

Mention Physique

Responsable de mention : Cécile Roucelle
Responsable L3 Parcours générale de Physique : Giuliano Orso

Années L3
2020 - 2021

I. PRESENTATION GENERALE de la FORMATION

Parcours principal de la mention, le L3 Physique s'adresse à tous les étudiants désireux d'aborder la physique sous ses aspects fondamentaux et appliqués. Constitué d'enseignements variés et ambitieux (physique quantique, optique ondulatoire, physique statistique, physique par les capteurs, traitement du signal, ...), ce parcours fonde également sa spécificité sur l'implication de chaque étudiant.e dans un stage en laboratoire ou en entreprise, et dans la réalisation de projets expérimentaux et numériques qui mettent à profit les connaissances et compétences acquises au cours de deux premières années de la licence.

L'enseignement de la 3^{ème} année de licence repose sur trois piliers principaux :

- Acquisition de solides connaissances théoriques de la physique de base.
- Développement des compétences pratiques grâce à la large place donnée à l'expérimentation.
- Utilisation de codes numériques pour explorer les phénomènes physiques en partant de leur modélisation mathématique.

La 3^{ème} année du parcours général de la licence Physique se caractérise également par la possibilité pour l'étudiant.e de se spécialiser au deuxième semestre afin de préparer au mieux son entrée en master. L'étudiant.e devra choisir un bloc d'enseignements lui permettant d'affiner ces compétences, soit dans l'optique d'un parcours orienté vers une approche de la physique plus théorique, soit pour un parcours privilégiant une approche plus expérimentale et appliquée.

Les connaissances et compétences acquises aux cours de cette 3^{ème} année de licence sont liées directement aux métiers de la Physique (recherche, enseignement, ingénierie et développement technologiques), mais également à beaucoup d'autres métiers. La formation en physique permet en effet de développer des capacités de travail, de raisonnement et d'organisation, essentiels dans de nombreux domaines. A l'issue de cette 3^{ème} année, les étudiant.e.s poursuivront leurs études au sein de **masters professionnels** (Ingénierie Physique des Energies, Physique Acoustique, métiers de l'enseignement..) ou de **masters Recherche** (Nanosciences, Astrophysique, Physique Quantique, Physique Nucléaire, etc.), ou bien en **école d'ingénieurs** via les concours d'admission universitaires.

II. ORGANISATION des ETUDES

Les études sont organisées sur deux semestres, **S5** et **S6**. Chaque semestre est organisé en **Unités d'Enseignement** (UE). Chaque UE contient un ou plusieurs enseignements, appelés **Éléments Constitutifs d'Unités d'Enseignement** (ECUE). A chaque UE et ECUE correspond un certain nombre de **crédits** (ECTS pour « *European Credit Transfer System* »). Ce principe de crédits facilite la mobilité européenne des étudiants, dans le cadre d'accords négociés avec certaines Universités.

Un semestre correspond à 30 crédits. Les 30 ECTS correspondent à un nombre d'heures de présence en enseignement qui varie de 25 à 30 heures par semaine, auxquelles il faut rajouter autant d'heures de travail personnel. Le temps de travail universitaire d'un étudiant varie donc entre 50 et 60 heures par semaine. Un semestre dure de 12 à 13 semaines. Les enseignements ont lieu sur le Campus Paris Rive Gauche de l'Université de Paris.

Les semestres sont organisés par bloc d'enseignement, avec des règles de compensation spécifiques :

- Bloc 1 : Bloc de connaissances et de compétences ;
- Bloc 2 : Bloc de savoirs transverses.

III. PROGRAMME

Le contenu pédagogique précis des différentes UEs de la troisième année de la licence de physique est présenté à la fin du document (page 7).

La troisième année de licence du parcours général peut être associée au **Magistère de Physique** de l'Université de Paris dont l'accès est sélectif après la 2^{ème} année de licence.

Semestre 5

Descriptif de l'enseignement	ECTS
Bloc 1	
Physique quantique 1	6
Mathématiques 5	6
Optique ondulatoire et électromagnétisme dans les milieux	6
Projet de Physique Expérimentale / Physique Numérique	6
Bloc 2	
Anglais	3
UE libre	3

Le semestre 5 du parcours général de la Licence de physique porte sur l'enseignement de la physique des ondes de lumière (optique ondulatoire) et de matière (physique quantique), ainsi que des outils mathématiques nécessaires à leur description. Ces enseignements généraux sont accompagnés d'une UE sous forme de projet en physique expérimentale ou numérique (selon le semestre), où l'étudiant vit une expérience de recherche complète (bibliographie, montage ou écriture d'un code numérique, pris de données, rédaction d'un rapport écrit et soutenance orale). Les matières disciplinaires sont complétées par des **enseignements transverses** (anglais, enseignement libre). L'UFR de Physique propose 4 UEs libres concernant l'astrophysique, les systèmes spatiaux, les nanosciences et les interactions entre physique et société.

Semestre 6

Descriptif de l'enseignement	ECTS
Bloc 1	
Projet de Physique Expérimentale / Physique Numérique	6
Mécanique des fluides	4
Bloc parcours	12
Bloc 2	
2 UEs optionnelles	5
Stage	3

Le semestre 6 du parcours général de la licence de physique contient seulement deux enseignements obligatoires (mécanique de fluides et le projet expérimental ou numérique). L'étudiant a ici l'opportunité de personnaliser sa formation, à partir du choix du **bloc parcours** (approche théorique ou expérimentale). Le bloc Approche théorique porte sur des enseignements exclusivement théoriques, tandis que le bloc Approche expérimental privilégie l'apprentissage par l'expérience, en donnant une large place aux Travaux Pratiques.

Bloc parcours : Approche théorique	ECTS	Bloc parcours : Approche expérimental	ECTS
Physique quantique 2	4	Traitement du signal	4
Physique statistique	5	Physique par les capteurs	4
Mécanique analytique	3	Physique expérimentale avancée	4

Les matières disciplinaires du semestre 6 sont complétées par des enseignements transverses, conçus pour faciliter l'orientation de l'étudiant dans l'offre en Master. Les **UEs optionnelles** offrent une introduction aux différentes thématiques de recherche propres à chaque parcours en Master. Le semestre se conclut par un stage

UEs optionnelles	ECTS
Introduction à l'astrophysique générale	2,5
Physique des particules	2,5
Intro. à la Physique de la matière condensée	2,5
Physique macroscopique et des milieux continus	2,5
Relativité restreinte	2,5

IV. EXAMENS et REGLES de VALIDATION

Pour chaque UE, les modalités de contrôle des connaissances (MCC), seront communiquées aux étudiants en début de chaque semestre (modalités d'évaluation, calcul de la moyenne, gestion des absences, ...). Ces modalités sont régies par l'arrêté 2018 n°891 du 23/10/18 voté par le CFVU de l'université et disponible sur le site web de l'établissement.

Validation des Semestres, des UE et des ECUE

En règle générale, les UEs ou ECUEs sont évaluées sous la forme d'un **contrôle continu**, regroupant épreuves de formes variées réparties sur l'ensemble du semestre (écrit/oral, théorique, expérimentale, numérique, ...), combinés ou non à une **épreuve terminale** organisée en fin de semestre et évaluant l'acquisition de l'ensemble du contenu pédagogique de l'enseignement¹. La note finale de l'UE ou de l'ECUE s'obtient par la moyenne pondérée de ces différentes évaluations. **Dès qu'une ECUE ou une UE a une moyenne ≥ 10 , elle est définitivement validée et capitalisée.**

¹ Certains étudiants peuvent bénéficier d'un aménagement d'études et être dispensés de contrôle continu (salariés, sportifs et artistes de haut niveau, ...). La demande doit être faite auprès du secrétariat pédagogique au plus tard un mois après le début de chaque semestre.

Deux sessions d'examen sont organisées au terme de chacun des semestres : **la première et la seconde session, dite de seconde chance**. Cette seconde chance est un droit pour les étudiants. Il n'est pas nécessaire d'avoir passé la première session. La plupart des UEs est concernée par cette seconde chance, mais certains enseignements peuvent toutefois faire l'objet d'une seule et unique session, comme ceux de type projet, de préprofessionnalisation ou les travaux pratiques. Les premières sessions ont lieu en décembre/janvier pour les semestres 1, 3 et 5 et en mai/juin pour les semestres 2, 4 et 6. Les sessions de seconde chance ont lieu fin juin pour tous les semestres.

A l'intérieur d'un semestre, chaque UE a un coefficient (chaque ECUE à l'intérieur des UE en possède également un). Ces coefficients sont généralement représentatifs du poids ECTS des UE/ECUE. Ils permettent de calculer une note pour chaque semestre, par moyenne pondérée, **à condition que les règles de compensation soient respectées** (voir plus bas). **Dès qu'un semestre a une moyenne ≥ 10 , il est validé et capitalisé.**

Règles de compensation

- **Les UEs du bloc 1 se compensent entre elles, si la note plancher de 8 est atteinte pour toutes les UEs qui le composent.** Si une note est strictement inférieure à 8, il n'y a pas de calcul de la moyenne du bloc et donc aucune compensation possible : le semestre correspondant ne peut pas être validé. Si la moyenne des UEs du bloc 1 est ≥ 10 et que la note plancher de 8 est atteinte pour toutes les UEs qui le composent, alors l'ensemble des UEs du bloc est aussi validé par compensation.
- **Les UEs du bloc 2 se compensent automatiquement.** Si la moyenne des UEs du bloc 2 est ≥ 10 , alors l'ensemble des UE du bloc est aussi validé par compensation.
- Un.e étudiant.e peut **renoncer à la compensation automatique entre UE/ECUE** d'un même bloc par demande écrite au jury, avant sa tenue.
- **La validation du bloc 1 est obligatoire** (moyenne ≥ 10) **pour autoriser la compensation avec le bloc 2**
- **Les deux semestres d'une même année universitaire (S1 et S2, S3 et S4, S5 et S6) sont compensables automatiquement**, et dès que la moyenne à l'année est ≥ 10 , l'année est validée. Un semestre dont la note est inférieure à 10 est validé par compensation, et donc toutes les UEs qui le composent sont aussi validées par compensation.
- Un.e étudiant.e qui n'a pas validé un bloc **doit repasser tous les UE/ECUE non validés** de ce bloc (note ≤ 10).
- Les notes de seconde session remplacent celles de la première session.
- Une absence injustifiée à un examen, en session 1 comme en session 2, équivaut à **une défaillance : il n'y a pas de calcul de la moyenne du semestre, et donc aucune compensation possible.** Les justificatifs d'absence sont à fournir au secrétariat pédagogique dans les 8 jours qui suivent la tenue de l'épreuve.

Redoublement

- **Le triplement est interdit.** Un.e étudiant.e ne peut pas s'inscrire trois fois dans la même mention de Licence à l'Université. Tout demande de dérogation à cette règle devra être justifiée par écrit auprès de la commission d'admission et d'orientation de la Licence.

- **Un.e étudiant.e ne peut s’inscrire plus de 5 fois dans la même mention de Licence.** Tout demande de dérogation à cette règle devra être justifiée par écrit auprès de la commission d’admission et d’orientation de la Licence.

V. ENVIRONNEMENT de TRAVAIL

La licence de Physique de l’Université de Paris offre aux étudiant.e.s un environnement humain et matériel très favorable à l’apprentissage afin de les accompagner dans leur réussite universitaire et leur épanouissement personnel :

- Contact personnalisé avec les enseignants
- Association étudiante Phisis7, qui participe à l’animation de la vie étudiante dans tous les parcours de la licence de Physique <https://vie-associative.univ-paris-diderot.fr/associations-etudiante/phisis7>
- CROUS (bourse, logement, restauration, ...)
- Bureau des relations internationales (BRI) pour tout projet de mobilité internationale <https://international.univ-paris-diderot.fr>
- Relais Handicap Diderot qui met en œuvre les aménagements permettant aux étudiants en situation de handicap de suivre leurs études et de participer à la vie étudiante dans les meilleures conditions <https://universite.univ-paris-diderot.fr/structures/le-relais-handicap>
- Bibliothèque universitaire <https://bibliotheque.univ-paris-diderot.fr>
- Environnement numérique de travail (moodle) <https://moodlesupd.script.univ-paris-diderot.fr>
- Service commun de ressources informatiques pédagogiques et technologiques (SCRIPT, plateau informatique en libre accès, logiciel, espace de stockage, mail, ...)
<https://script.univ-paris-diderot.fr/le-script-la-technologie-au-coeur-de-luniversite>
- Centre de ressource en Langues (CRL, logiciel et outils informatiques en libre-service pour l’apprentissage ou le renforcement des langues)
- FabLab <https://script.univ-paris-diderot.fr/bienvenue-au-fablab-paris-diderot>
- Activités sportives et culturelles
<https://sport.univ-paris-diderot.fr> et <https://culture.univ-paris-diderot.fr/accueil-service-culture>

VI. UE LIBRES

Au cours des trois années de licence, les étudiants doivent obligatoirement valider deux UE libres, créditées chacune de 3 ECTS. Il s’agit d’UEs pouvant être prises en-dehors de l’enseignement disciplinaire. Elles sont à prendre au choix parmi un ensemble d’UEs proposées par les différentes composantes de l’Université.

Il y a principalement 3 catégories d’UEs libres qui peuvent être choisies : une UE de sport, une UE scientifique ou littéraire extra disciplinaire, et l’UE « Engagement étudiant » (voir ci-dessous). Les deux premières catégories sont validées suivant les règles habituelles, alors que l’UE « Engagement étudiant » n’est validée que par un résultat (pas de note). La principale contrainte pour le choix d’une UE libre est la contrainte d’emploi du temps, excepté pour l’engagement étudiant qui ne comporte pas d’horaire imposé.

UE engagement étudiant

Pourquoi choisir cette UE ?

S'engager, c'est contribuer à construire la société dans laquelle nous souhaitons vivre, dans un esprit d'ouverture, de solidarité, de responsabilité ; c'est participer à la vie de l'université comme à la vie de la cité. C'est aussi acquérir des compétences figurant sur le diplôme et validées par l'attribution de 3 crédits ECTS (aucune note ne sera attribuée).

Comment choisir cette UE ?

Votre engagement devra être **citoyen et/ou solidaire, bénévole et laïque**. Il est encadré par 3 acteurs : le bureau de la vie étudiante (BVE), l'association et l'enseignant-chercheur référent de votre UFR. Le BVE dispose d'une liste de contacts et des associations sont présentes lors de la JAVA et lors des cafés de l'engagement en début de semestre dans le Hall de la bibliothèque.

L'engagement choisi peut couvrir une année universitaire, mais est validé au titre d'un semestre et une seule fois par diplôme. Il reconnaît un engagement déjà existant (par exemple une responsabilité dans une association étudiante sur le campus ou un investissement dans une association sportive de votre ville), ou permet d'effectuer une première expérience dans une association (par exemple dans le domaine de l'action solidaire, l'aide aux devoirs, la participation à un projet culturel), ou dans certains services de l'université (par exemple le Relais Handicap). Sont exclus de la reconnaissance de l'engagement étudiant : les actions rémunérées, la simple participation aux activités proposées par une association, les stages faisant partie du cursus.

Comment s'inscrire et valider cette UE ?

- 0) Compléter la charte d'engagement et la signer
- 1) Compléter la fiche projet
- 2) Remettre à la structure d'accueil la fiche permettant d'identifier les compétences liées à l'activité
- 3) Faire signer la charte par le responsable de la structure d'accueil et l'enseignant-chercheur référent
- 4) Remettre le dossier au BVE pour validation

L'association transmet au BVE un bilan à mi-parcours et l'issue de votre engagement ; elle fait un point sur la progression de vos acquis et compétences sur le terrain. Les documents sont transmis à votre référent. En avril il sera demandé aux étudiants du premier semestre ainsi que du second semestre de participer à des ateliers obligatoires d'échanges et de restitution d'expérience animés par des représentants du monde associatif et par le Ministère de la ville, de la jeunesse et des sports.

A l'issue de votre engagement, vous devez remettre au secrétariat pédagogique de votre composante et à l'association un rapport de synthèse de 5 pages minimum, qui devra décrire votre action, la stratégie adoptée et les difficultés rencontrées, faire valoir les compétences développées. Une soutenance orale pourra être organisée par l'enseignant référent.

Il est vivement conseillé d'anticiper en prenant contact avec les associations dès septembre.

Horaires d'ouverture du BVE : de 9h30 à 16h30 sauf le vendredi après-midi
Bureau de la Vie Étudiante – Bâtiment des Grands Moulins - RDC Hall A - bve@univ-paris-diderot.fr

Descriptif des enseignements

Troisième année du parcours général
de la licence de Physique

SEMESTRE 5

Descriptif de l'enseignement	ECTS
Physique quantique 1	6
Mathématiques 5	6
Optique ondulatoire et électromagnétisme dans les milieux	6
Projet de Physique Expérimentale / Physique Numérique	6
Anglais	3
UE libre	3

Intitulé UE	Physique quantique I
Crédits ECTS	6
Responsable UE/Equipe pédagogique	E. Boulat
Volume horaire	Cours (36h) : 2x1h30/semaine TD (24h) : 2h/semaine
Semestre	Premier semestre
Pré-requis	Algèbre linéaire, mécanique classique
Programme	Motivations Expérience de Stern Gerlach, systèmes à deux niveaux Postulats: états, kets, opérateurs, mesure, bases, fonction d'onde et son interprétation Dynamique: équation de Schrödinger Problèmes unidimensionnels: marches et puits de potentiel, effet tunnel Oscillateur harmonique Moment cinétique
Acquis attendus	Cette UE constitue une première introduction à la mécanique quantique, qui permettra d'acquérir les concepts fondamentaux de la mécanique quantique et de les mettre en pratique sur des exemples simples.
Organisation pédagogique	cours/TD
Ouvrages de référence	J.J. Sakuraï, J. Napolitano, « Modern Quantum Mechanics » J. L. Basdevant, « Introduction à la physique quantique »
Modalité d'évaluation	Partiel + Examen final Note finale = MAX(examen , (2*examen+partiel)/3)

Intitulé UE	Mathématiques 5
Crédits ECTS	6
Responsable UE/Equipe pédagogique	Ken Sekimoto
Volume horaire	Cours (24h) : 2h/semaine TD (36h) : 2x1h30/semaine
Semestre	1
Pré-requis	Cours de maths et méthodologie du L1+L2
Programme	<p>1) Suites, fonctions, suites de fonctions: convergence simple, uniforme, normale</p> <p>2) Fonctions d'une variable complexe: fonctions standards, trigonométriques, hyperboliques, logarithme. Dérivabilité et formule de Cauchy-Riemann. Séries de Taylor et Laurent. Théoreme de Cauchy et calcul des résidus. Evaluation d'intégrales dans le plan complexe.</p> <p>3) Transformations de fourier. Transformations d'une dérivée, et sinus et cosinus, introduction aux distributions: fonction delta et fonction theta, et leur transformée de fourier. Convolutions</p> <p>4) Equations différentielles partielles linéaires, incluant Laplace, helmholtz, schroedinger. En coordonnées cartésiennes et polaires. Solutions séparables</p> <p>5) Transformations de vecteurs. Notation de sommation. Le delta de Kroneker, symbole de Levi-Civita.</p> <p>6) Statistiques+probabilité</p>
Acquis attendus	L'étudiant(e) aura acquis des outils et compétences mathématiques nécessaires pour se diriger vers un M1 et puis M2 en Physique. Il/elle pourra calculer des intégrales dans le plan complexe ; des transformations de Fourier ; résoudre des Equations différentielles partielles linéaires etc
Organisation pédagogique	cours/TD
Ouvrages de référence	
Modalité d'évaluation	Partiel et Examen. Pas de contrôle continu.

Intitulé UE	Optique ondulatoire et électromagnétisme dans les milieux
Crédits ECTS	6
Responsable UE/Equipe pédagogique	Responsable: Sara Ducci Florent Baboux, Frédérick Bernardot, Julien Browaeys, un missionnaire
Volume horaire	Cours : 36h TD: 24h TP: 9h
Semestre	5
Pré-requis	S1 : UE : Optique géométrique UE : Mathématiques 1 Interaction Maths-Physique S2 : UE : Mathématiques 2 Méthodologie et outils mathématiques pour la physique S3 : UE Électromagnétisme en régime quasi-stationnaire S4 : UE : Ondes et vibrations
Programme	<p>PARTIE 1 : Électromagnétisme dans les milieux</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Équations de Maxwell : polarisation, aimantation, prise en compte des charges et des courants totaux, relations constitutives. 2. Lumière polarisée : production et analyse, biréfringence, manipulation (on utilisera le formalisme de Jones et la sphère de Poincaré), ouverture vers la physique quantique. 3. Modèle de Drude-Lorentz : définition et application dans le cas des milieux diélectriques, (à partir de 2020-21 aussi des conducteurs, plasmas (permittivité, susceptibilité, dissipation, régimes limites et relation de dispersion)). 4. Réflexion et transmission à l'interface entre deux diélectriques : coefficients de réflexion et transmission. <p>PARTIE 2 : Optique ondulatoire</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Interférences : conditions pour observer l'interférence, dispositifs interférentiels par division de front d'onde (trous d'Young, réseaux), par division d'amplitude (Michelson, Fabry-Perot). 6. Diffraction : principe de Huygens-Fresnel, diffraction de Fraunhofer, diffraction de Fresnel. 7. Optique de Fourier : rappels sur la transformée de Fourier, calcul de figures de diffraction, filtrage de fréquences spatiales.
Acquis attendus	<p>Savoir exprimer les grandeurs pertinentes décrivant le comportement des milieux soumis à une onde électromagnétique.</p> <p>Savoir expliquer les différents comportements des milieux en utilisant le modèle de Drude-Lorentz.</p> <p>Savoir exprimer et manipuler la polarisation de la lumière en utilisant le formalisme de Jones.</p> <p>Connaître les conditions pour observer des interférences de la lumière et savoir expliquer le fonctionnement de divers dispositifs expérimentaux (division de front d'onde, division d'amplitude, ondes multiples)</p> <p>Connaître la théorie de la diffraction et l'optique de Fourier (avec application au filtrage spatial)</p>

	<p>Outils mathématiques : algèbre linéaire des matrices (matrices de transfert entre deux milieux, polarisation, interférences à ondes multiples..) ; transformée de Fourier (diffraction de Fraunhofer)</p> <p>Compétences expérimentales : Analyse et manipulation de la polarisation, dispositifs d'interférence, dispositifs de diffraction.</p>
Organisation pédagogique	<p>24 séances de cours magistraux (1,5h) 12 séances de travaux dirigés (2h) 3 séances de TP (3h) – travail en binôme ou trinôme.</p>
Ouvrages de référence	<p>R. Tillet 'Optique physique', de Boeck E. Hecht 'Optics', Addison Wesley F. Bernardot 'Introduction à l'optique électromagnétique' Lavoisier G. Reibmann et G. Rousset 'Poly d'optique ondulatoire'</p>
Modalité d'évaluation	<p>Session principale – Épreuve 1 : durée 1h30, portant sur le programme de la première partie du cours, réalisée avant les vacances de la Toussaint (50% de la note finale) – Épreuve 2 : durée 1h30 portant sur la deuxième moitié du programme, au mois de janvier (50% de la note finale) – Connaissances de TP: évaluées comme question écrite dans l'épreuve 2</p> <p>Session de 2^{nde} chance - Épreuve de 3h divisée en deux parties distinctes de 1h30 : les étudiants repassent uniquement la partie de programme non validée</p>

Intitulé UE	Physique et Société (UE libre)
Crédits ECTS	3
Responsable UE/Equipe pédagogique	Guillaume Blanc
Volume horaire	Cours-TD : 1,5 h x 13 séances
Semestre	5
Pré-requis	Notions en thermodynamique, physique du rayonnement, physique nucléaire, ondes électromagnétiques.
Programme	<ol style="list-style-type: none"> 1) Méthode scientifique : qu'est-ce que la science, comment elle se construit, la méthode scientifique, sciences et croyances (notions de zététique), Internet et la diffusion du savoir, notion de danger et de risque (principe de précaution) 2) Nucléaire et radioactivité : introduction à la radioactivité, interaction des rayonnements avec la matière, notions de radioprotection, applications des rayonnements radioactifs, fonctionnement d'une centrale nucléaire 3) Réchauffement climatique : principes physiques du climat, l'effet de serre, les gaz à effet de serre, les observations du réchauffement climatique, liens avec la société 4) Ondes électromagnétiques et santé : rappels de physique des ondes électromagnétiques, antennes (émissions d'ondes), interaction des ondes EM avec la matière, électrosensibilité, four à micro-ondes.
Acquis attendus	Connaissances liés aux thématiques ci-dessus avec quelques outils de recherche documentaire (utilisation d'Internet) et outils d'affûtage de l'esprit critique (biais cognitifs, science et médias) pour se faire une idée (si possible) objective sur ces débats de société.
Organisation pédagogique	L'enseignement se fait sous forme de classe inversée : un polycopié est distribué aux étudiants lors du premier cours ; les chapitres correspondant à chaque cours doivent être étudiés au préalable. Les séances sont dédiées aux discussions, exercices, et TP sur ordinateur (1 séance). Une séance est dédiée à la formation à la recherche documentaire à la BU.
Ouvrages de référence	Polycopié « physique et société », disponible sur demande.
Modalité d'évaluation	Contrôle continu : 4 courts QCM sur les 4 parties (50 % de la note), un travail bibliographique en petit groupe (avec rapport et soutenance orale, 50 % de la note).

Intitulé UE	Observations en Astronomie et Planétologie (UE libre)
Crédits ECTS	3
Responsable UE/Equipe pédagogique	Stéphane Corbel
Volume horaire	Cours-TD : 1,5 h x 13 séances
Semestre	S1
Pré-requis	Cours de physique, optique et de calcul de base
Programme	La première partie du cours sera dédiée aux observations en astronomie, avec la description d'abord des points forts dans l'histoire de l'astronomie et de l'exploration spatiale, puis on approfondira les lois physiques sur le rayonnement électromagnétique, sur la photométrie et la spectroscopie, avant de présenter les différents outils d'observations en astronomie depuis le sol et l'espace. La deuxième partie du cours sera consacré à la planétologie : présentation des modèles de formation du système solaire, techniques d'observations des corps du système solaire et des exoplanètes, photométrie planétaire. Le cours se terminera avec un voyage dans le système solaire à la découverte des principales propriétés physiques des planètes telluriques et géantes, et des petits corps (astéroïdes, comètes et transneptuniens) sur la base des résultats des missions spatiales passées et en cours, et de l'observation depuis le sol.
Acquis attendus	connaissances de base solide sur les observations en astronomie et sur la planétologie.
Organisation pédagogique	L'enseignement se fera sous forme de cours et TD, ces derniers en interaction avec les étudiants (exercices faites en petits groupes d'étudiants et présentés au tableau)
Ouvrages de référence	Des photocopies seront fournies par l'enseignante. Ouvrage de référence : Le Système Solaire, Encrenaz, Bibring, Blanc, Barucci, Roques et Zarka, CNRS Editions.
Modalité d'évaluation	3-4 vérifications en contrôle continu sur le contenu du cours plus un rapport pour l'examen final sur un sujet de la planétologie à rédiger en binôme.

Intitulé UE	Nanosciences et Nanotechnologies (UE libre)
Crédits ECTS	3
Responsable UE/Equipe pédagogique	Philippe Lafarge
Volume horaire	Cours-TD : 1,5 h x 13 séances
Semestre	5
Pré-requis	Notions en mécanique quantique ; physique du transport.
Programme	Cette UE mettra l'accent sur les processus physiques se produisant dans la matière à l'échelle nanométrique. Son observation et l'évolution du transport seront abordées ainsi que les applications nanotechnologiques, par le biais de matériaux emblématiques tels que les nanotubes de carbone. Une extension brève sera faite vers la science colloïdale.
Acquis attendus	Maitrise des outils théoriques et connaissance des moyens expérimentaux de la physique à l'échelle nanométrique.
Organisation pédagogique	Forme de l'enseignement : cours et discussions d'articles scientifiques dans le domaine des nanotechnologies. Eventuellement, visite de laboratoire (1 séance).
Ouvrages de référence	- Introduction to mesoscopic physics, Y. Imry, Oxford (2002) - Quantum Transport, Y.V. Nazarov and Y.M. Blanter, Cambridge University Press (2009).
Modalité d'évaluation	Présentation orale d'un article + CC à mi-parcours + CC final.

SEMESTRE 2

Descriptif de l'enseignement	ECTS
Projet de Physique Expérimentale / Physique Numérique	6
Mécanique des fluides	4
Bloc parcours au choix : <ul style="list-style-type: none"> • Approche théorique • Approche expérimentale 	12
2 UEs optionnelles au choix : <ul style="list-style-type: none"> • Introduction à l'astrophysique générale • Physique des particules • Introduction à la Physique de la matière condensée • Physique macroscopique et des milieux continus • Relativité restreinte 	5
Stage	3

Bloc parcours : Approche théorique	ECTS	Bloc parcours : Approche expérimental	ECTS
Physique quantique 2	4	Traitement du signal	4
Physique statistique	5	Physique par les capteurs	4
Mécanique analytique	3	Physique expérimentale avancée	4

Intitulé UE	Mécanique des fluides
Crédits ECTS	4
Responsable UE/Equipe pédagogique	Olivier Ronsin / Imane Boucena, Andrew Callan-Jones
Volume horaire	Cours (18h) : 1.5h/semaine TD (15h) : 10 séances de 1h30 TP (9h) : 3 séances de 3h
Semestre	S6
Pré-requis	Physique S2 (mécanique des systèmes de points matériels) Ondes et vibrations S4 (équation d'onde, relation de dispersion...)
Programme	<p>1- Milieu continu, fluide 2- Contraintes, pression, viscosité 3- Hydrostatique : équilibre local, loi de Pascal, interfaces 4- Tension superficielle : loi de Laplace, longueur capillaire, loi de Jurin, mouillage 5- Cinématique : champ des vitesses et des accélérations, déformation, vorticité, écoulements stationnaires, écoulements irrotationnels. 6- Bilans : conservation de la masse, bilan de volume, bilan de quantité de mouvement (nombre de Reynolds, équation d'Euler, équation du son), conservation de l'énergie (Bernoulli) 7- Ecoulement potentiels : écoulements élémentaires, écoulements combinés, ondes de surface.</p> <p>Travaux pratique : Hydrostatique et capillarité – Bernoulli – Ondes de surface</p>
Acquis attendus	Savoir appliquer les équations de l'hydrostatique dans un fluide et à l'interface entre deux fluides ou entre un solide et un fluide. Maîtriser les bilans de masse, volume, quantité de mouvement et énergie et leurs applications dans les écoulements simples. Connaître les bases des écoulements potentiels.
Organisation pédagogique	Cours + TD + TP
Ouvrages de référence	Physique (Hecht – de Boeck); Hydrodynamique physique (Guyon, Hulin, Petit – EDP Sciences); Gouttes, bulles, perles et ondes (de Gennes, Brochard-Wyart, Quéré – Belin).
Modalité d'évaluation	Contrôle des connaissances avec examen terminal : TP 30%– Partiel 30% – Examen terminal 40% Seconde chance : TP 30% – Examen 70%

Intitulé UE	Physique quantique 2
Crédits ECTS	4
Responsable UE/Equipe pédagogique	Etienne Parizot
Volume horaire	Cours (24h) : 2h/semaine TD (18h) : 1h30/semaine
Semestre	S6
Pré-requis	Compréhension des principes et connaissance du formalisme de la Physique quantique, tels que présentés au semestre S5, dans le module « Physique quantique 1 »
Programme	Retour sur la notion de qubit. Intrication. Paradoxe EPR et inégalités de Bell. Information quantique et ordinateurs quantiques.
Acquis attendus	Compréhension de l'intrication et de ses implications. Compréhension de la notion d'information quantique et de ses enjeux.
Organisation pédagogique	Cours et TD (+ supports vidéos)
Ouvrages de référence	
Modalité d'évaluation	Partiel et examen final

Intitulé UE	Physique Statistique L3
Crédits ECTS	5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Eric Huguet
Volume horaire	Cours (24h) : 2h/semaine TD (24h) : 2h/semaine
Semestre	2
Pré-requis	Notions de Thermodynamique : Principes, Temperature, Entropie, Travail, Energie, et, dans une moindre mesure les potentiels (Energie Libre, Fonction de Gibbs,...) . Notions de Physique quantique~: Concepts de bases de la mecanique quantique (les postulats et les grandeurs associees,niveau d'energie, spin),
Programme	<p>1) (2 CM) Objet et outils de la physique statistique-2 CM</p> <p>Intro: Phystat vs Thermo, microscopique vs macroscopique. Nécessité de l'approche proba stat, ordres de grandeurs.</p> <p>Notions de probabilités utilisées en physique statistique (moyenne d'ensemble, écart type, variable aléatoire, fonction de répartition, loi des grands nombres théorème central-limite).</p> <p>Entropie statistique (de Shannon). Lien avec la Thermodynamique: déductible d'un principe unique qui décrit les caracteristiques de l'entropie,</p> <p>2) (2 CM) Description d'un système physique macroscopique a l'équilibre</p> <ul style="list-style-type: none"> -Notion d'état microscopique, principe ergodique ensemble de Gibbs. -Densité d'état, sommation sur les énergies -Exemples~: une part dans une boite macro, N part indépendantes dans une boite macro, Gaz Parfait (GP), approximation de Maxwell-Boltzmann. <p>3) (2 CM) Ensemble microcanonique (Energie fixee, nombre d'états accessibles, grandeurs microcanoniques, limite thermodynamique)</p> <p>4) (2 CM) Ensemble canonique (Température fixée, fonction de partition, grandeurs canoniques, limite thermodynamique)</p> <p>5) (2 CM) Ensemble grand-canonique (Temperature et Potentiel chimique fixés, grande-fonction de partition, grandeurs grand-canoniques, limite thermodynamique)</p> <p>6) (2 CM) Optionnel (en fonction de l'avancement du cours) ~ : Système de particules identiques (bosons, fermions, justification de l'approximation de Maxwell-Boltzmann).</p>

Acquis attendus	Corpus de connaissances du Cours. Connaissance des exemples d'applications standards~ : gaz parfait classique, moment magnetique et spin (gaz, reseau), adsorption, etc.
Organisation pédagogique	Cours et TD classiques, utilisation de l'ENT pour les sujets d'exercices, corrigés, etc.
Ouvrages de référence	Diu B., Lederer D., Gutmann C., Roulet B. << Physique statistique >>, Hermann Eds. Reif F., "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", Waveland Press Eds.
Modalité d'évaluation	Partiel Examen

Intitulé UE	Mécanique Analytique
Crédits ECTS	3
Responsable UE/Equipe pédagogique	Christophe Coste (cours + 1 TD), Christophe Mora (1 TD)
Volume horaire	Cours (18h) : 1h30/semaine TD (18h) : 1h30/semaine
Semestre	S6
Pré-requis	Mécanique du point : cinématique, lois de Newton, énergie cinétique, énergie potentielle.
Programme	Calcul variationnel / Calcul variationnel sous contrainte / Lois de conservations / Formalisme Hamiltonien / Oscillateurs couplés / Chaîne d'oscillateurs et limite continue.
Acquis attendus	Introduction aux méthodes variationnelles dans des contextes divers. Lien entre lois de conservation et propriétés de symétrie. Oscillateurs couplés : Modes propres, fréquences propres, petites oscillations au voisinage d'une position d'équilibre.
Organisation pédagogique	Cours et TD.
Ouvrages de référence	L. Landau et E. Lifchitz, Mécanique H. Goldstein, Classical Mechanics B. van Brunt, The Calculus of Variations
Modalité d'évaluation	Partiel + Examen. Note finale : Sup entre examen et moyenne examen-partiel

Intitulé UE	Physique par les capteurs
Crédits ECTS	4
Responsable UE/Equipe pédagogique	Etienne Rolley / Tristan Baumberger
Volume horaire	Cours (24h) : 2h/semaine TP (20h) : 5 séances de 4h
Semestre	Deuxième semestre (S4 de la licence)
Pré-requis	Mécanique du point & électromagnétisme en régime quasi-stationnaire
Programme	<ul style="list-style-type: none"> - comprendre le principe physique et le fonctionnement de capteurs destinés à mesurer positions, accélérations, température, rayonnement... - mettre en œuvre ces capteurs pour réaliser des expériences simples de mécanique, de thermodynamique ou d'optique.
Acquis attendus	<ul style="list-style-type: none"> - maîtrise de nombreux outils expérimentaux, - réinvestissement et approfondissement des connaissances en mécanique, thermodynamique électromagnétisme vu en licence, - notions de métrologie.
Organisation pédagogique	Le cœur de l'enseignement est constitué par les séances de TP. Les cours/TD sont conçus comme une introduction aux TP.
Ouvrages de référence	
Modalité d'évaluation	Contrôle continu <i>total</i> : tests lors des cours & compte-rendus de TP. Pas de 2 ^{ème} session.

Intitulé UE	Traitement du signal et des données
Crédits ECTS	4
Responsable UE/Equipe pédagogique	Jacques Le Bourlot
Volume horaire	Cours / TD: 11 x 3 h TP: 4 x 3h
Semestre	6
Pré-requis	Mathématiques pour physiciens. Un peu de statistiques serait utile.
Programme	Voir texte ci-dessous
Acquis attendus	Connaissances et/ou compétences (expérimentales, numériques, méthodologiques, ...) qui devraient être acquises à la fin de l'UE
Organisation pédagogique	Cours / TD de 3h sur 1 semestre. 4 séances de TP permettent d'appliquer les méthodes vues en cours sur les résultats de l'UE « Physique expérimentale avancée ».
Ouvrages de référence	* Analyse et traitement des signaux, 2ème édition, Tisserand, Pautex & Schweitzer, Dunod, 2012 * Modern statistical methods for Astronomy, Feigelson & Babu, Cambridge 2012
Modalité d'évaluation	0.8 * Examen + 0.2 * TP

Analyser des données va aujourd'hui beaucoup plus loin que le « simple » traitement du signal tel qu'on l'entend classiquement. Le développement des méthodes dites de « Big data » et/ou de « Machine learning » impose que tout scientifique ait un vernis de base sur ce que recouvre ce vocabulaire.

Ce cours tentera donc de montrer quelques exemples de méthodes classiques ou moins classiques permettant d'aller « chercher de l'information » dans des données, quelle que soit l'origine de celles-ci. Compte tenu du temps disponible, la part traditionnellement consacrée au « traitement du signal » proprement dit est donc réduite. Compte tenu du bagage probable des étudiants, le contenu mathématique est également réduit au minimum et certains formalismes classiques (transformée en z par exemple) à peine esquissés.

En revanche, on tentera de s'appuyer le plus possible sur les données expérimentale acquises dans l'UE de « Physique expérimentale avancée » et de fournir les outils théoriques nécessaires à leur exploitation. Une part d'improvisation, dans la dernière partie du cours, est donc pleinement assumée.

Proposition de programme (en désordre):

- Introduction: exemples de signaux et de données.
- Outils mathématiques. Quelques théorèmes indispensables, rappels de transformée de Fourier, définitions. Fonctions de distribution.
- Echantillonnage et interpolation.
- Corrélation.
- Décomposition et analyse spectrale
- Filtrage et lissage.
- Traitement des images numériques.
- Moindres carrés. Maximum de vraisemblance. Modèles.
- Tests statistiques.
- Séries temporelles.

Intitulé UE	Initiation à l'astrophysique générale
Crédits ECTS	2,5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Simona Mei et Sébastien Rodriguez
Volume horaire	Cours/TD (24h) : 2h/semaine
Semestre	S6
Pré-requis	Notions fondamentales de mécanique, thermodynamique et d'électromagnétisme
Programme	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction à l'Astronomie : coordonnées, magnitudes • Milieu interstellaire, formation des étoiles et des planètes • Le système solaire : atmosphères, surfaces, intérieurs • Planètes extrasolaires : méthode de détection et caractérisation • La Voie Lactée • Les galaxies • Les galaxies dans l'Univers : modèle cosmologique et structure à grande échelle
Acquis attendus	Acquisition de connaissances de base sur l'Astronomie-Astrophysique, ses objets et ses méthodes, au travers des grandes thématiques de recherche actuelles.
Organisation pédagogique	Cours/TD (avec exercices/exemples d'application sur des sujets d'actualité)
Ouvrages de référence	Jean Heyvaerts, Astrophysique
Modalité d'évaluation	Examen écrit final avec questions libres

Intitulé UE	Physique des particules
Crédits ECTS	2,5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Thomas Patzak
Volume horaire	Cours/TD (24h) : 2h/semaine
Semestre	6
Pré-requis	non
Programme	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introduction <ol style="list-style-type: none"> 1. Ordres de grandeur 2. Notion de section efficace 3. Radioactivité 4. Éléments de structure du noyau : charge, rayon, masse (avec formule empirique de Bethe-Weiszacker) 2. Stabilité du noyau <ol style="list-style-type: none"> 1. Désintégrations radioactives : émission gamma, émission alpha, désintégration beta, capture électronique. 2. Fission 3. Physique des particules <ol style="list-style-type: none"> 1. Existence des particules et de leurs antiparticules, en particulier, électron et positron. 2. Panorama rapide des particules élémentaires 3. Interactions fondamentales 4. Classification en particules élémentaires, leptons et quarks. 4. Interactions avec la matière <ol style="list-style-type: none"> 1. Interaction des photons (effet photoélectrique, effet Compton, création paire) 2. Interaction des particules légères et lourdes, formule de Bethe Bloch et pic de Bragg 5. Applications : <ol style="list-style-type: none"> 1. Réacteur nucléaire 2. Datation 3. Imagerie médicale et thérapie avec protons
Acquis attendus	Notions de base de la physique nucléaire et de la physique des particules. Notions de base de la radioactivité et des interactions des particules et de rayonnement avec la matière. Applications dans la société civile (énergie nucléaire, imagerie et traitement médicale, datation)
Organisation pédagogique	20 h Cours + 4 h TD
Ouvrages de référence	<ul style="list-style-type: none"> • D. H. Perkins: "Introduction to High Energy Physics", Cambridge University Press, ISBN: 0-521-62196-8

	<ul style="list-style-type: none"> • G. F. Knoll: "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-07338-5 • A. Bettini: "Introduction to Elementary Particle Physics", Cambridge University Press, ISBN: 978-0-521-88021-3 • W. R. Leo: "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", Springer Verlag, ISBN: 0-387-57280-5 • Particle Data Group, PDG, J. Beringer et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D86, 010001 (2012), http://pdg.lbl.gov/
Modalité d'évaluation	Examen écrit 3h

Intitulé UE	Introduction à la matière condensée
Crédits ECTS	2,5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Christophe Voisin
Volume horaire	Cours : 16 TD : 9 TP:
Semestre	S6
Pré-requis	Physique de L2 + meca Q de L3
Programme	<p>Programme :</p> <p>1- Matière cristalline et matière désordonnée ;</p> <p>2- Cohésion de la matière : comment expliquer la stabilité des cristaux ioniques, métalliques, covalents ?</p> <p>3- Propriétés thermiques : introduction à la notion de phonons ; approches classiques et quantiques ; capacité thermique, température de Debye, loi de Dulong et Petit. Un mot de dilatation thermique ;</p> <p>4- Propriétés électroniques : notion de structure de bandes par analogie avec les phonons ; . Niveau de Fermi ; Comment prédire le caractère métallique ou isolant d'un matériau ?</p> <p>5- transport : conduction dans une bande pleine, partiellement remplie ; modele semi-classique de la conduction, analogie/différences avec modèle de Drude.</p> <p>6- une brève introduction aux semi-conducteurs : electrons et trous, dopage, propriétés optiques ; applications : diodes, photo-voltaïque, transistors...</p> <p>7- quelques mots de magnétisme: spins, interaction d'échange, domaines, champ démagnétisant</p> <p>8- la supra pour les nuls.</p>
Acquis attendus	Connaissances phénoménologiques des grands thèmes de physique des solides. Compétences techniques sur la chaîne linéaire d'oscillateurs couplés et utilisation d'analogies pour traiter des problèmes similaires ; rudiments sur les statistiques quantiques. Isolants/conducteurs.
Organisation pédagogique	Cours/TD
Ouvrages de référence	Ashcroft & Mermin ; Kittel
Modalité d'évaluation	Epreuve écrite, éventuellement basée sur un article de vulgarisation + un exposé de 20 min par binôme/trinôme en fonction du nombre d'étudiants, répartis au cours du semestre.

Intitulé UE	Physique macroscopique et des milieux continus
Crédits ECTS	2,5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Andrew Callan-Jones
Volume horaire	Cours: 14h (ex., 7 séances de 2h) TD: 10h (ex., 5 séances de 2h) TP: 0
Semestre	S6
Pré-requis	- Physique newtonienne - Thermodynamique
Programme	<p>Chapitre 1: Intro à la physique des milieux continus</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Notion de milieu continu <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Intro 1.2 séparation d'échelles 1.3 grandeurs physiques 2. Déformations élémentaires : <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Compression isotrope 2.2 Cisaillement (d'un solide, d'un fluide simple, d'un fluide complexe) <p>Chapitre 2: Elasticité</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Définition 2. Pourquoi l'étudier? 3. Notions de contraintes, déformation et module élastique 4. Origines microscopiques de l'élasticité : <ol style="list-style-type: none"> 4.1 cas cristallin 4.2 cas des polymères 4.3 ordre de grandeurs du module d'Young 5. Elasticité linéaire : cas d'une contrainte normale uniaxiale <ol style="list-style-type: none"> 5.1 loi de Hooke 5.2 énergie libre 5.3 contraction transverse 6. Déformation sous contrainte uniforme <ol style="list-style-type: none"> 6.1 déformation 6.2 changement relatif de volume 6.3 énergie libre 6.4 ordres de grandeur 7. Contrainte de cisaillement <ol style="list-style-type: none"> 7.1 loi de Hooke pour cisaillement 7.2 énergie libre

	<p>8. Introduction au formalisme tensoriel : tenseur de contraintes</p> <ul style="list-style-type: none"> 8.1 barre de traction 8.2 généralisation de la notion de contrainte <p>9. Suite formalisme tensoriel : les déformations</p> <ul style="list-style-type: none"> 9.1 translation, rotation, déformation 9.2 matrice des déplacements 9.3 signification physique du matrice des déplacements 9.4 tenseur des déformations 9.5 propriétés du tenseur des déformations 9.6 changement relatif de volume 9.7 exemples <p>10. Lois de comportement d'un matériau</p> <ul style="list-style-type: none"> 10.1 contraintes et déformations : récapitulatif 10.2 comportements modèles 10.3 essai de traction (ou compression) uniaxiale 10.4 comportement expérimental d'un matériau 10.5 loi de comportement élastique linéaire <p>Chapitre 3: Fluides complexes</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Introduction 2. contrainte, déformation et taux de déformation 3. lois constitutives: <ul style="list-style-type: none"> 3.1 cisaillement d'un solide et d'un liquide 3.2 visco-élasticité linéaire (solide parfait, fluide newtonien, fluide Maxwell, solide Kelvin-Voigt) 3.3 comportement non-linéaire 3.4 anisotropie des contraintes normales
Acquis attendus	Connaissances larges des notions de la physique de des milieux continus. Ce UE devrait préparer les étudiant.e.s qui souhaitent poursuivre le M1 de physique macro-vivo.
Organisation pédagogique	Cours+TD
Ouvrages de référence	<i>Physique de la matière molle</i> par Brochard-Wyart, Nasso, Puech (Dunod) <i>Soft Condensed Matter</i> par R. A. L. Jones (Oxford) <i>Soft Matter Physics</i> par Masao Doi (Oxford) <i>Soft Matter Physics : an Introduction</i> par Kleman et Lavrentovich (Springer)
Modalité d'évaluation	Examen terminal (3h)

Intitulé UE	Relativité restreinte
Crédits ECTS	2,5
Responsable UE/Equipe pédagogique	Étienne Parizot
Volume horaire	Cours/TD (24h) : 2h/semaine
Semestre	S6
Prérequis	Cours de mécanique classique (L1 et L2)
Programme	<ul style="list-style-type: none"> - Approfondissement de la notion d'espace et de temps en Physique classique, notion de distance et de durée, notion de référentiel et de système de coordonnées - Homogénéité de l'espace, uniformité du temps - Référentiel « galiléen », loi d'inertie, principe de Relativité - Procédures de synchronisation des horloges : impossibilité de définir une notion absolue de simultanéité - Espace et temps : notion d'« événement » - Changement de référentiel : nécessité de la transformation de Lorentz - Existence d'une « constante de structure » de l'espace-temps, appelée vitesse de la lumière - Existence et propriétés métriques d'un espace physique à 4D : l'espace-temps de Minkowski - Diagramme d'espace-temps, cône de lumière, passé, futur, ailleurs - Composition des vitesses, « dilatation des temps », « contraction des longueurs » - Cohérence de la Relativité, faux paradoxe des jumeaux de Langevin - Effets divers : aberration angulaire, effet Doppler, vitesse apparente superluminique... - Cinématique relativiste, notion de quadrivecteur, vitesse et accélération - Dynamique relativiste : force, quantité de mouvement, énergie... à 4D ! - $E = mc^2$! - Relativité et électromagnétisme
Acquis attendus	<ul style="list-style-type: none"> - Compréhension de la notion d'espace-temps - Connaissance de la structure de l'espace-temps de Minkowski et de ses implications cinématiques et dynamiques - Familiarité avec la transformation de Lorentz et avec les diagrammes d'espace-temps
Organisation pédagogique	<p>Cours de type « cours magistral », mais largement ouvert aux interactions : exposé des notions centrales, discussion de leur signification physique/philosophique, démonstration des principaux résultats, examen de quelques exemples emblématiques.</p> <p>NB : tous les cours seront filmés et accessibles sur Youtube.</p>
Ouvrages de référence	
Modalité d'évaluation	Examen final écrit (peut-être complété par quelques exercices d'application en DM si l'avancement du cours et le calendrier le permettent)

