

Master 1

Sciences, Technologies, Santé

2023-2024

Physique appliquée et ingénierie physique

Photonique Signal imagerie



M1 PSI



SOMMAIRE

| | |
|----------------------------------|----|
| Contacts de la formation | 03 |
| Calendrier | 04 |
| Présentation de la formation | 05 |
| Volumes horaires et évaluations | 07 |
| Contenu des enseignements | |
| Semestre 1 | 09 |
| Semestre 2 | 16 |

*Sommaire interactif
pour revenir
au sommaire
cliquer sur *



CONTACTS DE LA FORMATION

— Sandrine TRAVIER : **Directrice Adjointe à la Pédagogie**
sandrine.travier@univ-angers.fr

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

— Dominique MAZEAUD : **Gestion de la scolarité et des examens**
Tél. : 02 41 73 53 57
dominique.mazeaud@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



2023-2024

Semestre 1

| | |
|--|---|
| Rentrée et début des cours | Lundi 11 septembre 2023 |
| Contrôles continus n°1 | Du lundi 23 octobre 2023 au vendredi 27 octobre 2023 |
| <i>Vacances d'automne</i>  | <i>Du samedi 28 octobre 2023 au dimanche 05 novembre 2023</i> |
| Fin des cours du semestre 1 | Vendredi 15 décembre 2023 |
| Contrôles continus n°2 | Du lundi 18 décembre 2023 au vendredi 22 décembre 2023 |
| <i>Vacances de fin d'année</i>  | <i>Samedi 23 décembre 2023 au dimanche 07 janvier 2024</i> |
| Jury Semestre 1 Session 1 | Jeudi 11 janvier 2024 |

Semestre 2

| | |
|--|--|
| Début des cours | Lundi 08 janvier 2024 |
| Contrôles continus n°1 | Du lundi 19 février 2024 au vendredi 23 février 2024 |
| <i>Vacances d'hiver</i>  | <i>Du samedi 02 mars 2024 au dimanche 10 mars 2024</i> |
| Fin des cours semestre 2 | Vendredi 29 mars 2024 |
| Contrôles continus n°2 | Du mardi 02 avril 2024 au vendredi 05 avril 2024 |
| Stage | Du lundi 8 avril 2024 au vendredi 14 juin 2024 |
| <i>Vacances de printemps</i>  | <i>Du samedi 27 avril 2024 au dimanche 05 mai 2024</i> |
| Remise de rapport de stage | Vendredi 14 juin 2024 |
| Soutenance de Stage | Mercredi 19 juin 2024 |
| Jury Semestre 2 Session 1 | Jeudi 10 juin 2024 |
| Examens Semestre 1 Session 2 | Du lundi 26 août 2024 au vendredi 30 août 2024 |
| Examens Semestre 2 Session 2 | Du lundi 26 août 2024 au vendredi 30 août 2024 |
| Jurys Semestre 1 et Semestre 2 Session 2 | Lundi 02 septembre 2024 |

> Calendrier susceptible de modifications



PRÉSENTATION DE LA FORMATION

OBJECTIFS

Le Master de Physique appliquée et Ingénierie physique est une formation co-acréditée 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 08 avril au 14 juin 2024. La soutenance orale est prévue le 19 juin 2024.

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 acquises 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 – ÉVALUATIONS

| SEMESTRE 1 | | | | | | | 30 ECTS | | | | |
|--|--|------------------|-----|------|------|------|---------|----------------------------|-------|------------------------|-------|
| UE | Matières | Volumes horaires | | | | ECTS | Coeff. | Contrôle des connaissances | | | |
| | | CM | TD | TP | Tot. | | | 1 ^{re} session | | 2 ^e session | |
| | | | | | | | | Examen | Durée | Examen | Durée |
| Bloc 1 > Physique fondamentale | | | | | | | | | | | |
| 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 |
| Bloc 2 > Optique | | | | | | | | | | | |
| 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 |
| Bloc 3 > Physique appliquée et compétences transversales | | | | | | | | | | | |
| 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 |

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



Pas de DA



Conditions de validation du semestre 1 :
Admis-e si moyenne des UE >=10.

CT = Contrôle Terminal
CC = Contrôle Continu

P = Validation en Présentiel
DA = Dispensé d'Assiduité



SEMESTRE 2

30 ECTS

| UE | Matières | Volumes horaires | | | | ECTS | Coeff. | Contrôle des connaissances | | | |
|---|---|------------------|------|----|------|------|--------|----------------------------|-------|------------------------|-------|
| | | CM | TD | TP | Tot. | | | 1 ^{re} session | | 2 ^e session | |
| | | | | | | | | Examen | Durée | Examen | Durée |
| Bloc 4 > Optique appliquée | | | | | | | | | | | |
| 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 |
| Bloc 5 > Signal et compétences numériques | | | | | | | | | | | |
| 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 |
| Bloc 6 > Compétences transversales | | | | | | | | | | | |
| 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 | - | * | - |

* 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



CONTENUS DES ENSEIGNEMENTS

SEMESTRE I

UE OBLIGATOIRES

UE1

PHYSIQUE DU SOLIDE : ÉLECTRONS ET SEMI-CONDUCTEURS

Solid-state physics: electron and semi-conductors

Responsable **Mihaela Girtan**

Pré-requis

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

Etats 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 im-

puretés 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.

Bibliographie

– 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**

Pré-requis

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**

Pré-requis

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.

Bibliographie

- *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 Chausse**dent

Pré-requis

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 (change-

ment 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...

Bibliographie

- *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

Responsable **François Sanchez**

Pré-requis



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. A 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.

Bibliographie

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

UE6

ONDES ET PROPAGATION GUIDÉE

Waves and guided waves

Responsable **Hervé Leblond**

Pré-requis



Notions et contenus

Théorie électromagnétique et équations de Maxwell dans les milieux.

Electrocinétique.

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**

Pré-requis

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'issue 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.

Bibliographie

- 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

UE3

CRISTALLOGRAPHIE ET APPLICATIONS

Crystallography and applications

Responsable **Charles Ciret**

Contenu

- 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.

Bibliographie

— *Cristallographie géométrique et radio-cristallographie de J.-J. Rousseau*

UE9

TRAITEMENT DU SIGNAL I

Signal processing, part 1

Responsable **François Chapeau-Blondeau**

Pré-requis

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 im-



pulsionnelle, 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](#)

Pré-requis

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 2×2 .

— 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](#)

Pré-requis

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 mai-



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

Contenu

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 Rachet**

Pré-requis

Notions et contenus

Optique géométrique et optique ondulatoire de Licence.

Cours de base de mécanique quantique (M1 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 **Georges Boudebs** | **Matthieu Loumagne**

Pré-requis

Notions et contenus

Optique géométrique niveau L1. Optique ondulatoire niveau L2.

Compétences

Tracé de rayons. Relation de conjugaison. Systèmes optiques centrés. Notion sur la résolution. Interférence à deux ondes.

Contenus

Ce cours d'optique comprend trois parties : la première est nettement géométrique avec des rappels ; la seconde, l'aspect physique des phénomènes est prépondérant en abordant l'essentiel sur le phénomène de diffraction et la troisième, une synthèse est réalisée en étudiant les caractéristiques générales des instruments classiques (objectifs, oculaires, résolution, techniques d'éclairage, techniques classiques de contraste microscopies à contraste de phase, interférentielles, de polarisation) ensuite les techniques avancées (microscopie de fluorescence, confocale, en champ proche).

Travaux pratiques : Spectroscopes à prisme et à réseau (réalisation du dispositif sur table optique, calibration, étude du spectre de sources conventionnelles).



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 nouveau qu'ils étudieront. Le travail réalisé sera présenté aux autres étudiants sous forme de présentation orale à l'aide de PowerPoint.

Manipulation : Connaître et comprendre le fonctionnement d'un spectroscopie. Savoir calibrer et utiliser l'appareil.

UE3

INTRODUCTION À L'OPTIQUE NON LINÉAIRE

Non-linear optics

Responsable **Hervé Leblond**

Pré-requis

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, autoguidage, 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 I**
Matthieu Loumagne

Pré-requis

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).
- Etude 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).
- Etude 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).
- Etude 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).

Bibliographie

- 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**

Pré-requis

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.

Support de cours

Chaîne youtube de l'enseignant : <https://www.youtube.com/watch?v=ebk7WE-6gqFc&list=PLUukCwr0iCed6E1NpAOkcu-hGLluoZfgrS>



UE6

TRAITEMENT DU SIGNAL II

Signal processing, part 2

Responsable **François Chapeau-Blondeau**

Pré-requis

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 1er et du 2è ordre : densité de probabilité ; fonctions de corrélation statistiques et spectres de puissance ; bruits.

-Echantillonnage : 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.

UE7

PHYSIQUE NUMÉRIQUE

Numerical physics

Responsable **Victor Teboul**

Pré-requis

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++ ; Comprenant 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.

Bibliographie

— *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

ELECTRONIQUE NUMÉRIQUE

Digital electronics

Responsable **Matthieu Loumaigne**

Pré-requis

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**

Pré-requis

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 I**
équipe pédagogique

Pré-requis

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 2e semestre.

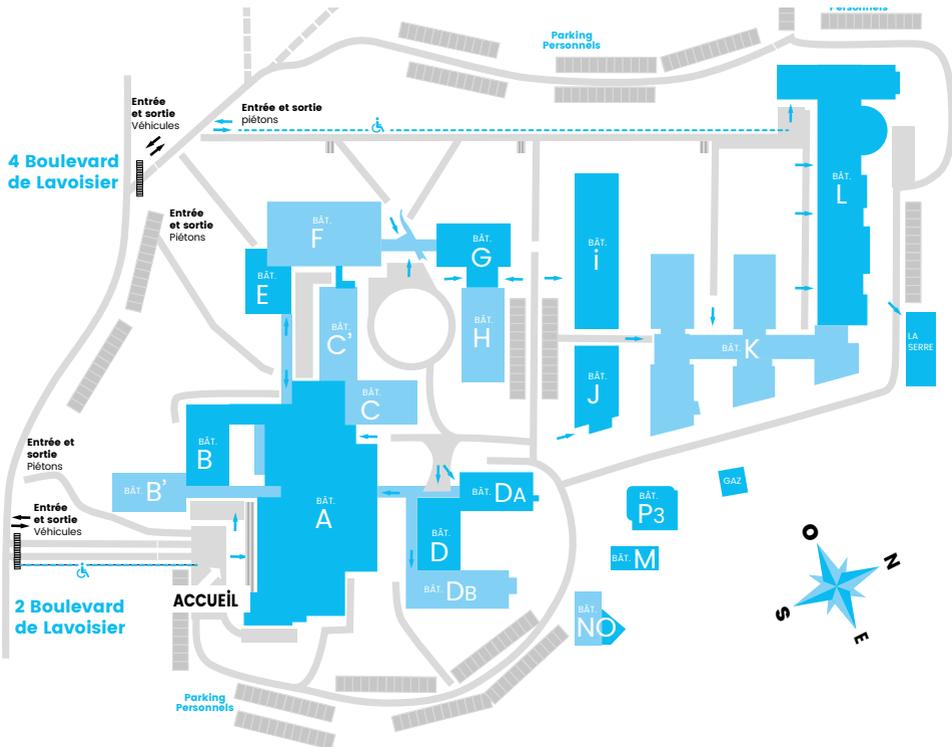
Compétences

- 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** 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



**FACULTÉ
DES SCIENCES**
UNIVERSITÉ D'ANGERS

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

