZfgrS>

## TRAITEMENT DU SIGNAL 2

Signal processing, part 2

Responsable Étienne Belin

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Module Traitement du signal 1.  
Bases mathématiques : probabilités.  
Bases en programmation informatique.

*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.

### CONTENUS

Cet enseignement apporte des compléments de traitement du signal, principalement sur les signaux aléatoires et les signaux échantillonnés, et les applications associées.

– Signaux aléatoires, statistiques du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> ordre : densité de probabilité ; fonctions de corrélation statistiques et spectres de puissance ; bruits.

– Échantillonnage : théorème de Shannon, transformée de Fourier discrète.

– Filtres numériques linéaires : Analyse, synthèse.

Puis les TP mettent en œuvre les notions clés du S1 et du S2, en mettant l'accent sur le traitement numérique du signal.

Mots clés : Signal aléatoire, Traitement statistique, Bruit, Signal échantillonné, Filtrage numérique.

### COMPÉTENCES

Savoir raisonner et exploiter les approches probabilistes et statistiques pour les signaux et pour la physique. Maîtriser les mises en œuvre numériques de traitements de base. Il s'agit de compléter l'acquisition des bases du traitement du signal, afin d'acquérir une vision globale des principales approches et méthodologies, et permettre des approfondissements en master 2.

## PHYSIQUE NUMÉRIQUE

Numerical physics

Responsable Victor Teboul

### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Physique du L3 ; Bases de la programmation ; Mathématiques de Licence

*Compétences*

Mathématique, informatique et physique de la licence.

### CONTENUS

Initiation au langage C et C++ ; Résolution de problèmes physiques en langage C ou C++ ; Comprendant les chapitres suivants: Résolution numérique d'équations différentielles ; Séries et intégrales simples ; Séries et intégrales multiples ; Méthode de Monte Carlo ; Simulation du modèle d'ising ; Automates cellulaires ;

### COMPÉTENCES

L'étudiant devra à la fin du cours, savoir modéliser de manière numérique des problèmes physiques simples et programmer leur résolution en langage C.



Numerical recipes in C, W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, Cambridge University Press.

Programmer en langage C++, C. Delannoy, Eyrolles.

## UE8

### ÉLECTRONIQUE NUMÉRIQUE

Digital electronics

Responsable **Matthieu Loumaigne**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Notions d'électronique et d'algèbre de Boole

*Compétences*

Bases de l'électronique

#### CONTENUS

Codage ; circuits logiques ; tableaux de Karnaugh ; Logique combinatoire ; Logique séquentielle ; bascules et compteurs ; Architecture des ordinateurs et des microcontrôleurs ; électronique programmée ; programmation des microcontrôleurs ; exemples d'utilisation des microcontrôleurs PiC, Arduino, ...

#### COMPÉTENCES

- Comprendre et être capable de réaliser des circuits électroniques en logique combinatoire et séquentielle.
- Connaître les principales propriétés des microcontrôleurs.
- Avoir les bases pour la programmation de microcontrôleurs en C afin de réaliser des projets simples (TP).
- Les matières qui complètent cette matière sont la physique numérique pour l'aspect programmation et l'électronique vue en L3.

## UE9

### ANGLAIS SCIENTIFIQUE

English scientific language

Responsable **Bouchta Sahraoui**

#### PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Compréhension écrite et orale, notions de grammaire et compétences d'expression écrite et orale élémentaires. Niveau des connaissances de base grammaticales et

lexicales. Pas de connaissance spécifique nécessaire

#### CONTENUS

Ce cours est donné par un enseignant physicien. L'objectif est de s'entraîner à parler, écouter et comprendre, lire et rédiger en anglais dans son domaine de spécialité. On cherche à placer l'étudiant dans des situations similaires à celles rencontrées par un chercheur. Le cours est orienté sur des présentations orales choisies par l'enseignant : discussions, conversations, ... A partir de documents audio ou vidéo, l'étudiant apprend à comprendre à l'oral des données complexes liées au domaine de spécialité. L'étudiant devra rédiger un article scientifique, présenter un sujet par poster et par communication orale devant un groupe de personnes, intervenir en posant des questions lors de tables rondes.

#### COMPÉTENCES

- Être capable d'appréhender un article scientifique sans que la langue anglaise soit un obstacle à la compréhension.
  - Être en mesure de produire des documents scientifiques en langue anglaise.
  - Savoir s'exprimer oralement en anglais sur un sujet scientifique maîtrisé
- Cette unité d'enseignement permet à l'étudiant d'atteindre un niveau de connaissances linguistiques en anglais qui lui permet d'avoir accès aux informations scientifiques en anglais en relation avec ses études.

## UE10

### PRÉPARATION À L'INSERTION PROFESSIONNELLE

Employability and vocational integration training

Responsables **SUIO-IP | BU**

#### CONTENUS

Le SUIO-IP proposera différents ateliers auxquels les étudiants devront s'inscrire au fil de l'eau. Ces ateliers porteront sur la dynamique d'une recherche de stage et/ou d'emploi, la création d'un réseau, l'élaboration d'outils de recherche, de CV et lettres de motivation,



la mise en valeur des compétences acquises, la préparation et la gestion d'un entretien de recrutement. La Bibliothèque Universitaire (BU) proposera une formation à la recherche documentaire et à l'utilisation des nombreux outils en ligne disponibles à la bibliothèque.

## COMPÉTENCES

- Savoir définir son projet professionnel.
- Être capable de réaliser une recherche de stage ou d'emploi.

### UE11

## STAGE

*Internship*

Responsables **Stéphane Chaussedent**,  
équipe pédagogique

## PRÉREQUIS

*Notions et contenus*

Les notions vues dans l'ensemble des matières de M1.

*Compétences*

Les compétences acquises pendant les deux semestres de M1.

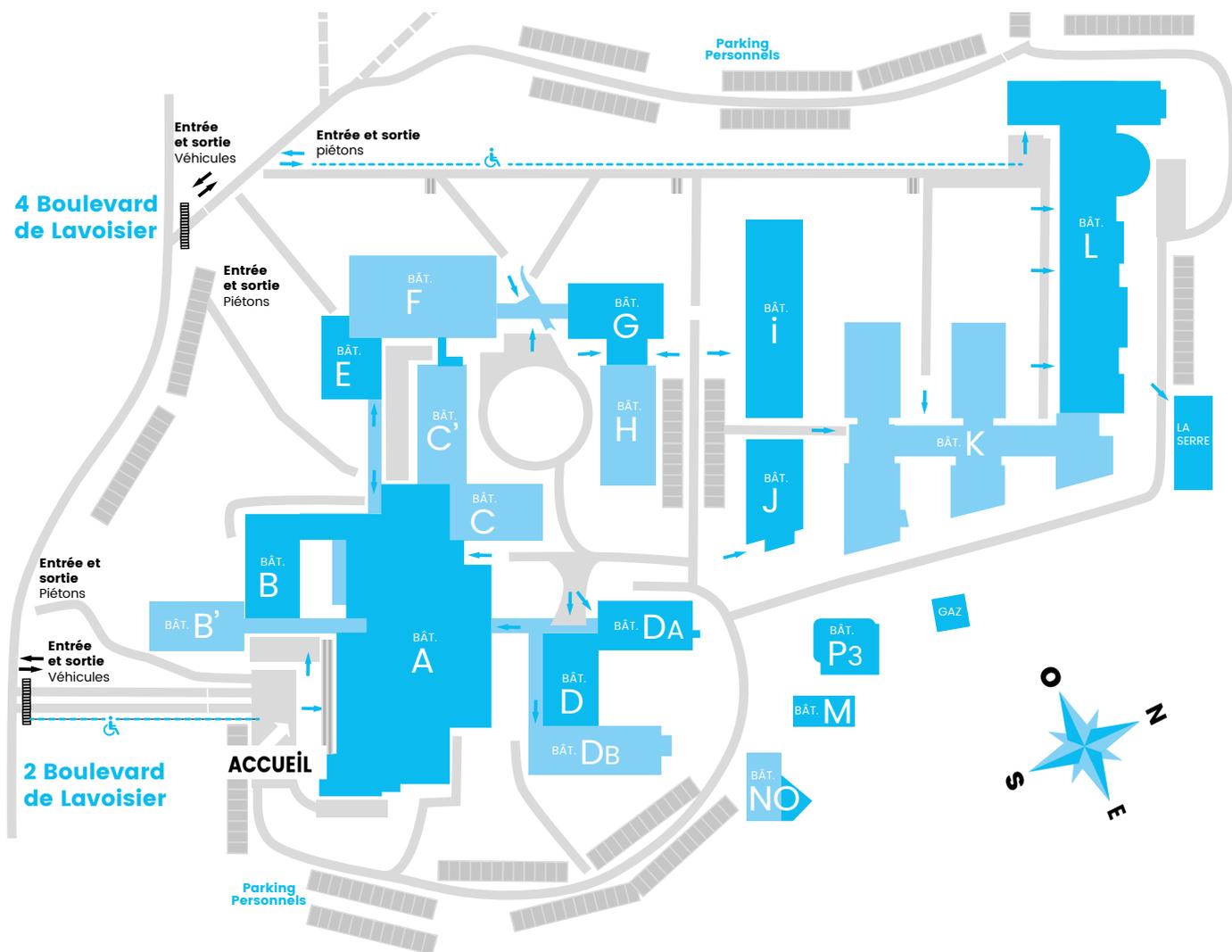
## CONTENUS

Proposé par l'équipe pédagogique, le stage est encadré ou tutoré par un enseignant-chercheur ou un chercheur. Il est réalisé dans un laboratoire de recherche ou une entreprise et doit préférentiellement porter sur un sujet en rapport avec la spécialité à laquelle se destine l'étudiant en M2. A l'issue du stage, l'étudiant rédige un compte-rendu et il soutient le travail effectué devant un jury. L'organisation précise du stage et les modalités d'évaluation seront communiquées à travers la distribution de documents cadre au début du 2<sup>e</sup> semestre.

## COMPÉTENCES

- Être capable d'accomplir une mission scientifique.
- Être capable de rédiger un rapport scientifique et de le présenter à l'oral en français et en anglais.





- A** Scolarité | Accueil | Enseignement (Amphi A à E) | Administration
- B** Enseignement biologie
- B'** Enseignement biologie
- C** Enseignement chimie
- C'** Recherche
- D** Enseignement physique
- Da** Enseignement physique
- Db** Recherche
- E** Enseignement biologie
- F** Enseignement biologie | Recherche
- G** Enseignement géologie | informatique
- H** Enseignement informatique | Recherche
- i** Enseignement mathématiques | Recherche
- J** Enseignement chimie
- K** Recherche
- L** Enseignement transversaux | Enseignement (Amphi L001 à L006)

Impression Service Reprographie UA

