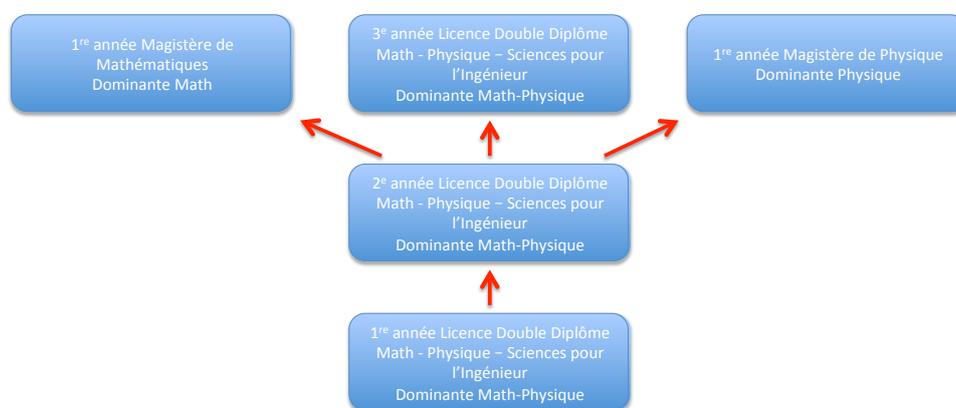


La première année du Magistère de Physique est basée sur la Licence Double-Diplôme Math-Physique, parcours Physique Fondamentale et se scinde en deux parties : une partie « Parcours Magistère de Physique » et une partie « Parcours ENS Paris-Saclay ».



Ce document décrit le programme de la L3 Physique Fondamentale « Parcours Magistère de Physique ». Le programme de la L3 Physique Fondamentale « Parcours ENS Paris-Saclay », réservée aux étudiants de l'ENS Paris-Saclay, reprend les UE labellisées \* et en ajoute d'autres spécifiques.

## Programme du tronc commun « L3 Physique Fondamentale »

2022-2023

### **Outils pour la physique (2,5 ECTS)**

Le but de cet enseignement est de fournir aux étudiants les bases de calcul nécessaires pour poursuivre un enseignement de haut niveau en physique fondamentale. On y revoit en particulier des notions telles que l'analyse vectorielle, les équations différentielles, les matrices et les déterminants, les intégrales.

### **Mécanique quantique I (5 ECTS) \***

Le but de ce cours est de donner une première approche de la mécanique quantique. On verra en particulier :

- Phénomènes quantiques
- Principes, postulats et mesures en mécanique quantique  
Formulation générale de la mécanique quantique
- Symétries
- Moment cinétique angulaire
- Moment cinétique de spin et résonance magnétique

### **Mécanique analytique (3 ECTS) \***

L'objectif de ce cours est d'offrir une solide introduction aux outils et concepts de la mécanique lagrangienne et hamiltonienne.

### **Electromagnétisme et Optique I (5 ECTS) \***

Cet enseignement part des équations de Maxwell et aborde les points suivants :

- Rappels de l'optique géométrique
- Diffraction en ondes planes, diffraction de Fresnel et optique guidée
- Propriétés du champ électromagnétique : Energie, impulsion et moment cinétique du champ
- Electrostatique et magnétostatique
- Milieux diélectriques: Etude microscopique et macroscopique

### **Anglais (3 ECTS)**

Le but de cet enseignement est de fournir un entraînement à l'expression orale et écrite sur une gamme de sujets (actualités, questions de civilisation, culturelles, scientifiques) avec clarté, élégance et correction :

- Développer une aisance à prendre la parole
- Possibilité de préparer le TOEFL
- Consolidation de grammaire selon les besoins du groupe

### **Informatique (2 ECTS)**

Le but de ce cours est l'apprentissage du langage C en vue de la modélisation numérique et de la simulation en physique, et constitue la première étape de l'apprentissage du C++.

### **Mathématiques (7 ECTS)**

Sont développés dans ce cours les notions mathématiques les plus utiles aux différents cours de Physique.

En particulier :

- Fonctions holomorphes
- Théorie de la mesure et Intégrale de Lebesgue
- Transformée de Fourier
- Distributions

### **Electromagnétisme et Optique II (5 ECTS) \***

Dans la continuité du cours du 1<sup>er</sup> semestre, ce cours aborde les points suivants :

- Milieux magnétiques : Etude microscopique et macroscopique
- Propagation : Propagation libre dans le vide et dans les milieux diélectriques, propagation guidée
- Systèmes rayonnants : Rayonnement d'une source oscillante
- Milieux dispersifs – Propagation d'impulsion
- Propagation dans les milieux diélectriques anisotropes
- Biréfringence circulaire et provoquée

### **Physique statistique (6 ECTS) \***

Cette UE démarre par des rappels de notions probabilistes, qui fournissent le langage sur lequel le cours se développera. L'énoncé du postulat fondamental de la physique statistique et la description détaillée de l'ensemble microcanonique permettent d'introduire des notions essentielles (entropie, température, relâchement de contraintes, irréversibilité, etc).

La présentation de l'ensemble canonique fournit l'occasion de discuter plusieurs illustrations de manière détaillée : description semi-classique des gaz, puis thermodynamique des oscillateurs harmoniques (vibration des corps solides et rayonnement du corps noir).

### **Mécanique quantique II (4 ECTS) \***

Le but de ce cours est d'approfondir les bases de la mécanique quantique. On verra en particulier :

- Atome d'hydrogène
- Addition de moments cinétiques
- Symétries discrètes et particules identiques : postulats de symétrisation
- Structures fine et hyperfine de l'atome d'hydrogène
- Perturbations indépendantes du temps, perturbations dépendant du temps, règle d'or de Fermi
- Introduction aux systèmes ouverts en mécanique quantique

### **Enseignement expérimental (2 ECTS)**

Cette UE expérimentale comporte quatre expériences qui abordent respectivement la polarisation, le filtrage spatial, la physique des rayons X et les hyperfréquences.

### **Projet expérimental (6 ECTS)**

Cette UE a pour but la réalisation d'un projet de physique expérimentale. Les étudiants ont le choix de faire un projet libre, de leur choix, qu'ils doivent alors mener de bout en bout (conception, réalisation, tests, prise de données, analyse), ou un projet ciblé pour lequel le dispositif expérimental est fourni, ce qui permet aux étudiants de le prendre en main et de mener un projet plus poussé.

L'UE débute par une initiation à l'acquisition de données par micro-ordinateur en utilisant un langage de programmation graphique, LabView™. Cette UE propose ensuite une initiation à la mesure par une introduction aux cartes d'acquisition, soit avec des cartes Arduino™ (projets libres) soit avec des cartes National Instrument™ (projets ciblés).



UNIVERSITE PARIS-SACLAY

## PHYSIQUE FONDAMENTALE

MAGISTERE - LICENCE - MASTER

Faculté des Sciences d'Orsay - Bâtiment 625 - 91405 Orsay Cedex

université  
PARIS-SACLAY

FACULTÉ  
DES SCIENCES  
D'ORSAY

Le projet se déroule ensuite sur cinq jours consécutifs et donne aux étudiants le temps de construire ou de prendre en main un système expérimental complexe. Autonomie et initiative sont encouragées au cours de ces projets qui constituent une initiation à la physique expérimentale pratiquée dans les laboratoires de recherche.

### **Relativité restreinte (3 ECTS) \***

Le but de ce cours est de d'offrir une formation complète à la relativité restreinte et aborde les points suivants :

- Postulats de la relativité restreinte
- Structure de l'espace-temps.
- Transformation de Lorentz
- Formulation covariante
- Quadri-vecteurs (à l'aide du formalisme Lagrangien)
- Tenseur électromagnétique et équations de Maxwell

### **Projet d'informatique (4 ECTS)**

Réalisation durant un trimestre d'un programme en C conçu pour l'étude d'un problème de physique.

## **Programme des enseignements optionnels L3 Physique Fondamentale 2022-2023**

### **Vulgarisation en Physique (2,5 ECTS)**

Cette option propose un apprentissage de la vulgarisation et de la diffusion des connaissances en physique via un enseignement par projets.

Dans une première phase, différents ateliers sont proposés aux étudiants où ils doivent réaliser des expériences de physique et les vulgariser sous différents formats en un temps court. Puis les étudiants développent ensuite par petits groupes un ou deux gros projets, dont ils doivent trouver eux-mêmes le sujet suite à un brainstorming collectif. Ils doivent ensuite comprendre la physique en jeu, développer le projet ainsi qu'une vidéo associée.

Enfin, une restitution collective est proposée à tous les autres étudiants de L3 et M1 en amphithéâtre sous forme d'un spectacle de vulgarisation complet et cohérent.

### **Histoire de l'électricité et de l'électromagnétisme (2,5 ECTS)**

Etude des interactions science/technique et science/société dans un champ majeur pour appréhender ces questionnements au 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècle, ce qui permet, au-delà de l'apport culturel, de proposer une autre approche des enjeux et débats actuels.

### **Physique Mathématique et introduction aux outils de la relativité générale (2,5 ECTS)**

Introduction aux mathématiques de la Relativité Générale : Nous commençons par expliquer pourquoi l'équivalence entre masse inertielle et masse grave permet de décrire les forces gravitationnelles en termes géométriques. Puis nous expliquons comment décrire mathématiquement les espaces-temps courbes. Ensuite nous montrons comment s'y formule la mécanique relativiste pour obtenir l'équation des géodésiques. Enfin nous étudions les géodésiques au voisinage de l'horizon d'un trou noir, et nous présentons les derniers développements de la physique des trous noirs (rayonnement de Hawking).

### **Cosmologie (2,5 ECTS)**

Nous présentons les concepts permettant de décrire et de comprendre les phénomènes et les observations cosmologiques. Deux types de processus sont décrits, premièrement ceux liés à l'expansion cosmologique et l'histoire thermique (univers homogènes), et deuxièmement ceux liés à l'évolution des grandes structures (univers inhomogènes). Nous présentons l'état des connaissances actuelles en mettant en évidence les progrès observationnels et conceptuels accomplis ces dix dernières années.

### **Intégrales de chemin et applications (2,5 ECTS)**

Cette UE théorique propose en particulier :

- Rappels du formalisme quantique général; introduction des fonctionnelles et notion quantique de propagateurs
- Introduction aux intégrales de chemin et interprétation physique
- Application au cas libre, à l'oscillateur harmonique, à l'amplitude de probabilité pour la diffusion entre une particule élémentaire et un champ d'interaction
- Introduction des graphes de Feynman
- Calcul de la section efficace de Rutherford

### **Théorie des Groupes (2,5 ECTS)**

Le but de cette option est de donner un panorama des différents aspects mathématiques de la théorie des groupes et de ses applications en Physique (classique ou quantique). On verra successivement :

- Propriétés mathématiques générales ; étude de quelques groupes discrets utiles en Physique (groupes ponctuels)
- Représentations des groupes : définitions générales, représentations irréductibles, représentation des groupes finis, applications
- Groupes et Algèbre de Lie: définitions et propriétés mathématiques générales, représentations, applications à quelques groupes utiles en Physique (SU(2), SO(3),...)

### **Option « Ecoles » (2,5 ECTS)**

Préparation aux concours d'admission dans les Ecoles d'Ingénieurs par la voie universitaire, et principalement aux concours d'entrée à l'Ecole Polytechnique et à CentraleSupélec.

### **Chimie organique I (2,5 ECTS)**

Cette option a pour but d'offrir une initiation aux concepts de base de la chimie organique.

### **Chimie organique II (2,5 ECTS)**

Cette option a pour but d'acquérir les connaissances de chimie organique nécessaires pour les épreuves de chimie du CAPES et de l'agrégation de physique.

### **Introduction à la géophysique (2,5 ECTS)**

Module d'ouverture vers le domaine des Sciences de la Terre. Différentes techniques géophysiques (gravimétrie, sismique, magnétisme, etc...) permettent une meilleure caractérisation et compréhension de l'évolution de la Terre. Deux sujets seront abordés en particulier :

- Géodynamique
- La Terre dans le système solaire

### **Gastronomie moléculaire (2,5 ECTS)**

L'objectif de cet enseignement est de présenter la gastronomie moléculaire, discipline qui étudie les mécanismes physico-chimiques qui se produisent en cuisine. De par les diverses réactions qui interviennent, elle fait appel à la physique (transition de phase, percolation, variation thermique), la chimie (réaction acide-base, oxydation, complexation...), la physico-chimie (colloïde), et la biologie (réaction de fermentation, coagulation...). A l'aide d'un enseignement par projet, cette UE présente le lien possible entre science et cuisine, et entre recherche-innovation-application.

### **Data Science (2,5 ECTS)**

L'ensemble des méthodes statistiques, appelées aujourd'hui *big data*, sont des outils au cœur de l'astrophysique et de la physique des particules depuis les années 90. Plus généralement, une partie importante de la recherche moderne se tourne vers les *data driven sciences*. L'enseignement du *big data* et de l'interprétation des cartes qu'il génère se développe au lycée. Ce cours présentera les fondements mathématiques de ces méthodes et leur interprétation précise. L'analyse des grands flux de données et le développement de modèles théoriques complexes font aujourd'hui appel aux méthodes de *machine learning* (neural networks, algorithmes génétiques, etc.). L'objectif de ce cours est que chaque étudiant comprenne ces méthodes statistiques et, très concrètement, qu'il puisse développer ses propres codes d'analyse de type *big data* ou de simulation théorique de type *machine learning*.

### **Introduction aux Méthodes Physiques en Médecine (2,5 ECTS)**

Cet enseignement est une introduction à la Physique Médicale en apportant une vision globale des différentes méthodes diagnostiques et thérapeutiques basées sur les concepts et technologies du domaine de la Physique. On abordera en particulier :

- Interaction des ondes et des particules avec la matière biologique
- Lasers et photothérapie
- Effets biologiques des rayonnements ultra-violet
- Bases de la radiothérapie et de l'hadronthérapie
- Applications diagnostiques et thérapeutiques des ultrasons en médecine
- Bases de l'imagerie médicale : méthodes et applications

### **Programmation en Python (2,5 ECTS)**

Cette UE donne les bases de la programmation en Python :

- Environnement Python (ipython, pip, venv)
- Fonctions et initiation à la programmation orientée objet
- Représentation graphique avec matplotlib
- Gestion & manipulation données numériques (numpy)
- Création de figures, histogrammes, courbes de niveau, 3D
- Interface graphique et utilisation des widgets de matplotlib

### **Biophysique expérimentale (2,5 ECTS)**

L'objectif de cette UE est de montrer comment des méthodes physico-chimiques sont utilisées sur des objets biologiques pour mieux comprendre leur fonctionnement. C'est donc à la fois une illustration des applications de ces méthodes et une introduction à la biophysique à travers une sélection d'exemples et d'expériences. On abordera en particulier les points suivants :

- Introduction des notions de biologie nécessaires. Noter qu'aucun prérequis de biologie n'est demandé
- Absorption UV
- Applications de la fluorescence en biologie de la macromolécule à la cellule
- Capteurs, dispositifs analytiques
- Mécanismes de transfert d'électrons dans les molécules biologiques
- Capteurs électrochimiques
- Applications en biologie cellulaire

### **Travail d'Etude et de Recherche (2,5 ECTS)**

Des étudiants désireux de faire un travail personnel étudient un sujet (qu'ils choisissent) en Physique ou dans un domaine proche de la Physique, guidés par un spécialiste. Ce sujet est validé par le responsable de la formation.

### **Techniques Expérimentales à l'Agrégation (2,5 ECTS)**

Cette option expérimentale s'adresse aux étudiants qui souhaitent plus tard passer les concours de l'enseignement (CAPES, agrégation). Elle vise notamment à donner une nouvelle approche expérimentale en abordant différents thèmes (optique, électronique, électromagnétisme, ondes, mécanique).

## Programme des enseignements spécifiques au Magistère 2022-2023

### **Processus fondamentaux en astrophysique (2,5 ECTS)**

Cet enseignement illustre de nombreux aspects des disciplines fondamentales de la physique et met l'accent sur les processus physiques fondamentaux mis en jeu dans l'Univers tels qu'ils sont aujourd'hui compris à partir des observations les plus actuelles:

- Gravitation : dynamique képlérienne, temps de chute libre, effets de marées
- Physique du rayonnement thermique (loi de Planck, corps noirs)
- Constituants de l'Univers: premières secondes, expansion, nucléosynthèse primordiale, recombinaison, évolution du fond cosmologique, formation des structures, contenu actuel
- Milieu interstellaire : phases, conditions thermodynamiques, équilibre, théorème du Viriel, instabilités.
- Formation stellaire, problème du moment cinétique, formation des systèmes planétaires

### **Introduction to Dynamical Systems and Pattern Formation (2,5 ECTS, enseignement en anglais)**

L'objectif de cette option est d'offrir un premier contact avec les systèmes dynamiques, la physique non linéaire, la formation des motifs. Cette option d'introduction se déclinera essentiellement autour des thèmes suivants :

- Systèmes non-linéaires, portraits de phase, points fixes, stabilité
- Bifurcations (1D, 2D et plus), cycles limites, introductions aux catastrophes
- Formation des motifs: modèle de Turing

### **Ways of seeing, ways of knowing (2,5 ECTS, enseignement en anglais)**

Nos manières de voir et de connaître s'influencent mutuellement. Nous entendons par celles-ci non seulement nos « modèles » du monde – qu'ils soient physiques, culturels, politiques ou autres – mais aussi la « mécanique » de la vision et de la connaissance, y compris la relation entre le sujet connaissant/qui regarde et l'objet connu/vu. Que l'on en soit conscient ou non, ses « manières de voir » le monde et sa place dans celui-ci est intimement liée à ce que l'on « connaît » et sa manière de le connaître. Elles ont également une influence décisive sur ce que l'on considère comme bon usage de ses connaissances et de soi-même. Ainsi, nous aborderons également des « manières d'être », sujet qui mène à des considérations politiques et éthiques. Ces questions seront examinées à travers plusieurs penseurs contemporains, principalement des philosophes, représentant différentes « manières de voir ». Nous lirons également des œuvres permettant de nous faire une idée de l'influence de nos prédécesseurs sur le paysage intellectuel contemporain.

### **Physics of Sustainable Development (2,5 ECTS, enseignement en anglais)**

Dans une première partie, on s'attachera à décrire et comprendre les arguments scientifiques et les modèles du changement climatique : quelle est l'origine de ce dérèglement anthropique, le rôle de l'énergie dans nos sociétés, les processus de décisions collectives impliqués dans cette question, les solutions envisageables. Une deuxième partie se focalisera sur la physique d'un bâtiment et à l'échelle urbaine : les principes de construction bioclimatique, les considérations thermiques au niveau d'un immeuble ou d'une ville, l'énergie et autres champs où le physicien peut apporter une perspective ou un savoir-faire à l'architecte et à l'urbaniste

Enfin, plusieurs séances seront dédiées à la réalisation par les étudiants d'un projet – bibliographique, de modélisation, expérimental – autour de ces thématiques.

### **Stage d'initiation à la recherche (2,5 ECTS)**

Stage d'initiation à la recherche dans un laboratoire de quatre à 8 semaines, situé à la fin de l'année universitaire. Ce stage est évalué par une soutenance orale et un rapport.