



# / LIVRET D'ENSEIGNEMENT SCIENCES

**2017-2018**

## LE MOT DU DIRECTEUR

Vous trouverez dans cette brochure une présentation générale des cours, séminaires et enseignements proposés par les départements scientifiques de l'École normale supérieure et par les équipes de recherche qui y sont implantées. Des informations plus détaillées sur l'organisation et le contenu des enseignements sont disponibles sur le site de l'École, constamment réactualisé au cours de l'année. Destinée d'abord aux nouveaux arrivants, normaliens élèves, normaliens étudiants boursiers ou non de la sélection internationale, mais aussi aux enseignants-chercheurs nouvellement nommés et aux visiteurs français ou étrangers, la brochure offre un panorama de l'École scientifique. Elle témoigne de l'extrême vitalité intellectuelle de notre institution, et de la variété des parcours proposés.

### Liberté intellectuelle et tutorat individuel

Les études à l'École normale supérieure se caractérisent par l'autonomie accordée à chaque élève. Chacun d'entre eux est suivi et conseillé, durant sa scolarité, par un tuteur (« caïman », enseignant-chercheur ou chercheur) avec lequel il élabore, chaque année, un « programme d'études ». Ce programme inclut, outre les enseignements requis par le cursus universitaire choisi, une riche palette d'activités intellectuelles qui permettent à l'étudiant d'acquérir inventivité et surplomb dans les disciplines étudiées. Le principe de liberté, au fondement de la formation intellectuelle propre à l'ENS, permet aussi à un élève d'interrompre sa scolarité pour étudier ou se former dans une université ou une institution étrangère, pour acquérir de nouvelles compétences ou encore pour préparer, dans les meilleures conditions, son orientation vers une autre discipline. L'élaboration par chaque normalien de son parcours d'études individuel, en interaction étroite avec son tuteur et son directeur des études, lui permet de préparer au mieux son avenir.

### L'interdisciplinarité comme idéal

La coexistence entre scientifiques et littéraires en un même lieu de vie, la richesse et la diversité des domaines couverts par les enseignements de l'École incitent fortement les normaliens à concevoir leur formation dans l'interdisciplinarité. L'organisation des enseignements leur offre la possibilité d'approfondir leur discipline, mais aussi d'en explorer les frontières. Une telle interdisciplinarité est en phase avec les possibilités nouvelles de la recherche contemporaine.

### Une formation par la recherche

L'École normale supérieure a pour ambition de permettre à ses normaliens de devenir rapidement de véritables chercheurs. L'offre de formation est orientée à cette fin (depuis les cours d'initiation jusqu'aux séminaires de recherche, où les normaliens sont eux-mêmes placés en situation de jeunes chercheurs). L'encadrement pédagogique est assuré par un corps d'enseignants-chercheurs qui font bénéficier leurs normaliens des avancées de leurs travaux et les y associent. Enfin, de nombreux professeurs et chercheurs invités de renommée internationale participent à l'initiation des normaliens aux recherches de pointe dans leur domaine. C'est ainsi toute l'activité de l'École et de ses laboratoires qui contribue à l'enseignement dispensé à l'École normale supérieure.

## Une École ouverte au monde

Les normaliens ont vocation à devenir des étudiants internationaux, aptes à travailler dans le monde entier. Ils sont très tôt initiés à la diversité des systèmes universitaires internationaux et vivement encouragés non seulement à se perfectionner dans les langues étrangères qu'ils connaissent, mais aussi à en apprendre de nouvelles parmi les nombreuses langues enseignées à l'ENS. La présence sur notre campus de nombreux étudiants, pensionnaires, et chercheurs étrangers est une richesse inestimable.

## Des cursus différenciés, dont le master est le pivot

La scolarité des normaliens élèves entrés par concours est de quatre ans, celle des normaliens étudiants de trois ans. Dans les deux cas, elle inclut l'obtention de la licence et d'un master. Il peut s'agir de l'un des masters cohabilités par l'École avec les institutions partenaires (universités parisiennes, EHESS, etc.) ou de tout autre master recherche organisé par une autre institution. De nombreux normaliens préparent également l'agrégation, surtout dans les disciplines littéraires. Enfin, le cursus normalien s'achève le plus souvent par la préparation d'une thèse.

## Le diplôme de l'ENS : une formation intellectuelle d'exception

Le diplôme de l'ENS, obligatoire pour tous les normaliens, consiste en un master accompagné d'une formation complémentaire « maison ». Cette formation correspond à un certain volume d'enseignements que le normalien doit valider. Il est également possible, dans le cadre du diplôme, de faire valoir une participation active à des séminaires, des stages de recherche en France ou à l'étranger, voire des activités de tutorat auprès de lycéens issus de milieux défavorisés. Ces activités, qui sanctionnent, en plus de l'enseignement, l'excellence et l'originalité de la formation intellectuelle dispensée à l'ENS, font l'objet de procédures d'évaluation spécifiques. Parmi les éléments de formation complémentaire requis en complément du master, pour l'obtention du diplôme de l'ENS, un tiers au moins doivent appartenir à un champ disciplinaire distinct de celui du master. Dans le cas où le normalien dispose d'au moins deux-tiers d'éléments formant un ensemble cohérent dans une autre discipline, le diplôme peut lui être décerné avec mention d'une « mineure ». Le diplôme est généralement acquis en trois ans.

## Notre École, votre École

L'École normale supérieure est une grande école de recherche universitaire, unique en son genre par la qualité de ses étudiants, la formation qu'elle dispense et la coexistence entre les disciplines les plus diverses. Forte d'un passé prestigieux, elle est résolument ouverte vers l'avenir, comme l'atteste la dynamique de ses laboratoires de recherche et leur grande reconnaissance internationale. Un de ses défis majeurs, pour les années qui viennent, consistera à inscrire pleinement son système de formation au plus haut niveau de visibilité internationale, tout en préservant sa profonde originalité. La présente brochure est destinée à vous faire connaître les enseignements et les recherches conduits dans l'École scientifique. Dans ses campus situés au cœur de Paris, l'ENS est le lieu d'une vie intellectuelle et scientifique d'une immense richesse, en contact quotidien avec les recherches les plus avancées et ouverte à la vie universitaire internationale.

Je ne doute pas que vous allez vivre ici quelques uns des moments les plus forts de votre vie.

Bienvenue à l'ENS

Marc MÉZARD  
Directeur de l'École normale supérieure

# LE MOT DU DIRECTEUR ADJOINT SCIENCES

## Le projet pédagogique, se former par la recherche

Grâce à une formation culturelle et scientifique de très haut niveau en contact étroit avec ses chercheurs, l'École prépare des normaliens (élèves, étudiants français ou étrangers) qui se destinent à une grande diversité d'activités professionnelles : recherche scientifique fondamentale ou appliquée, enseignement supérieur et haute fonction publique, postes à responsabilité des établissements publics européens ou des entreprises publiques ou privées, création d'entreprise, création de start-up ...

La formation suivie à l'ENS est organisée par le « diplôme de l'ENS », un diplôme d'établissement reconnu par le Ministère comme conférant le grade master. Tous les normaliens s'inscrivent à ce diplôme durant toute la scolarité.

La liberté intellectuelle est une des caractéristiques majeures de l'École. La formation par la recherche qu'elle dispense s'appuie sur des projets individuels et personnalisés qui sont construits avec les directeurs des études, en interaction avec un tuteur personnel. La formation et le diplôme se préparent principalement au sein d'un département auquel le normalien s'affilie à l'issue de la période de rentrée.

L'École est structurée en 15 départements dont 7 scientifiques (Biologie, Chimie, Informatique, Géosciences, Mathématiques, Physique, Sciences cognitives), avec un centre de formation transversal dédié aux thématiques de l'environnement (CERES) et un autre dédié à l'apprentissage des langues étrangères (ECLA). Dans ce cadre de formation par la recherche, la multidisciplinarité au meilleur niveau, les ouvertures sur la société, les expériences internationales au travers de stages, l'apprentissage des langues, les cursus mixtes permis par de nombreux partenariats à l'étranger, les expériences « hors les murs » au travers d'actions citoyennes, les stages en entreprises ou administrations sont fortement encouragés.

Au bout de deux années de formation, généralement dispensées à l'ENS et qui comprennent un stage long à l'étranger, le normalien choisit le plus souvent un M2 recherche que ce soit à l'ENS ou dans les universités parisiennes, voire au-delà. La quatrième année permet de consolider sa formation, avec des ouvertures possibles vers des thèmes nouveaux ou des stages divers, afin de préparer son projet de thèse ; elle permet aussi à celui qui le souhaite de passer l'agrégation.

Avec 4 années à l'ENS et le plus souvent 3 années supplémentaires en thèse, un conscrit scientifique se trouve face à 7 années de formation pour construire son propre parcours scientifique en interaction avec son tuteur, en contact avec les laboratoires et avec les chercheurs. Il aura également l'occasion de voyager au cours de ses stages de recherche, ce qui lui permettra d'élargir ses horizons scientifiques et culturels y compris linguistiques.

Si les 2/3 des normaliens se destinent à des carrières académiques en France ou à l'étranger, de nombreux débouchés s'offrent à eux. L'ENS a mis en place des accords de partenariat internationaux ainsi que des accords de double-diplôme avec des grandes écoles d'ingénieur.

## Liberté intellectuelle, esprit d'initiative et tutorat individuel

L'ENS valorise l'autonomie de ses normaliens grâce à un tutorat individuel : tout normalien élabore son programme d'études personnel en étant conseillé et orienté par un tuteur (agrégé répétiteur, enseignant chercheur ou chercheur) afin de faire son choix parmi les nombreuses offres de formation. Ces choix se concrétisent dans son contrat d'étude. Outre l'obtention d'un diplôme national (master), le programme d'études annuel d'un normalien inclut des cours et séminaires relevant de différentes disciplines, ainsi qu'une formation en langue vivante sans parler des nombreux stages en laboratoires de recherche publics ou privés en France et à l'étranger, en administration, en entreprise, *etc.* Ce programme valorise également l'engagement dans la vie étudiante au sein de l'établissement. Le normalien peut en outre réaliser deux années de césure au cours de sa scolarité (à l'exception de sa première année). Pendant ces années de césure, il s'inscrit à l'ENS afin de pouvoir valoriser les expériences acquises pendant ces périodes (stages, engagement associatif, *etc.*) dans le diplôme de l'école normale supérieure et bénéficier d'une couverture et de conventions de stage offertes par l'ENS.

## L'interdisciplinarité

L'ENS privilégie les connaissances fondamentales et associe à l'approfondissement d'une discipline, la familiarité avec d'autres domaines dans le cadre de la préparation du diplôme de l'ENS qui vient sanctionner un parcours basé sur un master recherche (la majeure) et des cours d'ouverture hors spécialité (la mineure). Cette formation diplômante peut se compléter par des cours à vocation culturelle.

La richesse, la diversité et l'organisation des domaines d'enseignement, répartis en départements d'enseignement et de recherche, scientifiques et littéraires, permettent aux élèves d'explorer les frontières de leur discipline et de développer une démarche intellectuelle fortement interdisciplinaire, qu'elle soit dans une optique d'obtention de diplôme ou d'ouverture culturelle. Ainsi, au delà des double-cursus classiques (math-info, math physique, physique-chimie, chimie-bio, *etc.*), existent aussi des passerelles avec les départements littéraires.

## Une formation à la pointe de la recherche internationale

L'activité scientifique de l'École et de ses équipes de recherche contribue à faire de l'enseignement dispensé à l'ENS une véritable formation par la recherche, quelle que soit la voie que les normaliens choisiront ensuite pour leur carrière professionnelle. Enseignements, cours d'initiation ou séminaires de recherche sont assurés par un corps d'enseignants chercheurs qui font bénéficier aux normaliens des avancées de leurs travaux et les y associent.

## Une formation ouverte sur le monde

Les normaliens sont incités, en fonction de leurs objectifs professionnels, à réaliser un ou plusieurs stages d'ouverture « hors les murs » (en administration, en ONG, en entreprise, *etc.*) valorisés dans le cadre de leur diplôme d'établissement. En outre, les normaliens ont vocation à devenir des étudiants internationaux, aptes à travailler dans le monde entier. Très tôt initiés à la diversité des systèmes universitaires et aux langues étrangères, ils effectuent des séjours d'un ou deux semestres dans des universités partenaires ou des stages de recherche dans des laboratoires étrangers. A ce titre, les normaliens sont incités à suivre la préparation du test de Cambridge (niveau advanced) organisée par le département ECLA au cours de leur cursus.

Yves LASZLO  
Directeur adjoint Sciences

# SOMMAIRE

Préparation au diplôme du *Cambridge  
Advanced Certificate*

Département de Biologie

Département de Chimie

Département d'Études Cognitives

Département des Géosciences

Département d'Informatique

Département des Mathématiques et  
Applications

Département de Physique

Centre d'Enseignement et de Recherches sur  
l'Environnement et la Société

Enseignements, Activités d'ouverture

Contacts utiles

Annexe : Vademecum du Diplôme de l'ENS

Glossaire

# Préparation au diplôme du *Cambridge Advanced Examination*

## **Code : ECLA-CAE-A**

Niveau : intermédiaire / avancé

Semestre : toute l'année

Obtention du test : 12 ECTS

Responsable : Isabelle de Vendevre

Type d'enseignement : session en binôme

Volume horaire : 8h sur deux semaines consécutives ou sur un mois maximum

Pouvoir attester d'un niveau avancé en anglais sanctionné par un diplôme immédiatement lisible est devenu aujourd'hui un atout majeur.

Tel est le but de ce module qui propose une préparation au diplôme du *Advanced Certificate in English* (niveau C1 dans le CECRL) délivré par l'Université de Cambridge.

La première partie prépare à l'examen d'expression écrite (*Use of English and Writing Skills*). Les essais (entre 220 et 260 mots), rédigés d'après une liste de sujets transmise par l'enseignant, sont corrigés individuellement.

La seconde partie (*Listening and Speaking Skills*) a pour objet de préparer aux tests de compréhension audio, ainsi qu'au format particulier de l'exercice d'échange à la fois avec un jury et entre candidats.

Sur rendez-vous (créneaux de 2h)

Lundi : 10h-12h, 18h-20h

Mardi : 10h-12h

Vendredi : 15h-17h

Escalier de la direction, 3e étage, Pôle Ressources Lettres.

## Département de Biologie de l'École normale supérieure IBENS

Site web : <http://www.biologie.ens.fr/depbio/>

Adresse :

Département de Biologie

46, Rue d'Ulm

75005 Paris



Le département de biologie offre, dans le cadre de la Formation Interdisciplinaire en Biologie (FIB) des enseignements de haut niveau en Sciences de la Vie. La FIB dispense, de la Licence au Master, un enseignement pluridisciplinaire théorique large, combiné à une initiation à la vie des laboratoires dès la première année. Comme il est de règle à l'ENS, l'accent est mis sur des parcours individualisés dont le tutorat est assuré par des chercheurs du département.

L'ouverture aux autres disciplines scientifiques est assurée de différentes manières : (1) sous forme de cours dans d'autres disciplines (mathématiques, physique), intégrés dans la maquette du diplôme national de licence ou de master ; ces cours ont été pensés spécifiquement pour des biologistes, sans compromis sur le niveau nécessaire, et sont dispensés dans le département par des chercheurs venant des autres départements de l'ENS ou d'institutions voisines (Collège de France, Institut Curie) ; (2) sous forme de cours optionnels offerts par d'autres départements de l'école (Chimie, Géosciences, Études Cognitives) qui peuvent être choisis dans le cadre du Diplôme de l'ENS ; (3) les étudiants qui le souhaitent sont aidés à construire des parcours mixtes, notamment en intercalant dans leur cursus (généralement entre le M1 et le M2) un semestre ou une année complète d'étude dans une autre discipline.

De plus, le Département de Biologie propose en collaboration avec d'autres départements scientifiques de l'ENS des parcours mixtes clairement identifiés, comme « Mathématiques-Biologie » et « Bio-Géosciences », à réaliser sur trois ans.

L'ouverture est enfin marquée par les enseignements de biologie que le département propose aux étudiants des autres départements. Des cours d'initiation spécifiquement conçus *pour des non-biologistes* sont offerts au premier et au second semestre, et sont suivis majoritairement par des étudiants des départements scientifiques (mais quelques philosophes, par exemple, les ont suivis avec succès). Ceux qui le souhaitent peuvent ensuite avoir accès (avec ou sans prérequis, selon les cas) à des cours du cursus de biologie, au prix parfois de lectures préalables conseillées par le responsable de l'enseignement, toujours prêt à guider les non-spécialistes dans leurs choix.

L'initiation à la recherche commence dès la première année d'étude à l'école. Elle implique notamment des stages en laboratoire tout au long de la scolarité (un stage filé sur toute l'année de licence (dit d'Immersion Expérimentale) ; un semestre en M1, un semestre en M2). Elle se traduit aussi par des cours dont une partie est constituée de conférences adaptées au niveau des étudiants, données par des spécialistes de la question traitée, et discutées pendant le cours. Enfin cette initiation comporte également des rencontres organisées entre des chercheurs et les étudiants.

Le corps enseignant est composé des enseignants-chercheurs statutaires du département, et d'un grand nombre de chercheurs travaillant dans le département de biologie, de chercheurs et d'enseignants-chercheurs d'autres départements de l'école (physique, chimie) et de chercheurs et d'enseignants-chercheurs d'institutions associées (Institut Curie, UPMC, MNHN, Collège de France, Institut Pasteur).

### **Troisième année de licence (L3)**

La troisième année de Licence offre aux étudiants une formation à la fois théorique et expérimentale en Biologie contemporaine. Cette formation de haut niveau met l'accent sur des aspects intégrés et quantitatifs. L'apprentissage à la recherche par la recherche fait partie intégrale de cette formation.

Des bases larges mais essentielles sont posées par un éventail de cours hebdomadaires en Biologie Cellulaire, Écologie, Évolution, Biologie Moléculaire et Génétique, Biologie du Développement, Neurosciences, Génomique Fonctionnelle et Bioinformatique, permettant une individualisation du parcours au second semestre. Des enseignements interdisciplinaires en Mathématiques et Physique sont proposés pour mieux préparer les étudiants à la recherche. Il est également possible de suivre des modules optionnels de spécialisation dans d'autres Départements de l'Ens, notamment en Chimie et Géosciences.

Pour favoriser l'apprentissage à la recherche par la recherche, chaque étudiant est associé à un laboratoire de l'Institut de Biologie de l'Ens. Dans ce cadre (dit Immersion Expérimentale), chaque étudiant développe un projet de recherche qui est construit avec l'équipe d'accueil de façon hebdomadaire tout au long de l'année. Les étudiants peuvent suivre d'autres UE optionnelles pour leur Diplôme de Scolarité Normalienne : Ateliers Méthodologiques, Bioinformatique génomique, Biologie et Société, Écologie Expérimentale, Histoire de la Biologie, Mathématiques, Modélisation Mathématique des Systèmes Biologiques, Physique pour la Biologie, Projet de Bioinformatique.

A l'issue de la Licence, les étudiants continuent leur formation par la recherche au cours d'un stage obligatoire en laboratoire de 8 semaines durant les mois de juin et juillet. Ce stage fait partie des UE obligatoires pour le Diplôme de Scolarité Normalienne et donne lieu à un rapport écrit et à une soutenance orale à l'automne.

### **Première année de master (M1 IMaLiS)**

La première année du master interdisciplinaire en sciences du vivant (IMaLiS, Interdisciplinary Master in Life Sciences) offre un large éventail d'enseignements dans les domaines d'excellence des laboratoires du département de Biologie de l'ENS : biologie cellulaire et développement, génétique et génomique, neurosciences, biologie des systèmes, évolution et écologie.

Cette offre inclut des enseignements de physique et de mathématiques, en prolongement des options offertes en troisième année de licence. Des cours transversaux sont en outre proposés, abordant des questions fondamentales de la biologie au travers d'approches croisées. L'emploi du temps a été construit pour donner le maximum de flexibilité aux choix effectués par les étudiants (cinq cours dans le cadre du diplôme national, et un cours additionnel pour le Diplôme de Scolarité Normalienne). Le second semestre est consacré à un stage dans un laboratoire de recherche, en général à l'étranger.

### **Deuxième année de master (M2 IMaLiS)**

Une partie des étudiants du département choisissent pour leur M2 de poursuivre le master IMaLiS, dispensé en anglais et enseigné à l'ENS. Cette année est proposée par le département de Biologie avec ses partenaires du Laboratoire d'Excellence MemoLife (le Centre Interdisciplinaire

de Recherche en Biologie du Collège de France et l'ESPCI) et en collaboration avec l'Institut Curie et l'Institut Pasteur.

IMaLiS accueille également des étudiants venant de Grandes Écoles d'ingénieurs, ou des facultés de sciences, d'ingénierie et de médecine d'universités françaises et étrangères. Elle leur permet de se construire une formation de pointe, tout en conservant une forte composante interdisciplinaire. Les étudiants qui ne retrouvent pas leurs centres d'intérêt scientifiques dans le M2 IMaLiS s'inscrivent dans des parcours de M2 co-habilités avec l'ENS, mais majoritairement enseignés à l'extérieur (à l'Université Pierre et Marie Curie, ou à l'Université Paris-Sud).

**Sur l'ensemble de ses deux années, IMaLiS propose une formation interdisciplinaire sans équivalent en France, permettant aux étudiants de se former au carrefour de la biologie des systèmes, de la génomique, des neurosciences expérimentales et computationnelles et de la modélisation en écologie et biologie évolutive.**

**Enfin, la formation du Département de Biologie permet de candidater à des cursus de type double Diplôme ENS-AgroParisTech (élèves) ou ENS-Mines ParisTech (élèves et étudiants) après le M1. , Elle donne également accès à tous les normaliens biologistes à l'Institut de Technologie et d'Innovation (ITI) de PSL après le M2.**

## LES ENSEIGNEMENTS

---

Code : BIO-L3-AM1-S1 / BIO-L3-AM2-S1 / BIO-L3-AM3-S1 / BIO-L3-AM4-S2

### Ateliers Méthodologiques (AM 1-4)

Niveau : L3

Semestre :

AM1	S1
AM2	S1, ECTS : 3
AM3	S1, ECTS : 3
AM4	S2, ECTS : 3

Responsables :

AM1	Pierre VINCENS
AM2	Barbara DESPRES
AM3	Andréa DUMOULIN
AM4	Barbara DESPRES

Autres enseignants : Morgane THOMAS-CHOLLIER

Type d'enseignement : *TD*

Volume horaire :

Objectif et description du cours :

Le module "Ateliers Méthodologiques" est un enseignement original, constitué de travaux dirigés, ateliers et discussions, qui vise à familiariser les normaliens biologistes avec des pratiques spécifiques au monde de la recherche.

Ce module est divisé en 4 parties indépendantes :

**AM1 - Environnement informatique, semestre 1 (obligatoire)**

Prise en main de l'environnement informatique nécessaire pour suivre l'enseignement au Département de Biologie.

**AM2 - Lecture d'articles, 3 ECTS, semestre 1 (obligatoire)**

Ces séances permettent aux étudiants de se familiariser avec la lecture de publications scientifiques en anglais. Sont abordés la structure et l'organisation du contenu de différents types de publications scientifiques. Les compétences travaillées lors de ces séances sont nécessaires dans des enseignements ultérieurs de L3.

**AM3 - Soft skills, 3 ECTS, semestre 1 (optionnel)**

Préparation aux aspects pratiques concernant les démarches de recherche de stage, d'écriture du rapport de stage et de sa présentation. Rédaction de CV. Introduction à la vie et à l'organisation des laboratoires. Information programmes d'échange internationaux.

**AM4 - Présentation orale d'articles, 3 ECTS, semestre 2 (obligatoire)**

Ces séances permettent aux étudiants de se familiariser avec la restitution d'un article sous forme de présentation orale. Les compétences travaillées lors de ces séquences sont nécessaires dans des enseignements de fin de L3, et de M1. Validation par présentation orale.

---

Code : BIO-L3-109-S1

### Bioinformatique Génomique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Morgane THOMAS-CHOLLIER & Pierre VINCENS

Type d'enseignement : *CM et TD*

Volume horaire :

Objectif et description du cours :

L'objectif de ce module est de présenter aux étudiants les bases de la bioinformatique génomique. Le cours comporte une présentation des banques de données du domaine et de quelques algorithmes fondamentaux, notamment pour l'alignement de séquences. Il introduit aussi quelques approches d'analyses utilisées pour l'expression du génome. Enfin, il aborde quelques méthodes de phylogénie (phénétique, cladistique...) en complément des concepts vus dans d'autres enseignements de L3.

Organisé sous forme de cours et de TD.

Validation : Compte-rendu d'un miniprojet.

---

**Code : BIO-L3-106-S1**

## Mathématiques I : Ce qu'un biologiste ne peut ignorer

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Amaury LAMBERT (UPMC)

Type d'enseignement : *Cours, TD*

Volume horaire : 14 cours de 3h

Prérequis pour le cours :

Programme de mathématiques de classes préparatoires, ou au minimum du L1-L2 de l'UPMC.

Objectif et description du cours :

Module interdisciplinaire.

Maîtrise par les étudiants des concepts mathématiques les plus répandus en biologie. Aptitude à résoudre des exercices de niveau modéré, à programmer des simulations numériques, à comprendre les méthodes mathématiques les plus fréquemment utilisées en modélisation (hors statistiques), et à approfondir cette compréhension seul le cas échéant.

Programme :

Rappels et compléments d'algèbre linéaire (changement de base, diagonalisation ; déterminant, polynôme caractéristique, théorie de Perron-Frobenius des matrices à coefficients positifs).

- Fonctions de plusieurs variables (différentiation, matrice jacobienne, changement de variables en dimension 2 ou 3).
- Équations différentielles et systèmes dynamiques (linéarisation, cycles, bifurcations, théorème de Poincaré-Bendixson).
- Probabilités (processus de Poisson, chaînes de Markov, processus de branchement, marche aléatoire, théorème ergodique).
- Introduction à la programmation (Scilab, Mathematica).

Évaluation : Examen écrit

---

**Code : BIO-L3-108-S1**

## Biologie et société

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4.5

Responsable : Eric VINDIMIAN, Pierre-Henri GOUYON

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Cours /TD*

Volume horaire : 12 x 2 heures

Objectif et description du cours :

Analyse des sujets éthiques et sociétaux en relation avec les recherches actuelles dans le domaine biomédical.

---

**Code : BIO-L3-107-S1**

## Biostatistiques

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre VINCENS & Lucie ZINGER

Autres enseignants : Henrique TEOTONIO

Type d'enseignement : CM / TD

Volume horaire : 8 séances de 3 heures

Objectif et description du cours :

Les méthodes statistiques sont d'un usage général en Biologie. Le but de cet enseignement est de présenter les principaux tests et leurs applications en Biologie. Le module s'articule autour de cours et travaux dirigés et d'un projet encadré s'appuyant sur un cas réel d'étude statistiques de données. Ces études de cas feront appel au logiciel R présenté dans le module "Outils informatiques pour le biologiste".

L'évaluation combine un examen écrit et la présentation orale du projet.

---

**Code : BIO-L3-203-S2**

## Développement

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Jean-François BRUNET

Type d'enseignement : CM

Volume horaire : 13 cours de deux heures

Objectif et description du cours :

Le cours se veut une introduction à la biologie du développement qui, tout en couvrant plusieurs chapitres classiques de la discipline, la situe dans divers contextes : celui de sa propre histoire, celui de ses liens avec d'autres disciplines (biologie cellulaire, bioinformatique, physiologie), celui d'une « histoire naturelle » au sens ancien et holistique du terme (qui, par exemple, familiarise les étudiants avec diverses espèces animales et leur cycle de vie), enfin celui de l'évolution biologique, qui, à bien des égards, est une évolution du développement.

La validation se fera par un examen écrit.

---

**Code : BIO-L3-104-S1**

## Écologie & Évolution I

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Régis FERRIERE & Henrique TEOTONIO

Autres enseignants : David Claessen, Renaud de Rosa, Régis Ferrière, Pierre-Henri Gouyon, Stéphane Legendre, Michel Loreau, Marc-André Sélosse, Lucie Zinger.

Type d'enseignement : CM

Volume horaire : 13 cours de 3 heures

Objectif et description du cours :

Le module "Ecologie et Evolution I" initie les étudiants aux concepts de base et aux différentes approches de l'Ecologie et de la Biologie de Evolution.

En Ecologie, l'enseignement couvre l'Ecologie des Populations, les Interactions Multispécifiques ainsi que le Fonctionnement des Ecosystèmes, avec des sujets spécifiques sur la compétition interspécifique.

En Biologie de l'Evolution, l'enseignement couvre la Génétique des Populations et l'Inférence Phylogénétique, avec des sujets spécifiques sur l'histoire phylogénique de quelques taxa.

Les différents sujets sont précédés d'une introduction au développement historique des idées présentées.

La validation se fera par un examen écrit.

---

**Code : BIO-L3-204-S2**

## Écologie & Évolution II

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Henrique TEOTONIO & Régis FERRIERE

Autres enseignants : Frantz DEPAULIS, Marie-Anne FELIX, Jean-François LE GALLIARD, Marc-André SELOSSE.

Type d'enseignement : Cours

Volume horaire : 13 cours de deux heures

Objectif et description du cours :

Le module "Ecologie et Evolution II" s'appuie sur l'enseignement homonyme du 1er semestre d'Ecologie et de Biologie de Evolution, tout en proposant des sujets plus avancés.

Cela inclut en Ecologie l'étude des réseaux trophiques et des cycles biogéochimiques.

En Biologie de l'Evolution, l'enseignement couvre la Génétique Quantitative, avec des sujets spécifiques comme la sélection de traits multiples et l'évolution moléculaire.

Les différents sujets sont précédés d'une introduction au développement historique des idées présentées.

La validation se fera par un examen écrit.

---

**Code : BIO-L3-212-S2**

## Écologie Expérimentale

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 4.5

Responsable : Jean-François LE GALLIARD – CNRS ENS

Type d'enseignement : *CM / TD / TP*

Volume horaire : 35h

Objectif et description du cours :

Discipline de plus en plus quantitative, l'écologie scientifique progresse par la confrontation de données d'observation et d'expérimentation aux prédictions de modèles mathématiques. Au cours de ce module de pratique expérimentale, les étudiants réaliseront un mini-projet de recherche sur l'une des plateformes expérimentales du CEREEP-Ecotron IleDeFrance de l'Ens à Foljuif. Organisés en groupes placés sous la responsabilité de chercheurs et de techniciens, ils devront concevoir des protocoles, récolter des données originales et analyser les données pour répondre à une ou deux questions clairement identifiées.

Thématiques abordées : méthodes quantitatives en écologie, biostatistiques, écologie végétale, écologie animale, caractérisation des écosystèmes, instrumentation scientifique.

Validation : Court rapport de TP plus présentation orale de 10-15 minutes.

---

**Code : BIO-L3-105-S1**

## **Génétique et Biologie Moléculaire**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Patrick CHARNAY

Type d'enseignement : CM

Volume horaire : 13 x 3 heures

Objectif et description du cours :

Ce cours vise à fournir des bases très solides dans les domaines de la génétique et de la biologie moléculaire. La génétique sera abordée comme pivot central en biologie de l'hérédité des phénotypes, et aussi comme méthode d'étude d'un processus biologique au laboratoire.

La partie biologie moléculaire traitera du génome, de sa réplication et réparation, et détaillera en particulier l'expression génétique et son contrôle.

Diverses méthodologies de biologie moléculaire et de modification des génomes seront également abordées.

Validation : Examen écrit.

---

**Code : BIO-L3-205-S2**

## **Biologie Cellulaire**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Andréa DUMOULIN

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *CM*

Volume horaire : 14 x 2 heures

Objectif et description du cours :

Le module de Biologie Cellulaire I (L3) aborde une série de chapitres clés de cette discipline. Certains aspects, déjà vus en classes préparatoires, sont approfondis (cytosquelette, régulation du cycle cellulaire). D'autres thématiques, plus originales, sont abordées également (signalisation et cancer, apoptose, organisation et fonctionnement du noyau, cytokinèse).

Les cours sont organisés en deux parties : un cours introductif (ou avancé), suivi d'un exposé des recherches de l'intervenant sur la même thématique.

Ce module prépare au cours de Biologie Cellulaire de M1.

La validation se fait à travers un examen écrit final, complété par du travail personnel présenté en classe.

---

**Code : BIO-L3-208-S2**

## **Génomique Fonctionnelle**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Sylvie HERMANN

Autres enseignants : Morgane THOMAS-CHOLLIER

Type d'enseignement : Cours

Volume horaire : 15 séances de 3 heures

Objectif et description du cours :

Ce module du second semestre vise à présenter aux étudiants un ensemble de techniques employées et développées en génomique fonctionnelle ainsi que leur applications dans le cadre d'approches scientifiques menées par des équipes de recherche pour étudier le rôle du génome et de l'épigénome dans les processus biologiques variés : modulation de la structure de la chromatine, réplication, stabilité et dynamique des génomes, hérédité non-mendélienne, ARN régulateurs... Ce module fera principalement intervenir des spécialistes du domaine.

Evaluation : En cours de module, une page de synthèse sera demandée à chaque étudiant sur deux interventions de son choix. Ce travail personnel comptera pour 1/3 de la note globale. En fin de semestre sera réalisé un examen écrit de réflexion, analyse et interprétation de données scientifiques extraits de publications. Cet examen comptera pour 2/3 de la note globale.

---

**Code : BIO-L3-209-S2**

## **Histoire de la Biologie : Les concepts de la biologie, perspectives historique et philosophique**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Laurent LOISON, CNRS, IHPST (UMR 8590)

Type d'enseignement : CM

Volume horaire : 4 x 3 heures

Objectif et description du cours : L'objectif de ce cours est d'exposer, dans une perspective critique, le contenu théorique des principaux concepts à l'œuvre dans les sciences du vivant. Chaque séance est dévolue à un concept spécifique, dont l'emploi continue d'être problématique dans la biologie actuelle. L'histoire des sciences permet de montrer comment les différentes significations des concepts ont été élaborées. Sont ainsi examinés les contextes idéologiques et théoriques et les données empiriques qui ont produit ces significations. A cette restitution historique s'articule une critique philosophique visant à expliciter les limites des usages possibles des différents concepts étudiés. Cette mise en perspective critique s'appuie sur les débats actuels au sein de la biologie et sur les travaux les plus récents dans le domaine de la philosophie des sciences. A la fin de chaque cours une bibliographie commentée est proposée aux étudiants afin de leur permettre d'approfondir l'un ou l'autre aspect en fonction de leurs besoins.

Validation sous forme de travail d'analyse d'un texte

---

**Code : BIO-L3-206-S2**

## **Idées et Théories en Biologie**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Renaud DE ROSA

Type d'enseignement : CM /TD

Volume horaire : 11 x 2 heures

Objectif et description du cours :

Le cours se base sur la lecture d'un livre de biologie.

Les séances consistent en une courte présentation d'une partie du livre suivie de discussion/débat. Le livre est choisi par les participants dans une liste proposée au début de l'UE. Les livres retenus peuvent être des livres d'histoire/philosophie de la biologie, des livres

ayant eu une grande importance dans l'histoire de la pensée en biologie, ou des livres présentant une idée ou synthèse d'idées nouvelle.

Exemples de livres traités ces dernières années :

R. Lewontin; The triple helix

J. Ninio; Approches moléculaires de l'évolution

S.J. Gould; Ontogeny and phylogeny

R. Dawkins; The extended phenotype

E.F. Keller; The mirage of a space between nature and nurture

---

**Code : BIO-L3-211-S2**

## **Immersion Expérimentale**

Niveau : L3

Semestre : S1+S2, ECTS : 6

Responsable : Terence STRICK

Type d'enseignement : *TP*

Volume horaire : Un minimum de 4h par semaine pendant toute l'année scolaire

### Descriptif :

L'Immersion Expérimentale (ou Stage Immersif) est un des premiers éléments de formation par la recherche du cursus du Département de Biologie, et vise à donner aux étudiants un accès direct et privilégié au monde de la recherche. En début d'année chaque étudiant se verra attribué un sujet de recherche dans un des laboratoires du Département de Biologie, et sera encadré par au moins un membre nominatif du laboratoire. Ce sujet sera développé tout au cours de l'année, tant sur le point de vue théorique que sur le plan de vue expérimental. Le suivi du stage sera assuré par un membre un comité composé du Tuteur et de l'encadreur du stage, qui se réuniront une fois par semestre avec l'étudiant.

### Objectifs Pédagogiques :

L'Immersion Expérimentale (ou Stage Immersif) vise à développer les pratiques expérimentales de l'étudiant dans le contexte réel d'un laboratoire de recherche. Ceci comprend tant le travail de fond (bibliographie, théorie) que le travail expérimental (manipulations pratiques). Le stage permet à l'étudiant de s'approprier en profondeur un sujet de recherche et des méthodes expérimentales de la biologie contemporaines, et ces connaissances éclaireront naturellement par la suite les enseignements suivis au cours de la scolarité au Département.

### Premier Semestre :

Une après-midi par semaine est réservée. Les étudiants sont encouragés à utiliser leurs créneaux horaires libres pour approfondir ce travail.

### Second Semestre :

Deux créneaux horaires par semaine sont réservés. Les étudiants sont encouragés à utiliser leurs créneaux horaires libres pour approfondir ce travail.

### Evaluation :

Le travail effectué sera évalué non pas sur les résultats expérimentaux obtenus, mais sur la qualité de la démarche intellectuelle et de la réflexion de l'étudiant, exprimés à travers un court dossier bibliographique synthétisant le sujet (évaluation du travail du premier semestre) et la présentation d'un poster synthétisant le travail sur l'année (évaluation du travail au second semestre).

---

**Code : BIO-L3-001-A**

### Section meetings

Niveau : L3/M1

Semestre : S1+S2, ECTS : 3

Responsable : Mariano CASADO

Type d'enseignement : *CM*

Volume horaire : 12 x 45 min

#### Descriptif :

Suivi des séminaires internes des 4 sections de l'IBENS.

---

**Code : BIO-L3-103-S1**

### Frontiers in biology

Niveau : L3

Semestre : S1 ECTS :

Responsable : Mariano CASADO

Type d'enseignement : *CM*

Volume horaire : 4 x 1h

#### Descriptif :

Présentation par les chefs de section de l'IBENS de la recherche dans l'institut et des sujets actuels les plus marquants de leur discipline.

---

**Code : BIO-M1-T107-A**

### Insights in Life Sciences

Niveau : L3

Semestre : S1 + S2

Responsable : Andréa DUMOULIN et Mariano CASADO

Type d'enseignement : *Cours, TD*

Volume horaire : 3 x 1h chaque micromodule. 4 micromodules validés pour 3 ECTS

Objectif et description du cours :

L'enseignement est organisé en forme de "micromodules" présentés par des membres de SPIBEns (SPIBEns = Students and Postdocs of the Institut de Biologie de l'Ens). Chaque année, SPIBEns propose 10-12 micromodules. Il s'agit de sujets de Biologie ou applicables à la Biologie, validés par l'équipe enseignante du Département.

Le contenu de ces micromodules est complémentaire de l'offre d'enseignements existants. Un membre de l'équipe enseignante assure la cohérence entre les différents enseignements. Le choix par les étudiants les micromodules à suivre est entièrement libre.

Chaque micromodule aura une durée de 3 x 1 heure et portera sur un sujet du choix et de la spécialité de l'intervenant.

---

**Code : BIO-IN-B11-S2**

### Mathematical modelling of biological systems

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : DE MONTE Silvia

Autres enseignants : COPPEY Matthieu

Type d'enseignement : *CM /TD*

Volume horaire : 13 cours de 3h

Objectif et description du cours :

The module introduces mathematical modelling of biological systems dynamics. It covers a number of basic approaches to describe deterministic and stochastic behaviour in biological populations, augmented by more advanced notions of dynamical systems theory.

The course revolves around the analysis and discussion of a range of models, spanning from classic equations for population dynamics to recent publications. It includes hands-on work during the lectures, practicals on computer simulations of simple models, and critical reading of modelling literature. Students are expected to learn how to interpret models they might encounter in interdisciplinary biological publications, to recognize what mathematical tools they need to analyze them, and what are the underlying assumptions.

A prerequisite to the course is a basic knowledge of linear algebra and ordinary differential equations, as provided for instance by the module 'Mathématiques I'.

Validation: Written examination based on the analysis of articles.

---

**Code : BIO-L3-207-S2**

## Neurosciences

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Mariano CASADO

Type d'enseignement : CM

Volume horaire : 13 cours de 2h

Objectif et description du cours :

Ce module a pour but de donner aux étudiants les connaissances de base et les outils nécessaires pour aborder l'étude de la structure et du fonctionnement du Système Nerveux.

L'acquisition du socle de connaissances suivra la démarche suivante : Qu'est-ce qu'on sait ? Comment nous l'avons appris ? Quelle est la nature de la preuve ?

Nous reviendrons régulièrement au suivi de la démarche historique avec mention particulière des percées méthodologiques : Identification d'un inconnu - Formulation de la question - Démarche expérimentale - Réponse nouvelle.

Contenus :

Identification des grands enjeux de la recherche en Neurosciences

Morphologie du Système Nerveux : De Cajal à la connectomique

Activité neuronale, suivi et manipulation

Dissection des circuits (identifications de types cellulaires, connections, règles de développement, règles de plasticité)

Représentation et traitement de l'information

Lien corrélatif entre activité des neurones et monde extérieur (représentations sensorielles/cognitives, choix et exécution des programmes comportementaux)

Mémoire et apprentissage

Neuroéthologie

Evaluation : Examen écrit.

---

**Code : BIO-L3-101-S1**

## **Outils Informatiques pour le Biologiste (Ce qu'un Biologiste ne doit pas ignorer)**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre VINCENS

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *CM / TD*

Volume horaire : 13 séances de 2h

Objectif et description du cours :

Cet enseignement a pour objectif l'acquisition par les étudiants des compétences essentielles dans l'utilisation de l'outil informatique qui est devenu d'usage courant en Biologie.

La première partie porte sur la programmation en langage Python et introduit la programmation objet. La seconde partie est dédiée à l'utilisation d'un logiciel de statistiques et traitement des données (R).

L'évaluation combine contrôle écrit et la réalisation d'un projet en binôme.

---

**Code : BIO-L3-202-S2**

## **Physique pour la Biologie : Une introduction à la physique statistique et aux systèmes complexes**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsables :

Physique statistique : Terence STRICK (ENS)

Systèmes complexes : Axel BUGUIN (UPMC)

Type d'enseignement : *CM*

Volume horaire : 13 séances de 3h et 1 séance d'examen

Objectif et description du cours :

Ce cours propose une introduction aux principes fondamentaux de la mécanique statistique et de l'analyse des systèmes complexes et leur application à la compréhension du vivant (diffusion, entropie, matière active...). Ces approches sont largement employées aujourd'hui pour explorer les propriétés de la matière vivante, des échelles atomiques et moléculaires jusqu'aux échelles d'organismes individuels et de populations d'individus.

---

**Code : BIO-L3-210-S2**

## **Projet Bioinformatique**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Morgane THOMAS-CHOLLIER & Pierre VINCENS

Type d'enseignement : *CM / TD*

Volume horaire : 6 séances de 3 heures

Objectif et description du cours :

Au cours de ce module, les étudiants doivent comprendre et analyser un article scientifique. Ils s'intéressent plus particulièrement à une question abordée dans l'article et résolu par une

approche bioinformatique qu'ils doivent reproduire et éventuellement développer. Ils exploiteront notamment les nouvelles connaissances disponibles depuis la parution de l'article, que ce soit de nouvelles données ou de nouvelles technologies.  
Cet enseignement est validé par la présentation écrite et orale du projet.

---

**Code : BIO-L3-102-S1**

## **Travaux Pratiques de Génétique bactérienne**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Sylvie HERMANN

Autres enseignants : Eric MICHEL, Renaud DE ROSA

Type d'enseignement : *TP / TD*

Volume horaire : 7 jours

Objectif et description du cours :

Cette semaine de pratique expérimentale, précédée de deux TD introductifs, comprend la réalisation d'une mutagenèse par transposition, l'analyse de relations phénotypes-génotypes et l'emploi d'approches de génétique bactérienne pour déterminer la localisation génétique de mutations affectant les gènes impliqués dans le métabolisme du maltose chez la bactérie gram-, *Escherichia coli*. Chaque binôme réalisera l'ensemble des expérimentations et une analyse globale et critique des résultats obtenus par tous les binômes sera menée au cours et en fin d'expérimentation.

Les techniques employées permettront d'acquérir un savoir faire expérimental de base essentiel en laboratoire (travail en condition stérile; notion de dilution & de reproductibilité; manipulation de petits matériels de laboratoire: pipetman, vortex, centrifugeuse, spectrophotomètre; gestion des déchets biologiques liquides & solides, règles de sécurité de base)

Évaluation : Rapport écrit; Cette évaluation comprend une note de salle (écoute, gestion de l'espace travail, suivi des règles de stérilité et sécurité).

---

**Code : ECLA**

## **Module de langue vivante obligatoire**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : BUTIGIEG Dorothée

Type d'enseignement : *CM*

Volume horaire : 1 semestre

La validation de la pratique de 1 cours de langues est nécessaire pour la validation de la Licence de Biologie. L'anglais est la langue des échanges scientifiques internationaux et pour cette raison sa pratique est obligatoire (sauf demande de dérogation étudiée au cas par cas).

Si vous parlez déjà anglais couramment, il est possible de valider une UE d'une autre langue vivante, uniquement dans le cas où la responsable de la L3 (Barbara Despres) vous y a autorisé. Pour cela, merci de prendre rendez-vous pour un entretien.

---

---

**Code : BIO-L3-B09-S2**

### **Stage d'été en laboratoire**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Éric MICHEL

Autres enseignants : Mariano CASADO, Régis FERRIERE, Denis THIEFFRY

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 8 semaines

Objectif et description :

Les élèves continuent leur formation par la recherche au cours d'un stage dans un laboratoire de l'IBENS de 8 semaines durant les mois de juin et juillet. Ce stage est obligatoire et permet d'obtenir 12 ECTS dans le cadre de la validation du DSN. Ce travail donne lieu à un rapport écrit et une soutenance orale devant jury qui a lieu aux environs du mois d'octobre de l'année suivante.

---

**Code : BIO-M1-S02-S1**

### **Biologie cellulaire II : trafic, motilité, biophysique (cours Pasteur /Curie/ENS) / Cell biology II : traffic, motility, biophysics (Pasteur/Curie/ENS course)**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Alain BESSIS

Autres enseignants : Philippe CHAVRIER, Chiara ZURZOLO, Arnaud ECHARD

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

This cell biology course will cover major topics of cell biology such as membrane trafficking, cytoskeleton organization, cell polarity establishment, cell cycle control and division, cell adhesion and migration. These cellular functions will be described in the context of normal or cancer cells. The course will also cover innovative biophysical approaches to cell biology including cellular bio-mechanics or micro-rheology. The course will be composed of a series of 2 hours research seminars and will be taught by a number of leading cell biologists from various research institutions including Institut Curie, Institut Jacques Monod or Institut Pasteur.

Prerequisite: Cell Biology I (L3) or other Cell Biology course of L3 Level

---

**Code BIO-M1-S01-S1**

### **Biologie du développement / Developmental biology**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuelle HAVIS

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

The objectives of this course are :

- ▶ to introduce all the model organisms used to understand the developmental biology processes
- ▶ to understand the emergence of the complexity of an organism from a single fertilized egg.
- ▶ to highlight all the applications of developmental biology research in various fields of medicine.

Sixteen conferences are given during two weeks from researchers working on all model organisms and using various technical approaches (live imaging, high throughput transcriptomic analysis, ChIP-sequencing, transgenesis, in situ hybridizations).

---

**Code : BIO-M1-S08-S1**

## **Développement du système nerveux / Development of the nervous system**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Nathalie SPASSKY

Autres enseignants : Patrick CHARNAY

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

The human nervous system is an object of extreme complexity and its organization is progressively built during development. Understanding its history (developmental and evolutionary) constitutes an important element for deciphering its physiology and pathology. Furthermore, development of the nervous system is an essential aspect of general animal development.

Therefore this module should be of interest to students aiming at specialization in neurosciences, physiology or developmental biology. It will present the principles and mechanisms governing the establishment of the nervous system in several species constituting experimental models.

More specifically, the course covers the general organisation of the nervous system, neural induction, anterior-posterior and dorso-ventral patterning, cell polarity, neurogenesis, axonal growth and guidance, synaptogenesis, neuronal network maturation, neural crest, glial cells, myelination, adult neurogenesis and neural stem cells,...

---

**Code : BIO-M1-S05-S1**

## **Génétique évolutive / Evolutionary genetics**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Frédéric AUSTERLITZ

Autres enseignants : Évelyne HEYER

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

Course objectives and description:

Based on the previously acquired knowledge in population genetics, the course aims at studying the factors that affect the genomic diversity of populations, and as a consequence the diversity of phenotypic traits.

The fundamental concepts of evolutionary biology will also be presented.

---

**Code : BIO-M1-S06-S1**

## Écologie évolutive / Evolutionary ecology

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Régis FERRIERE

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 40h

• Course objectives and description: This course treats the evolution of behavioural, demographic and ecological traits, at the intra-specific and pairwise inter-specific levels, with an emphasis on feedbacks between ecological and evolutionary processes.

With complementary empirical and theoretical approaches, we will study the effect of different types of natural selection (including kin selection and sexual selection) on the evolution of resource exploitation strategies, social behaviour (dispersal, cooperation, partner choice) and on the evolution of their plasticity.

The roles of genetic determinism and of learning on the ontogenesis and evolution of animal behaviour will be discussed.

---

**Code : BIO-M1-S07-S1**

## Biologie des systèmes écologiques / Biology of Ecological Systems

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Lucie ZINGER

Autres enseignants : Régis FERRIERE, Silvia DE MONTE

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 40h

This advanced undergraduate/graduate course addresses the topic of ecological system diversity and the underlying biological mechanisms:

How do species coexist? How are their interactions organized? How do they shape their common ecosystem and adapt in response? How do species interactions and environmental factors translate into patterns of diversity? How does diversity evolve?

The purpose of the course is to provide a thorough introduction to these topics, by world leaders in the fields of environmental biology, community ecology, macroecology, biogeography, as well as biogeochemistry and environmental physics.

---

**Code : BIO-M1-S04-S1**

## Génomes et phénotypes / Genomes & phenotypes

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Marie-Anne FELIX

Autres enseignants : Hugues ROEST-CROLLIUS

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 40h

The objectives of this course are to acquire conceptual tools to apprehend biology based on the genotype - phenotype relationship, in the context of laboratory induced mutations and of variation in natural populations. The content will include advanced concepts in genetics, including the genetic analysis of natural variation and of human disease. The course will also cover the technical and scientific advances in genome sequencing and genome annotation of the

past 15 years, leading to recent advances in evolutionary and functional genomics, including cis-regulatory sequence identification.

---

**Code : BIO-M1-S03-S1**

## **Projet de Biologie computationnelle / Computational biology project**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre VINCENS

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 40h

The theoretical part includes programming courses (Python) applied to biology, and conferences in computational biology. The program evolves each year, and covers topics among : nucleic and proteic sequence analysis (determining functional and structural properties based on primary sequences, search for common characteristics among a collection of sequences, ...), management of genomic information (annotation), approaches to predict tridimensional structure of proteins ("threading", analogy,...), interactions between molecules, images analyses, modeling.

---

**Code : BIO-M1-S13-S1**

## **Biologie computationnelle - Aspects théoriques / Computational biology**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre VINCENS

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 25h

This course corresponds to the 1st week of the module « Computational biology project ». It includes programming courses (Python) applied to biology, and conferences in computational biology. The program evolves each year, and covers topics among : nucleic and proteic sequence analysis (determining functional and structural properties based on primary sequences, search for common characteristics among a collection of sequences, ...), management of genomic information (annotation), approaches to predict tridimensional structure of proteins ("threading", analogy,...), interactions between molecules, images analyses, modeling.

---

**Code : BIO-M1-T108-S1**

## **Épigénétique, du phénomène aux mécanismes moléculaires / Epigenetics**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Barbara DESPRES

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 25h

The objective of this course is to discover the paradigms of epigenetics : from the epigenetic phenomenons to the molecular mechanisms. Topics include parental imprinting, X-inactivation in mammals, the hybrid dysgenesis in *Drosophila*, chromatin inheritance, non-Mendelian inheritance of genome rearrangements in *Paramecium*, paramutations and epimutations in plants, prions, cancer. This course is organised through seminars and analysis of articles.

---

**Code : BIO-M1-S09-S1**

## **Physiologie du neurone / Physiology of the neuron**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre PAOLETTI

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 40h

This course aims at providing the basic knowledge and technical tools to address in-depth study of the operation of the nervous system. The functioning of neurons will be addressed both at the molecular and cellular levels with particular emphasis on the electrical properties and excitability of the neuronal membrane that is central to brain function.

---

**Code : BIO-M1-S10-S1**

## **Du neurone au système / Synaptic foundations of network function**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Boris BARBOUR

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 40h

The human brain contains about 100 trillion synapses which continuously transmit, spread and filter activity as information is processed in the brain. Distributed synaptic modifications store the most of the information acquired during learning and the formation of memories.

This module provides an in-depth understanding of synaptic function, the neuronal integration of synaptic information and synaptic plasticity. Building on these foundations, the module then introduces network dynamics, the representation of information and network implementations of learning algorithms.

---

**Code : BIO-M1-S11-S1**

## **Neurosciences intégratives / Systems neurophysiology**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Clément LENA

Autres enseignants : Daniela POPA

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

This course provides an introduction to the main brain functions, and to the underlying neuronal elements, circuits and network dynamics. The course covers topics including the most elementary functions (breathing control, sleep, neurovascular control), sensory (olfaction, audition, vision, somatosensory system, pain,...) and motor functions (motor control and learning), emotions (fear, reinforcement) and cognition (internal representations, memory,...).

---

**Code : BIO-M1-T102-S1**

## **Populations minuscules / Microbial populations**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Éric MICHEL

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 40h

The purpose of this module is to discover some unknown aspects of microbiology, particularly bacteriology, to show the lifestyle of microorganisms and their ability to adapt to the environment.

---

**Code : BIO-M1-T103-S1**

## **Évolution / Evolution**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Renaud DE ROSA

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 40h

Evolution has a unique importance in the biological sciences: it has completely reshaped the way we understand life, with consequences that extend far beyond the realm of science. Yet, despite its huge influence, evolution remains poorly understood by the public, and even among biologists. The main aim of this course is to provide a broad view of the way evolution is studied today. Dispelling the mistaken idea that evolution has no practical application is a secondary objective, to be reached along the way. The course presents recent results from various branches (including evo-devo, phylogeny, evolutionary medicine), in a large number of groups (animals mostly, but also plants, bacteria, viruses and others), over very different time scales (from billions of years to mere days). Each of those select examples will help illustrate the universality of the rules, which shaped life as we know it.

---

**Code : BIO-M1-T104-S1**

## **Physique et Biologie II : applications de la physique aux neurosciences / Physics & biology II**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Laurent BOURDIEU

Autres enseignants : Pascal MARTIN

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

The first part of the course aims at providing some physical understanding of hearing. The second part is dedicated to the physical principles of optical microscopy and to its applications in neurosciences.

---

**Code : BIO-M1-T105-S1**

**Maths II : ce qu'un biologiste peut ne pas ignorer / Mathematics II: what biologists might like to know**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Amaury LAMBERT

Type d'enseignement *cours /TD*

Volume horaire : 40h

This course is a follow up to Mathematics I (L3). It is especially adapted to students interested in mathematical modeling in ecology/evolution/genetics and neurosciences. The program includes: Fourier transform, dynamical systems and chaos, continuous-time Markov chains and infinitesimal generators, diffusions and stochastic differential equations, partial differential equations, interacting particle systems. Teaching relies more heavily than in Math I on computer simulations and on individual work. It is supported by computer-based sessions.

---

**Code : BIO-M1-T106-S1**

**Statistiques / Statistics**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Tom VAN DOOREN

Autres enseignants : Tristan MARY-HUARD, Marie-Laure MARTIN-MAGNIETTE

Type d'enseignement *cours /TD*

Volume horaire : 30h

Biological data are often complex, with many interacting variables. Students are introduced to modelling data in general. Then they are made familiar with model selection among generalized linear models and mixed models, which are often used on datasets of small to intermediate size. After that, methods used on genome-wide data are discussed, as examples of large datasets occurring in biology. The course consists of lectures and computer exercises, used to make all participants acquainted with R statistical software. Students are expected to bring their own laptops and will analyse and discuss a real dataset.

Prerequisites for the course: know what random variables are, discrete and continuous distributions, quantiles, and other basic concepts in statistics.

---

**Code : ECLA**

**Module de langue vivante**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Dorothee BUTIGIEG

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 1 semestre

Une UE d'anglais est obligatoire pour la validation du 2e semestre. Le Département de Langues (ECLA) vous offre de multiples cours de langue anglaise et civilisation anglo-saxonne, de tous niveaux, y compris une option "Debating". Vous avez toute latitude pour choisir à l'intérieur de ce panel d'options.

---

**Code : BIO-M1-S15-S1**

**Immunologie fondamentale (cours Pasteur/ENS) / Fundamental immunology (Pasteur/ENS course)**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsables : François HUETZ et Jean-Pierre LEVRAUD

Type d'enseignement : cours /TP

The general aim of this course is to provide a general overview of Immunology for a better understanding of normal immune responses to pathogens, principles of vaccination, as well as given Immune system pathologies such as autoimmune diseases and allergy. Along theoretical lectures, practical works will be organized to introduce the basic techniques used in Immunology, such as cell culture, cytometry, molecular biology and imaging, in two different animal models : mouse and zebrafish. Experimental work, as well as most lectures, will be held at Institut Pasteur. Finally, the students will be asked to analyse a set of articles organised around a chosen theme and to present orally a synthesis.

---

**Code : BIO-M1-S14-S1**

**Génétique moléculaire du cancer (cours Pasteur/Curie/ENS) / Molecular cancer genetics (Pasteur/Curie/ENS course)**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsables : Jean-Pierre VARTANIAN et François-Clément BIDARD

Type d'enseignement : *cours /TD*

The aim of the course is to provide students with expertise and an understanding of molecular cancer genetics, with a particular focus on mechanisms that induce genetic changes within tumours and the importance of critical genes (oncogenes, suppressor genes), as well as inherited predisposition to cancer. This course is organised through seminars and a practical bioinformatics course.

---

**Code : BIO-M1-D09-S1**

**Ateliers méthodologie M1/M2 / Methodology Tutorials in M1/M2**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsables : THOMAS-CHOLLIER Morgane, DUMOULIN Andrea

Type d'enseignement : TD

Volume horaire : 36h

Le module "Ateliers méthodologie M1" est un enseignement original, constitué de travaux dirigés, ateliers et discussions, complémentaire de "Ateliers méthodologie L3". Il vise à développer chez les étudiants des connaissances transversales spécifiques au monde de la recherche, qui sont peu abordées au sein des enseignements de spécialité. Ce module couvre les champs de la communication orale et écrite en sciences en langue anglaise, le processus de publication d'un article, ainsi que de l'organisation de la recherche en France et à l'étranger. Il intègre également des séances permettant d'accompagner certaines démarches administratives à l'ENS comme la recherche de stages à l'étranger.

Il se déroule sur une dizaine de séances d'une heure + du travail personnel.

---

**Code : BIO-M1-D03-S2**

**(i) Stage long à l'étranger (4,5 mois) / Internship abroad (4,5 months)**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 24

Responsable : Éric MICHEL, Andréa DUMOULIN

Type d'enseignement : Stage

Volume horaire : 4,5 mois

Il s'agit d'un stage en laboratoire permettant aux étudiants d'approfondir leur connaissance du fonctionnement d'un laboratoire de recherche. D'une durée de 4 mois minimum, il s'effectue en France ou à l'étranger de début février à mi-juin. Un rapport écrit de 20 pages et une soutenance orale ayant lieu fin juin permettent la validation du stage c'est à dire 24 ECTS.

---

**Code : BIO-M1-D04-S2**

**(ii) Stage court (3 mois) en France / Internship in France (3 months)**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 18

Responsable : Éric MICHEL, Andréa DUMOULIN

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 3 mois

Il s'agit d'un stage en laboratoire permettant aux étudiants d'approfondir leur connaissance du fonctionnement d'un laboratoire de recherche. D'une durée de 4 mois minimum, il s'effectue en France pendant le second semestre. Un rapport écrit de 20 pages et une soutenance orale ayant lieu fin juin permettent la validation du stage c'est à dire 18 ECTS.

---

**Code : BIO-M1-D05-S2**

**Module d'ouverture ou de spécialisation**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Renaud DE ROSA

Type d'enseignement : cours /TD

En complément d'un stage court en France (BIO-M1-D04-S2), les étudiants doivent suivre pour le second semestre un cours de 6 ECTS. Ce cours est à choisir par l'étudiant en concertation avec le responsable du M1, parmi les enseignements proposés à l'ENS ou dans un établissement partenaire.

---

**Code : BIO-M1-D08-S2**

**Projet bibliographique de recherche**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Renaud DE ROSA

Type d'enseignement : *cours /TD*

L'UE "Projet" a pour but de permettre aux étudiants de M1 de valider des crédits pour le diplôme pendant leur stage à l'étranger au second semestre.

Elle consiste en la rédaction d'un projet de recherche original, sur des bases bibliographiques. De niveau M2, mais clairement distinct à la fois de leur projet de stage de M1 et du projet envisagé pour leur M2 de l'étudiant, ce projet est défendu par l'étudiant devant un jury.

---

**Code : BIO-M2-E01-S1**

## **Module de remise à niveau mathématiques et programmation / Mathematics and programming training**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 0

Responsable : Morgane THOMAS-CHOLLIER

Autres enseignants : moniteurs

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 30h

This refresher course aims at providing the students the opportunity to update their knowledge in maths and informatics (programming) during the first week of the new term. The first day includes an introduction to the working environment at ENS, necessary for the newly arrived students.

Themes :

### 1. WORKING ENVIRONMENT:

The computer room is equipped with machines running under the Linux environment (Ubuntu). The students will learn how to use the command line.

### 2. INFORMATICS:

Students will work with Python, a simple and powerful programming language. We recommend several readings before the course.

For the start of new term, the aim would be to have understood the various types of data (especially lists and dictionaries), to be able to write a function (notion of local and global variables), be able to use modules, and understand how to read and to write in a file (module sys and os).

### 3. MATHEMATICS:

For the course, basic notions in linear algebra will be useful (matrices, eigenvectors, eigenvalues) in analysis (derivatives, differential equations), and in probability / statistics. It would also be necessary to know how to integrate numerically a system of differential equations. Adapted material/readings will be recommended.

*Organization:*

The students are divided into 2 groups, with informatics and maths tutorial classes in mornings and afternoons alternatively. It is possible to follow only one training (maths or informatics).

---

**Code : BIO-M2-E02-S1**

## **Réseaux génétiques : analyses de données de génomiques fonctionnelles / High-throughput data analysis for genomics**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Stéphane LE CROM

Autres enseignants : Gaëlle LELANDAIS

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 30h

The aim of this course is to understand and handle various data format that are available from high throughput sequencing techniques in genomics.

This course allows students to better appreciate the limits and drawbacks of high throughput genomics datasets.

*Themes:*

The course introduces high throughput sequencing techniques and their applications in genomics. It focuses on the analysis of gene expression studies and covers the most important bioinformatics and statistical concepts to delineate differentially expressed genes.

Computer-training sessions make use of open source software like R programming language, MeV (MultiExperiment Viewer) and IGV (Integrative Genomics Viewer).

The course covers the following fields: data quality analysis, reading maps on a reference genome, read alignment visualization, data normalization, statistical differential analysis, functional annotation and expression network visualization.

*Organization:*

The course is organized over one week, with classes during the morning, computer-training sessions in the afternoon and some analysis workshops.

---

**Code : BIO-M2-E03-S1**

**Réseaux génétiques : modélisation dynamique des réseaux cellulaires / Dynamical modelling of cellular regulatory networks**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsables : Vincent HAKIM & Denis THIEFFRY

Autres enseignants : Gregory BATT, Hidde DE JONG, Aleksandra WALCSAK

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h

Aim:

Mastering of concepts, methods and software tools for the modeling of cellular regulatory networks (signaling pathways, gene networks).

Themes:

- Logical modeling of cellular networks
- ODE-base modeling of gene circuits
- Piecewise linear models of gene networks
- Stochastic effects on gene expression and single cell simulations
- Dynamical modeling and control methods for synthetic biology

Organization:

The course is organized over one week, with classes in the mornings and computer tutorials in the afternoons. The evaluation is based on written reports and on an oral presentation.

---

**Code : BIO-M2-E04-S1**

**Microscopie optique : principes et applications en neurosciences / Optical Microscopy: principles and applications in Neurosciences**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Stéphane DIEUDONNÉ

Autres enseignants : , Laurent BOURDIEU, Andréa DUMOULIN

Type d'enseignement : *cours /atelier pratiques*

Volume horaire : 60h

Through theoretical courses and hands-on sessions, the aim of this course is to teach the neuroscience student basic and advanced techniques in neuronal imaging and their application to the study of neuroscience.

The course is organized over two weeks.

The first week is dedicated to lectures covering the principles of optical microscopy, and a range of classical and advanced techniques in microscopy and their applications in neurosciences.

The second week is dedicated to the hands-on workshops. It starts with a full-day session disassembling and assembling an upright microscope, before moving to sessions in small groups carried in research labs and directly related to the lectures of the first week (super-resolution, PALM-STORM, SPT, light-sheet imaging).

---

**Code : BIO-M2-E05-S1**

## **Ecosystèmes cellulaires : de la modélisation aux traitements thérapeutiques / Cellular ecosystems: from modeling to medicine**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Frédéric DEVAUX

Autres enseignants : Andrei ZINOVYEV, Curie Institute

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 30h

Aims:

This course will present the applications of systems biology to topics related to human health. Several internationally renowned researchers will present their works aiming at providing integrative and/or quantitative views of complex human diseases, including cancer, obesity, immunity, etc...

Themes:

Transcriptomics of obesity

Modelling of immune system differentiation and functioning

Metagenomics of nutrition

Microfluidic devices for cancer research

Systemic approaches of oncogenesis

Tumor classifiers and cancer diagnosis

Genome-wide association studies and deep sequencing

*Organization:*

The course is one week long with 8-10 conferences which take place at ENS Paris.

---

**Code : BIO-M2-E06-S1**

## **Machineries cellulaires et régulation de l'expression génomique et épigénomique / Cellular machineries and regulation of gene expression**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Christophe CARLES

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 30h

*Aims:*

This teaching unit presents recent data about multimeric complexes involved in chromatin structure and epigenetic modifications, and in regulation of gene expression.

*Themes:*

Structure and dynamics of chromatin modification complexes and of regulation of gene expression

*Organization:* The teaching unit will be organized over one week, with morning and afternoon classes.

---

**Code : BIO-M2-E08-S1**

## **Neurophysiologie / Neurophysiology**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Mariano CASADO

Autres enseignants : Régis LAMBERT

Type d'enseignement : *CM /TD / TP*

Volume horaire : 120h

*Aims*

This course aims at providing a complete theoretical and practical grounding in the electronic and optical techniques underlying modern research in Neurophysiology.

*Themes*

Neurons are excitable cells that "express" themselves mainly through electrical signals. These signals (membrane potential changes, current flow through ion channels ...) take place on a very fast time scale, of the order of milliseconds. The nature and speed of these signals impose strong constraints on experimental approaches for studying the physiology of neurons. The two disciplines best adapted to the requirements of Neurophysiology are electrophysiology and cellular imaging techniques. This course will focus on electrophysiology.

*Organization*

During the course, students will assemble experimental setups adapted to the different planned experiments. They will perform pilot experiments in vitro and in vivo and analyze data.

---

**Code : BIO-M2-E15-S1**

## **Tutorats interdisciplinaires de neurosciences / Interdisciplinary tutorials in neurosciences (TINS)**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Boris BARBOUR, Mariano CASADO

Autres enseignants : Vincent HAKIM, Jonas RANFT

Volume horaire : 60h personal work

*Aims:*

In depth study of a research topic related to neuronal networks, based on literature analysis, modelling, and close supervision by both a theoretician and an experimental researchers.

*Themes:*

Understanding the brain will require the development of effective abstractions and simplifications of its complexity. Research in this field is active at the interface between theoretical and experimental neuroscience. This module offers insight into such

interdisciplinary research in a tutorial setting with active theoretical and experimental neuroscientists. Students should be motivated by interdisciplinary approaches in Neuroscience and be capable of benefiting from both theoretical and experimental aspects of neuroscience research.

*Organization:*

Method: Discussion with mentors, data mining and analysis, modeling.

---

**Code : BIO-M2-E09-S1**

## **Bases génétiques des variations phénotypiques / Genetic basis of phenotypic variation**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Marie-Anne FELIX

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h

Prerequisite: basic courses in quantitative and population genetics (for example "Genomes & Phenotypes" and "Evolutionary Genetics" in the ENS M1 curriculum, or the equivalent elsewhere)

*Aims:*

This course will cover current questions and approaches in the genetic and genomic analysis of phenotypic variation in evolution. The intended participants are students engaged in an evolution and ecology curriculum as well as students specializing in laboratory biology (genetics/genomics, developmental biology, cell systems biology).

*Themes:*

Quantitative genetics and genomics, QTL analysis, environment, epistasis. Model and non-model organisms.

*Organization:*

The course will run for one week, with lectures in the morning and tutorials/discussions in the afternoon

---

**Code : BIO-M2-E10-S1**

## **Génomique fonctionnelle et évolutive / Functional and evolutionary genomics**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ROEST-CROLLIUS Hugues

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30 h

*Aims:*

Students will become familiar with concepts of molecular evolution in the context of functional genomics and genome evolution. The course will include critical discussions on the technologies and bioinformatics methods that enable biological conclusions to be drawn from large genome wide datasets. Problems will be illustrated with classical and recent applications in the fields of genome analysis of modern and ancient humans, and comparative analysis of animal and plant genomes.

The main topics will be approached both using formal background reviews and illustration by selected speakers from the research community. Students will gain a practical experience in the interpretation of large datasets.

*Themes:*

The course will cover systematic studies of the function of genomic DNA (ex: ENCODE project), the evolution of vertebrate and plant gene repertoire, the genomic and paleogenomic aspects of human genome variability through the study of projects such as HapMap, the 1000 Genome Project, the Neanderthal genome, etc.

The principles underlying the identification of episodes of positive selection in the history of a population or species will be covered, as well as genome wide studies on the identification of conserved non-coding elements and their function (cis-regulatory enhancers, non-coding RNAs, etc).

Examples from recent publications will be examined with the students and critically appraised.

Practical sessions will rely on open source software, including the Galaxy platform and on the writing of small programs in a script language.

*Organisation:*

This course is organised as one full week, generally with formal presentations in the morning, and research seminars or practical sessions in the afternoon.

---

**Code : BIO-M2-E17-S1**

## **Évolution expérimentale / Experimental Evolution**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Henrique TEOTONIO

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 50h

**Aims:**

The students will be introduced to current evolutionary theory and the experimental approaches that aim to test it. The course will start with an historical introduction to experimental evolution and issues of statistical design. World-renowned scientists will give lectures on quantitative genetics, the evolution of sexuality and the genetic basis of adaptation. Lectures will be complemented with computer projects on the analysis of experimental population genomics data with R. The course will be designed to maximize interactions between the students and the teaching staff and will require a major investment of the students in terms of independent work.

**Themes:**

The course will have lectures on multilevel selection, population structure and the emergence of microbial communities, frequency and density dependent selection in constant and fluctuating environments. The course will cover the notions of epistasis, pleiotropy and redundancy in the context of gene networks. The concepts of adaptive, fitness and phenotype landscapes will also be covered. Students will be able to model the effects of genetic drift, purifying, positive and balancing selection on genome-wide genotype data while taking into account recombination rates and breeding mode. The statistics of heterozygosity, inbreeding, linkage and identity disequilibrium will also be covered.

**Organisation:**

This course is organised as one full week, with lectures and research seminars in the morning, and practical sessions in the afternoons. Students are expected to present to the faculty the results of the computer work done during the week. On the last day, students will be evaluated for their performance during the course.

---

**Code : BIO-M2-E16-S1**

## **Analyse des régions cis-régulatrices / Computational analysis of cis-regulatory sequences**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Morgane THOMAS-CHOLLIER

Autres enseignants : Sebastiaan MEIJSING (MPIMG, Berlin, Germany), Samuel COLLOMBET

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 30h

Aims:

Mastering of concepts and software tools for the analysis of cis-regulatory sequences. Statistical evaluation of predictions (negative and positive controls, sensitivity, predictive value). Practical experience of the analysis of high-throughput datasets.

Themes:

This teaching unit introduces the main computational methods for the detection of cis-regulatory elements in genomic sequences. It will cover the main bioinformatic and statistical concepts enabling the discovery of motifs and their location in sets of functionally related nucleic sequence.

Computer tutorials will make use of free software, including the software suite RSAT (Regulatory Sequence Analysis Tools).

Several applications will be considered: discovery of motifs in the sequences of promoters driving co-expressed genes; discovery of cis-regulatory motifs in collections of CHIP-seq peaks for different transcription factors in mammals and other organisms, etc.

Organization:

The teaching will be organised over one week, with hands-on sessions, in addition to a practical, personal project.

This course is a sequel to the course "High-throughput data analysis for genomics". In practice, it is highly recommended to enroll in this course as well, as it presents some introductory concepts (firsts steps of high-throughput sequencing data processing) that are considered as prerequisites for the present course.

---

**Code : BIO-M2-E18-S1**

## **Frontières des systèmes microbiologiques / Frontiers in Microbial Systems**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS: 3

Responsable : Guy TRAN VAN NHIEU (CIRB)

Autres enseignants : Lionel NAVARRO, Alice LEBRETON (IBENS)

Type d'enseignement : *cours*

Volume horaire : 30h

Aims : Introduction to microbial systems for which the development of diverse and recent approaches (genome wide, single cell imaging, biophysical, modeling) has revealed key aspects of biology.

Themes :

- Bacterial cell cycle and development (coordinator : Olivier Espéli)
- Microbial systems and communities (coordinator : Alice Lebreton)
- Bacterial pathogens and diversion of host innate defenses (coordinator : Lionel Navarro)

- Biophysical approaches to bacterial virulence (coordinator : Guy Tran Van Nhieu)

Organization :

The course is organized over one week. It will be divided in series of four lectures falling in the proposed themes, with one theme per day. One day will be dedicated to an oral synopsis of lectures by pairs of students, followed by questions. Each student will be proposed to analyze an article related to the different theme and to provide a written report of this analysis within the next two weeks following the course

---

**Code : BIO-M2-E20-S1**

**NOUVEAU**

## **Comportements collectifs / Collective behaviour**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsables : Silvia DE MONTE

Autres enseignants : Corina TARNITA, Rob PRINGLE, Jean-Francois LE GALLIARD

Type d'enseignement :

Volume horaire : 30h

Aims:

The course provides an overview of mechanistic approaches to the dynamics of biological populations. The accent will be set on theoretical models for ecology and their qualitative and quantitative test.

Themes:

The course presents a series of topics in ecology and eco-evolutionary dynamics.

Focusing primarily on quantification and prediction of ecological determinants, the course will discuss the correspondence between theoretical predictions and observations derived from controlled experiments.

The teaching will be complemented by a hands-on experience on microbial populations, in the form of simple experiments conducted on paradigmatic organisms, bacterial or eukaryotes.

Organization:

Morning: Lectures

Afternoon: Lab activity/data analysis

---

**Code : BIO-M2-E21-S1**

**NOUVEAU**

## **Génomes, populations, espèces / Genomes, populations, species**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Guillaume ACHAZ

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire :

Prerequisite: Basic knowledge in population genetics or molecular evolution.

Aims: This course will address the fundamental processes that are at work in evolution through the lens of molecular evolution and population genetics. It will devote time to statistical inferences based on the patterns of polymorphisms in sequence data. The intended participants are students motivated by the understanding of evolutionary processes and not entirely reluctant to theoretical models.

Themes: The course will cover many of the classical micro-evolutionary processes such as genetic drift, mutation, recombination, population subdivision, isolation/speciation and natural

selection. Mostly, we will discuss how these processes can be modelled backward in the so-called coalescent framework and how the distributions of genealogical trees under various scenarios lead to different patterns in the polymorphisms. Emphasis will be on the relationships between the “theoretical” models and the observed “biological” data. Practical sessions of data analysis and seminars of researchers on a variety of organisms will illustrate the lectures.

Organisation: The course lasts one full week, with a lecture in the morning and a mix of research seminars and practical sessions on computers in the afternoon. The evaluation is a written exam.

---

**Code : BIO-M2-E22-S1**

**NOUVEAU**

## **Cellules du cerveau / Cells of the brain**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Alain BESSIS

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire :

Aims :

The extraordinary efficiency of the brain relies on the unique properties of its cells and on their harmonious interactions. The brain is composed of neurons but also of 50% non-neuronal cells. The course will describe the cell populations of the brain and their properties. It will also reveal the interactions taking place between these populations in the healthy brain but also during pathologies.

Themes :

The following themes will be treated: History of brain cells discovery, glial cells, oligodendrocytes, astrocytes, microglia, ependymal cells, blood brain barrier, circumventricular organs, meninges, brain pathologies; neurogenesis; neurotransmission; synapse etc.

Organization: The course is organised as one full week with lectures.

Assessment: The evaluation will depend on the number of students attending the course. It will involve a written examination or the oral presentation of scientific papers.

---

**Code : BIO-M2-E23-S1**

**NOUVEAU**

## **Neuroéthologie / Neuroethology**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : German SUMBRE

Contents:

Introduction:

Quantitative Ethology : Lorenz, Tinbergen, Von Frisch, Von Holst.

Classical Neuroethology : presentation of "champion species" (animals that are specialists for a particular behavior), from the understanding the neuronal basis of behaviour (owls, bats, electric fish, drosophila) to the development of biomimetic robots (fly, octopus, cocroach).

Audition: Intra species communication (crickets) ; Inter species interactions: bats and moth.

Vision (Of bees toads, and fish) ; Social communication (sepia) ; Recognition neurons (clinton's)

Multisensory processing and plasticity (visual and auditory maps in owls)

Sensory motor transformations (roach and fish)

Decision making: Sensory based (leech and monkeys)

Internal decisions (crayfish, fish, humans?)  
Spontaneous activity: (Humans, fish and ferrets)

---

**Code : BIO-M2-E11-S1**

## **Modélisation des dynamiques adaptatives / Adaptive Dynamics Modeling**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Régis FERRIERE

Autres enseignants : David CLAESSEN

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 30h

### *Aims:*

Understanding the adaptive dynamics approach to model the interaction between ecological and evolutionary processes. Mastering the concepts, mathematics, and computational tools in so as to be able to construct and analyse models and apply these models to answer biological questions.

### *Themes:*

Adaptive dynamics modeling has become the dominant theoretical framework for 'Darwinian ecology', i.e. the investigation of how evolution shapes the structure of ecological interactions and influences ecological processes within and between biological populations. The course will present the key concepts that are underlying the adaptive dynamics approach : environmental feedback loop, invasion fitness, evolutionary singularity, evolutionary stability, evolutionary branching, evolutionary suicide, pairwise invasibility plots and canonical equations. The general framework will be applied to study the eco-evolutionary dynamics of populations competing for resources, predator-prey interactions, and mutualistic systems. Hands-on tutorial sessions will make use of the software ZEN for simulations of the adaptive dynamics of specific examples. Enrolled students are expected to have some experience with population and community modeling. There are no prerequisites in populations genetics.

### *Organization:*

This is a one-week intensive course, mornings and afternoons included. Lecture-style presentations will be complemented by computer-based tutorials. Three 3-hour sessions will be devoted to individual projects (under the instructors' supervision) involving the design and numerical implementation of simple models. Evaluation will be made on the basis of the presentation of the individual projects at the end of the week.

---

**Code : BIO-M2-E12-S1**

## **Dynamiques des populations structurées / Structured Population Modeling**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : David CLAESSEN

Autres enseignants : Bernard CAZELLES

Type d'enseignement : *cours* / *TD*

Volume horaire : 60h

### *Aims:*

Acquiring the biological and mathematical principles to model the dynamics of structured

populations. Applying these principles to the construction and analysis (mathematical, numerical) of models motivated by specific biological questions.

*Themes:*

The physiological or developmental state of individuals is an intrinsic cause of structuring in all populations. When physiological or developmental differences between individuals translate into differences in their birth and death rates, the temporal and spatial dynamics of the population as a whole cannot be understood without taking that structure into account. This course presents the biological concepts and mathematical tools needed to model the dynamics of structured populations. The emphasis is set on structure defined by body size (individuals move across the population structure by growth) or infectious stage (individuals move across the population structure as they interact with a pathogen). Specific notions addressed in the course are: dynamic energy budget, allometries and metabolic theory of ecology, consumer-resource dynamics, escalator boxtrain model, SEIR models, disease prevalence, epidemics and  $R_0$  threshold theory.

Computer-based sessions will provide an introduction to simulation tools such as the EBT software and to Bayesian inference methods as MCMC. A significant fraction of classroom time will be devoted to hands-on, individual projects. Enrolled students are expected to have some experience with population and community modeling.

*Organization:*

Two-week intensive course, mornings and afternoons included. Lecture-style presentations will be complemented by computer-based tutorials. About 50% of the course time will be devoted to individual projects (under the instructors' supervision) involving the design and numerical implementation of simple models. Evaluation will be made on the basis of the presentation of the individual projects at the end of the course period.

---

**Code : BIO-M2-E13-S1**

**Modélisation de la physiologie neuronale et des réseaux / Modeling neuronal cell and networks**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : David HOLCMAN

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 45h

One course per week, on Wednesday (10:30 to 13:30) from October to February

*Themes:*

- Brownian motion, Ito calculus. Dynkins equation, Fokker-Planck equation, short and long time asymptotics, ray methods.
- Mean first passage time Equations, conditional MFPT, distribution of exit points.
- Escape in dimension 1: Smooth and sharp potential barrier.
- Jump processes. Approximation by continued fraction.
- The small hole theory, no potential, with an attracting and a repulsive potential. The case of one and several holes.
- Minimization of MFPT, consequence hole distribution. MFPT in random environments.
- Narrow escape time for a switching particle. Homogenisation theory with many small holes.
- Direstrait time and conformal mappings. sum of MFPTs : Greens function identities (Dendritic spine laws: micro chambers).
- Modeling diffusion of shaped object, law of reflection, polymer dynamics using Rouse model.
- Aggregation-dissociation of telomeres, formation and stability of the telomere cluster. Mean encounter time, Markov description of clusters. Dissociation scenario of cluster.
- Recurrent time of 2 telomeres, dissociation time from a cluster. Asymptotic estimations.

- Dynamics of diffusion of chromosomes and polymers. Stochastic dynamics of anisotropic objects in confined microdomains.
- Gene activation by transcription factors.
- Dynamics of the double strand DNA break repair.

---

**Code : BIO-M2-E07-S2**

**Atelier de morphogénèse / Multidisciplinary approach to plant and animal morphogenesis**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Patrick LEMAIRE

Autres enseignants : Patrick CHARNAY, Biology Department, ENS

Type d'enseignement : *cours /TD, séminaire*

Volume horaire : 40h

*Aims:*

This course, organized as a workshop, takes place in early spring outside Paris (in the Montpellier area in 2012, 2013 and 2014). It aims to familiarize students with concepts and current issues in interdisciplinary research in the field of developmental morphogenesis in plants and animals. In addition to morning lectures from a broad range of speakers, students will be introduced to mathematical simulations in the afternoon.

*Themes:*

This module explores the molecular, cellular and evolutionary mechanisms that determine embryonic shape and its dynamics (morphogenesis) in plants and animals. It will illustrate in particular how experimental and computational approaches complement each other.

Examples of topics covered: physical, embryological and genetic approaches to morphogenesis, transcriptional control of morphogenesis, transcriptional bases of the formation and evolution of gene expression patterns, evolutionary plasticity of developmental programs, cellular dynamics and tissue mechanics during animal and plant morphogenesis, generation and transmission of forces at subcellular and tissue levels..

*Organization:*

Organized over one week, with classes in the morning and computational simulation projects in the afternoon. It takes place outside Paris and students are housed on site. Evaluation will be made on the basis of a group presentation of a simulation mini-project.

---

**Code : BIO-M2-E14-S2**

**Stage long en laboratoire / Laboratory training**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : Patrick CHARNAY

Autres enseignants : Denis THIEFFRY, Frédéric DEVAUX, Mariano CASADO, Boris BARBOUR, Andrea DUMOULIN, Régis FERRIERE, Marie-Anne FELIX

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 5 mois minimum

This consists of practical laboratory training of **at least 5 months**. According to the options chosen by the student, it can start between the beginning of November and the beginning of January, by the latest.

Choice of the laboratory:

- The host lab is chosen together with the teaching staff, among our partner laboratories. Internship in non-partner laboratories may be exceptionally arranged in agreement with the teaching staff.

Evaluation of the laboratory training:  
A **written report** followed by an **oral presentation** at the end of June.

---

**Code : BIO-IN-G02-S1**

## **Introduction aux sciences du vivant**

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Morgane THOMAS-CHOLLIER

Autres enseignants : Patrick CHARNAY, Régis FERRIERE

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h cours/TD

Objectifs de l'enseignement :

Ce cours d'introduction vise à permettre à des non-biologistes de s'approprier les connaissances fondamentales nécessaires à toute compréhension des modes d'organisation et de fonctionnement du vivant. Les principaux objectifs sont les suivants :

- permettre une compréhension en profondeur de ce qui fait l'unité et la diversité du vivant
- donner les informations essentielles sur la machinerie centrale, responsable des phénomènes d'hérédité et d'adaptation, et sur ses mécanismes de contrôle et de dérèglement
- illustrer sur quelques exemples les méthodologies qui permettent de constituer ce savoir, et leurs limites

Cet enseignement éclaire la spécificité de la biologie en tant que science, et des conférences permettent d'identifier quelques frontières actuelles en biologie.

Prérequis : aucun

---

**Code : BIO-IN-G03-S2**

## **Biologie moléculaire de la cellule**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Alice LEBRETON

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 30h cours / 30h TD

Ce cours a pour mission de sensibiliser les élèves et étudiants non biologistes de l'ENS aux concepts et méthodes d'étude clefs en biologie moléculaire de la cellule. Nous espérons favoriser l'émergence de scientifiques transdisciplinaires, intéressés aux recherches actuelles en sciences du vivant qui naviguent souvent aux frontières de la chimie, de la physique, des mathématiques, de l'informatique, des études cognitives et des géosciences.

Prérequis : Cours de S1 " Introduction aux sciences du vivant "

---

**Code : BIO-IN-G05-S2**

## **Groupe de Lecture Modélisation des systèmes biologiques**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Amandine VEBER

Autres enseignants : Régis FERRIERE

Type d'enseignement : *TD*

Volume horaire : 60h

Reprenant les thèmes du cours de premier semestre "Systèmes Biologiques : Bases et Formalismes", l'objectif du groupe de lecture est d'approfondir l'étude des concepts et des théories mathématiques développés pour la modélisation et l'analyse des systèmes biologiques, du niveau des biomolécules au niveau des écosystèmes.

Le groupe de lecture est organisé autour de l'étude, de la présentation et de la discussion d'articles importants à l'interface mathématiques-biologie.

Prérequis : Cours de S1 " Introduction aux sciences du vivant "

---

**Code : BIO-IN-G06-S2**

### **Stage long en mathématiques-biologie**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : variable suivant la durée

Responsable : Régis FERRIERE

Autres enseignants : Denis THIEFFRY

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire :

Stage de recherche, effectué dans un laboratoire de mathématiques ou de biologie. Il s'agit d'un stage de mathématiques portant sur un sujet d'interface motivé par ou appliqué à un problème biologique. Le stage fera l'objet d'un co-encadrement par deux responsables (mathématiques et biologie). Il donnera lieu en fin d'année à la rédaction d'un rapport et à une soutenance orale.

Prérequis : Introduction aux sciences du vivant + Groupe de Lecture "Modélisation des systèmes biologiques"

---

**Code : BIO-IN-G07-S1**

### **Mini projet de modélisation en laboratoire de biologie**

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Denis THIEFFRY

Autres enseignants : Régis FERRIERE

Volume horaire : TPE équival. 60h

Ce mini projet vise à acquérir une expérience de la modélisation par une insertion dans une équipe de chercheurs biologistes. Le projet sera accueilli par un laboratoire de biologie du LABEX MEMOLIFE (ENS, Collège de France, ESPCI, Institut Curie). Chaque étudiant travaillera dans son équipe d'accueil durant le créneau hebdomadaire réservé à cette activité.

L'identification du laboratoire d'accueil, de l'encadrant biologiste et d'un référent mathématicien se fera en début d'année en concertation avec Régis Ferrière et Denis Thieffry.

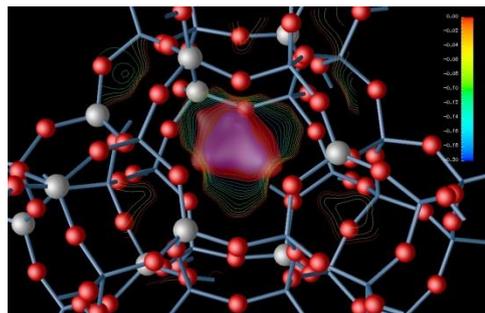
A l'issue des quatre premières semaines, une présentation orale du sujet et de son approche permettra d'assurer le cadrage du projet.

L'ensemble du travail fait l'objet d'un rapport de fin de projet, évalué par l'encadrant biologiste, par le référent mathématicien et par Régis Ferrière ou Denis Thieffry selon la spécialité du sujet.

## Département de Chimie

Site Web : <http://www.chimie.ens.fr/>  
Adresse : ENS – Département de chimie –  
24, rue Lhomond - 75005 Paris

Directrice : Anne Boutin  
Contact : Clotilde Policar  
Clotilde.policar@ens.fr



Le département de chimie de l'ENS offre une formation généraliste au plus haut niveau en chimie à destination d'étudiants désirant s'orienter en particulier vers les métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur, mais également dans le milieu industriel.

Cette formation Licence 3 / Master s'adresse aux normaliens élèves admis au concours d'entrée à l'ENS, à des normaliens étudiants issus des Classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) ou des L2 et des L3 des universités françaises ou étrangères sélectionnés sur dossier et entretien.

L'emploi du temps a été ajusté afin de permettre de suivre en L3 un cursus mixte entre les départements de chimie et de physique avec une spécialisation, soit en chimie soit en physique, en M1. Des ajustements d'emploi du temps ont rendu compatibles certains cours du département de géosciences et de biologie, ce qui facilite l'obtention d'une mineure dans l'une de ces disciplines.

### La formation prédoctorale

Une formation en trois ans sanctionnée par un diplôme d'établissement, le diplôme de l'ENS :

- Les étudiants suivent, pendant trois ans, un enseignement de haut niveau effectué principalement à l'ENS et en partenariat avec l'université Pierre et Marie Curie (Paris 6). La validation de 60 ECTS en première année leur permet d'obtenir un diplôme de L3, et celle de 120 ECTS en deuxième et troisième année un master. En acquérant des ECTS supplémentaires sur leurs 3 années de formation à l'ENS, les étudiants valident le diplôme de l'ENS, avec la possibilité de la mention d'une mineure dans une discipline autre que la chimie.

Une formation conceptuelle du plus haut niveau en chimie contemporaine avec des ouvertures pluridisciplinaires :

Une formation en chimie avec un contenu conceptuel fort et une couverture large du spectre de la chimie actuelle : chimie moléculaire, chimie physique, chimie théorique.

Première année (L3) : socle fondamental, apprentissage des concepts de base

Deuxième année (M1) : approfondissement et début de spécialisation (parcours modulaire)

Troisième année (M2) : M2 recherche

Une ouverture aux disciplines connexes (physique, biologie, géosciences) intégrée au cursus et un large choix d'enseignements complémentaires dans les autres départements de l'ENS (langues, lettres, histoire, arts, philosophie...)

Une formation ouverte à la recherche et à l'enseignement supérieur :

- Un contexte d'émancipation pour les étudiants considérés comme chercheurs en formation
- La possibilité d'une formation pluridisciplinaire
- La possibilité de préparer le concours de l'agrégation
- La possibilité d'un parcours ENS-ESPCI (afin de valider, outre le cursus à l'ENS, un diplôme d'ingénieur).

Une formation par la recherche (stages en laboratoire)

- 1 stage découverte de 1 semaine en première année, premier semestre, extensible par une immersion optionnelle en laboratoire au second semestre

- 1 stage de recherche de 6 à 8 semaines en première année, deuxième semestre
- 1 stage long (4 à 5 mois) en deuxième année, le plus souvent dans un laboratoire étranger
- 1 stage de recherche en troisième année dans le cadre d'un M2 recherche
- Travail sur articles scientifiques, recherche bibliographique
- Séminaires de recherche
- Ateliers et formation expérimentale
- Des travaux pratiques en laboratoire sous forme d'un projet-découverte d'une semaine en première année, au premier semestre de L3, extensible par une immersion en laboratoire au second semestre et sur toute la scolarité (M1 et M2).

Une interaction forte avec les enseignants-chercheurs français et étrangers

- Séminaires de recherche interactifs
- Tutorat et préceptorat scientifique
- Projets expérimentaux au contact des équipes de recherche du département
- Taux d'encadrement élevé (plus de 2 enseignants/étudiant en moyenne)
- Cours ou conférences donnés par des professeurs invités étrangers

Un parcours personnalisé

- Parcours à la carte en deuxième et troisième année avec suivi pédagogique par un tuteur : chaque élève construit un projet pédagogique propre.
- Des enseignements complémentaires à choisir librement parmi l'ensemble de l'offre proposée par les autres départements de l'ENS (biologie, physique, langues, philosophie, économie, etc.)
- La possibilité de valider une mineure dans une autre discipline si 24 ECTS sont obtenus dans cette discipline (et avec accord des deux départements concernés)

Un contexte d'émancipation intellectuelle et de maturation scientifique

- Un emploi du temps laissant place au travail personnel, la lecture d'ouvrages et d'articles, le suivi de cours dans d'autres départements
- Un contact permanent avec les chercheurs et les laboratoires de recherche

Lisibilité et ouverture internationale

- Programme sur chapitres de livres anglophones de référence
- Stage long en laboratoire étranger en deuxième année
- Accueil d'étudiants étrangers
- Une partie des enseignements dispensée en anglais
- Cours-séminaires de professeurs étrangers

## LES ENSEIGNEMENTS

---

**Code : CHIM-L3-A01-S1**

### Chimie quantique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Rodolphe Vuilleumier

Volume horaire : 40 h

#### Présentation pédagogique

La mécanique quantique, qui permet la description du comportement des particules à l'échelle microscopique, se retrouve dans de nombreux domaines de la chimie : description des nuages électroniques autour des atomes, description des liaisons chimiques, transferts de proton, fractionnement isotopique, interaction matière rayonnement... Cet enseignement est une introduction aux concepts et aux fondements de la mécanique quantique. Les concepts introduits dans ce cours seront mis en œuvre dans les autres modules. Il sera suivi du cours "Spectroscopies".

Programme :

1. Origine des concepts de la mécanique quantique
2. Fonction d'onde - Équation de Schrödinger
3. Postulats de la mécanique quantique
4. Oscillateur harmonique
5. Théorie des perturbations
6. Moment cinétique – particule dans potentiel central
7. Atome d'hydrogène
8. Spin – Systèmes à plusieurs électrons – Atome d'Hélium

#### Bibliographie

Albert Messiah, Mécanique quantique (Dunod, 2003), tomes 1 et 2

Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloë, Mécanique quantique (Hermann, 1997), tomes 1 et 2

---

**Code : CHIM-L3-A11-S1**

### Chimie orbitale

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jérôme Delacotte

Volume : 40 h

#### Présentation pédagogique :

Le cours de chimie orbitale vise à présenter les fondements de la théorie des orbitales moléculaires. Cette approche qualitative basée sur la chimie quantique permet de comprendre de nombreux aspects de la structure géométrique et de la réactivité des molécules. Ce cours se compose de deux parties :

- (i) principes de détermination des orbitales moléculaires ;
- (ii) applications à la description de la structure et de la réactivité des molécules.

#### Programme

Introduction historique

1. Détermination de la structure électronique de molécules polyatomiques

Atome polyélectronique, orbitales atomiques, orbitales moléculaires, interaction sur deux centres, symétrie moléculaire, fragments Hn et AHn, méthodes de Hückel simple et étendue.

2. Applications à la description des structures et de la réactivité

Diagrammes de corrélation, hyperconjugaison, approximation des orbitales frontières, complexes des métaux de transition, effet Jahn-Teller

### Bibliographie

Structure électronique des molécules, Tomes 1 et 2 ; Y. Jean et F. Volatron, (Dunod, 2003)

Les orbitales moléculaires dans les complexes ; Y. Jean, (Ed. École Polytechnique, 2003)

Molecular quantum mechanics, P. Atkins and R. Friedman (Oxford Univ. Press)

Éléments de chimie quantique à l'usage des chimistes, J.L. Rivail (EDP sciences)

---

**Code : CHIM-L3-A10-S1**

## Chimie Organique I

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Bernard Baudin

Volume : 40 heures

### Présentation pédagogique

Travail personnel : la présentation du cours est accompagné d'un polycopié de cours, de fiches permettant la vérification des connaissances par auto-évaluation (QCM), d'indications de lectures complémentaires, d'exercices de niveaux gradués et d'annales. Les étudiants rencontreront l'enseignant (par groupe de 3-4) deux fois dans le semestre pour un suivi de leurs acquisitions. Les séances de travaux encadrés seront l'occasion de s'entraîner en groupe à l'analyse de questions mécanistiques.

Ce cours de chimie organique s'appuie sur les connaissances acquises en L1/L2 et souhaite être une étude raisonnée des principaux mécanismes réactionnels de la chimie organique. Ces mécanismes sont abordés en s'appuyant sur la méthode des orbitales frontières. Nous analysons les quatre principaux processus (substitution, addition, élimination, transposition) et examinons leurs caractéristiques essentielles et leurs applications aux séquences mécanistiques. Une traversée des grands mécanismes (ioniques et concertés) permet de montrer la fécondité d'une telle approche. Ce cours doit permettre à l'étudiant de disposer d'outils généraux d'analyse des mécanismes pour aborder en deuxième semestre l'étude des mécanismes dans leur variété puis ultérieurement, les mécanismes mettant en jeu des hétéroéléments ou des intermédiaires de type radicalaire ou carbénique.

### Programme

Présentation du parcours

Objectifs du cours

Brève histoire des mécanismes réactionnels

Classifications des mécanismes réactionnels

1. Principes fondamentaux de la réactivité chimique

1.1 Rappels – Définitions

1.2 Théories de la réaction chimique

1.3 Réactions complexes

1.4 Principe de microréversibilité

1.5 Postulat de Hammond

1.6 Sélectivités des réactions

1.7 Réaction photochimiques

## 2. Réaction chimique et orbitales moléculaires

- 2.1 Position du problème
- 2.2 La réaction chimique comme interaction
- 2.3 Les orbitales frontalières
- 2.4 Théorie des acides de PEARSON
- 2.5 Applications de la méthode des orbitales frontalières
- 2.6 Généralisation de la méthode des OF
- 2.7 Limites du modèle

## 3. Stéréochimie et analyse conformationnelle

- 3.1 Compléments de stéréochimie
- 3.2 Compléments d'analyse conformationnelle
- 3.3 Effets stéréoélectroniques
- 3.4 Stéréochimie des réactions

## 4. Réactions péricycliques

- 4.1 Présentation
- 4.2 Électrocyclisations
- 4.3 Transpositions sigmatropiques
- 4.4 Cycloadditions

## 5. Additions et éliminations

- 5.1 Introduction
- 5.2 Additions électrophiles
- 5.3 Additions nucléophiles
- 5.4  $\pi$ -Éliminations

## 6. Composés aromatiques

- 6.1 Le benzène
- 6.2 L'aromaticité
- 6.3 Substitutions électrophiles aromatiques
- 6.4 Substitutions électrophiles aromatiques sur les cycles substitués
- 6.5 Substitutions nucléophiles aromatiques

## 7. Substitutions

- 7.1 Substitutions nucléophiles aliphatiques
- 7.2 Participations et ions non classiques
- 7.3 Substitutions sur les dérivés carboxyliques

### Appendice

Analyser un mécanisme réactionnel

Écrire un mécanisme réactionnel

Bibliographie du cours (ouvrages fondamentaux et pour aller plus loin)

### Bibliographie

F.A. Carey, R.J. Sundberg, Advanced Organic Chemistry, Part A (Structure), Part B (Reactions), Plenum, 3e éd., 2007.

E.V. Anslyn and D.A. Dougherty, Modern Physical Organic Chemistry, University Science Books, 2009

I. Fleming, Molecular Orbitals and Organic Chemical Reactions. Student Edition, Wiley, 2009.

---

**Code : CHIM-AA-A13-S1 / CHIM-AA-B20-S2**

## Enseignement expérimental

Niveau : L3-M1-M2 (tout au long du cursus)

Semestre : S1 & S2, 6ECTS (S1) + 6 ECTS (S2) + ECTS supplémentaires pour l'immersion en laboratoire + 4 ECTS pour le défi de recherche (M1S1)

Responsables : Hélène Bertrand, Anne-Sophie Bernard et Damien Baigl

Volume horaire : 80h (L3S1) + 60h (L3S2) + 24h (optionnel Défi Recherche M1S1)

### Présentation pédagogique

#### Responsable : Anne-Sophie Bernard

Cet enseignement a pour but de donner aux étudiants une formation expérimentale dans des domaines variés. Il comporte des séances de travaux expérimentaux, et des séances d'élaboration de démarche expérimentale. Des ateliers de découverte seront également proposés afin de présenter des équipements ou des techniques expérimentales spécifiques. Il comporte quatre parties indépendantes : un enseignement expérimental de perfectionnement en L3S1, la présentation d'une conférence expérimentale en L3S2, la possibilité de participer à un défi expérimental en M1S1 et la celle d'une immersion en laboratoire tout au long du cursus.

#### Présentation pédagogique S1

L'enseignement expérimental du premier semestre consiste à perfectionner les connaissances acquises en L1/L2 tout en découvrant de nouvelles techniques : synthèse sous atmosphère inerte, spectroscopie de fluorescence, chromatographie en phase gaz, voltampérométrie, etc ... L'objectif des séances est de développer une pratique plus autonome et exploratoire que lors des travaux pratiques traditionnels afin de se préparer au mieux pour les futurs stages de recherche : consultation de la bibliographie et des fiches de sécurité, tenue d'un cahier de laboratoire, mise en place de protocoles, analyses croisées ...

#### Programme S1

1. Série expérimentale rassemblant de la synthèse organique et inorganique ainsi que de l'analyse (spectroscopie d'absorption et d'émission, chromatographie, électrochimie, magnétisme ...)
2. Le numérique au service de la science ou l'expérience par ordinateur.
3. Atelier au sein de la gendarmerie scientifique

#### Présentation pédagogique S2

#### Responsables : Hélène Bertrand et Anne-Sophie Bernard

L'enseignement expérimental du second semestre a pour but de développer les qualités oratoires et pédagogiques des étudiants. Celles-ci, associées aux compétences expérimentales acquises au premier semestre, sont essentielles pour les futures présentations de stages et congrès. Les étudiants sont ainsi amenés à préparer et à réaliser une conférence expérimentale illustrant un domaine de la chimie.

Afin de prendre conscience de la diversité des techniques disponibles pour aborder une expérience, plusieurs ateliers sont également organisés. Ils consistent en la découverte et la démonstration d'appareils utilisés actuellement dans les laboratoires de recherche du département (microscope de fluorescence, microscope à force atomique, appareil de résonance magnétique nucléaire ...). Cette partie est également complétée par la visite d'un très grand instrument de recherche : le synchrotron SOLEIL.

#### Programme S2

1. Réalisation d'une conférence expérimentale
2. Ateliers autour de la RMN, fluorescence, microfluidique, AFM ...
3. Séances expérimentales associées à des cours : synthèse de colloïdes d'or, ferrofluide
4. Visites (synchrotron SOLEIL, laboratoires de la gendarmerie nationale...)

## **Présentation pédagogique des travaux pratiques et immersion en laboratoire tout au long du cursus**

**Responsable : Anne-Sophie Bernard**

Niveau : L3, M1, M2, tout au long du cursus

Semestres : S1&S2

Le double objectif de cette activité est d'initier les étudiants aux techniques expérimentales et théoriques les plus récentes en chimie tout en leur offrant une immersion intime dans le quotidien de la recherche. Après une semaine de découverte (L3-S1), les étudiants pourront poursuivre l'expérience tout au long de leur scolarité (L3S2, mais aussi M1, M2). Elle consiste pour l'étudiant à réaliser des travaux encadrés, ayant un format de type « travaux pratiques », mais s'effectuant dans un laboratoire de recherche, avec des outils et des appareils actuels de recherche, et non pas dans une salle classique de « travaux pratiques ». Tous les laboratoires accueillant ces travaux encadrés appartiennent au Département de chimie de l'ENS et se situent sur différents sites du département : rue Lhomond, IPGG, Jussieu et Hôpital Saint-Antoine. Les techniques et domaines envisagés couvrent un très large spectre, allant de la chimie moléculaire à la chimie théorique, en passant par la physico-chimie et la chimie du vivant. L'étudiant sera suivi individuellement par un tuteur familier des activités du laboratoire, placé sous la responsabilité d'un chercheur ou enseignant-chercheur permanent, et invité à interagir avec les différents membres du laboratoire accueillant ces travaux encadrés.

## **Présentation pédagogique du Défi Recherche (M1S1).**

**Responsable : Damien Baigl**

Niveau : M1S1, tout au long du cursus

Semestres : S1&S2 (4 ECTS)

Cette activité optionnelle sera échelonnée sur huit journées du premier semestre. Les étudiants, organisés en petit groupe, devront répondre à un défi qui sera donné au tout début de l'activité. Ils auront à produire un projet de recherche ambitieux, s'inscrivant dans le cadre du défi et intégrant un état de l'art, une présentation des objectifs, une analyse de risque/faisabilité et un plan de travail. Ce projet sera élaboré sur la base d'un travail personnel important et d'interactions avec le responsable du module (2 à 3h par séance). Il s'appuiera, entre autres, sur un travail bibliographique, des rencontres avec des chercheurs et/ou des travaux expérimentaux (test de faisabilité, preuve de concepts, résultats préliminaires).

---

**Code : CHIM-AA-A-01**

### **Module Sciences et Lettres**

Responsables : Ludovic Jullien et Clotilde Policar

Niveau : L3, M1, M2, ECTS : 3

Au sein de ce module, nous nous proposons de travailler sur les liens entre sciences et lettres à travers des projets autour de textes littéraires ou scientifiques et historiques afin d'en expliquer la science sous-jacente. Il y a ici un enrichissement mutuel lié à une complémentarité entre les champs du savoir : les sciences peuvent éclairer les arts et les lettres et ceux-ci peuvent aider à mieux appréhender les sciences. Il s'agit de faire ressentir que la science n'est pas l'unique voie d'accès au réel et à sa compréhension, mais que, par l'émotion artistique ou littéraire, un message peut passer, y compris scientifique.

Le module sera consacré à un projet, éventuellement sur plusieurs années. Une précédente réalisation a consisté à monter une pièce sur les travaux de jeunesse de Pasteur (« Quand Pasteur était chimiste ») qui a pris plusieurs formes, une version à destination d'un public de chimistes, et une version plus vulgarisée qui a été jouée au théâtre de la Reine Blanche en mars 2016 (<http://www.savoirs.ens.fr/expose.php?id=2607>). En 2016-2017, nous avons démarré un travail sur Primo Levi (la nouvelle sur le carbone du recueil *Il systema periodico*). Le cours est

d'environ 20h, et l'on se rencontre le plus souvent entre midi et deux heures (jour à préciser). Il est organisé par le département de chimie, mais nous accueillons des participants de tous les départements.

---

**Code : CHIM-L3-A08-S1**

## Outils mathématiques et numériques

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Rodolphe Vuilleumier

Volume horaire : 28h

### Présentation pédagogique

Ce cours abordera différents outils mathématiques en vue d'applications dans le domaine de la chimie. Il débutera par un cours sur les groupes de symétrie moléculaire puis des rappels d'algèbre linéaire, des approfondissements en analyse et une introduction aux méthodes numériques. En plus des cours d'introduction, nous proposerons des projets individuels ou en binômes pour la découverte de méthodes spécifiques par l'écriture d'une page de type wiki sur un sujet donné.

### Programme

1. Théorie des groupes
2. Algèbre linéaire
3. Analyse
4. Méthodes numériques

### Bibliographie

Appel, Walter. 2008. "Mathématiques pour la physique et les physiciens !" (4e édition. Paris : H&K).

G. Arfken et H. Weber, "Mathematical Methods for Physicists", Int. Student Edition (Elsevier, Academic Press) ; ou "Essential Mathematical Methods for physicists" (Elsevier, Academic Press).

---

**Code : CHIM-L3-B03-S2**

## Chimie inorganique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Anna Proust

Volume horaire : 40 h

### Présentation pédagogique

Cet enseignement donnera les bases d'une culture générale en chimie inorganique moléculaire, avec une approche intégrée de la chimie de coordination et de la chimie organométallique. Les exemples seront choisis pour montrer comment les complexes peuvent répondre aux grands enjeux sociaux-économiques : conversion de l'énergie solaire, catalyse et chimie verte, imagerie médicale et thérapie, matériaux moléculaires... Le cours sera complété par des travaux dirigés permettant de mettre en application les notions introduites.

A l'issue de l'enseignement, l'étudiant devrait avoir acquis une maîtrise des modèles de la liaison métal-ligand, de la structure moléculaire et électronique des complexes de métaux de transition et des principaux types de réactions de ces composés, y compris les aspects mécanistiques et cinétiques.

### Programme

## 1. La notion de complexe en chimie inorganique

Ligands usuels ; classification des ligands ; ligands macrocycliques ; ligands carbonés (mode de coordination CO, alkyles, aryles, complexes pi, carbènes, carbynes...)

Stéréochimie

Stabilité des complexes de coordination (série d'Irving-Williams, Théorie HSAB, Effet chélate - effet macrocyclique, applications)

## 2. L'interaction Metal-Ligand

Le modèle du champ cristallin : un modèle ionique, série spectrochimique et préférences stéréochimiques

Applications et limites de la règle des dix-huit électrons

Conséquences de la coordination du point de vue du ligand (changement de conformation, polarisation, exaltation d'acidité, exemples de l'activation du diazote, des complexes du dihydrogène)

## 3. Réactions en solution

### 3.1 Réactions de substitution (y compris complexes organométalliques (carbonyle))

Considérations générales, exemple des complexes plan-carrés et des complexes octaédriques, Réactions de photosubstitution

### 3.2 Réactions redox

Réactions par sphère externe, sphère interne

Réactions photo-redox

Complexes à valence mixte

Réactions d'addition oxydante / élimination réductrice

### 3.3 Réactions des ligands coordonnés

Attaques nucléophile / électrophile, Insertion-migration / élimination, réactivité des complexes alkyles et des complexes pi, illustration : mécanismes de quelques réactions d'intérêt industriel

## 4. Introduction aux complexes polynucléaires

### 4.1 Stratégies de synthèse Effet template

### 4.2 Composés à liaisons métal-métal clusters

## Prérequis

Structures de Lewis, structure électronique de molécules simples, construites à partir des éléments du bloc p

Equilibres de complexation

Notions de spectroscopies RMN, IR.

## Bibliographie

D. F. Shriver, P. W. Atkins, C. H. Langford, Inorganic Chemistry

J. E. Huheey, E. A. Keiter, R. L. Keiter, Inorganic Chemistry

C. J. Jones, d- and f-Block Chemistry, Tutorial Chemistry Texts, Royal Society of Chemistry

M. J. Winter, d-Block Chemistry, Oxford Chemistry Primers 27

D. Astruc, Chimie Organométallique, EDP sciences, 2000

M. Bochmann, Organometallics 1 et 2, Oxford Chemistry Primers N°12 et 13, 1994

Ch. Elschenbroich, A. Salzer, Organometallics, a concise introduction, VCH, 1992  
Rob Toreki Organometallic Hyper TextBook, [www.ilpi.com/organomet/index.html](http://www.ilpi.com/organomet/index.html)

---

**Code : CHIM-L3-B05-S2**

## Chimie du solide

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Co-responsables : Corinne Chanéac - Olivier Durupthy

Volume horaire : 40h

### Présentation pédagogique

Cet enseignement concerne la chimie de l'état solide, de la synthèse d'un composé jusqu'à l'élaboration et la mise en forme d'un matériau. Il explicite notamment la stratégie d'une synthèse selon l'application visée et les corrélations entre nature chimique, structure cristalline, structure électronique et propriétés des solides. Les outils de la cristallographie appliquée au solide inorganique sont introduits afin de décrire la symétrie d'un solide cristallisé et d'appréhender les aspects théoriques et pratiques de la diffraction des rayons X comme outil de détermination de structure.

Pré-requis : Chimie inorganique : Modèles de la liaison métal-ligand, de la structure des complexes de métaux de transition et théorie du champ cristallin ; Chimie quantique : Equation de Schrödinger, fonction d'onde et niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène ; Physique : Ondes planes progressive, interférence d'un réseau de points en lumière monochromatique ; Mathématiques : théorie des groupes, notions d'espace réciproque, produits scalaire vectoriel et mixte.

### Programme

1. Description du solide périodique — Bases de Cristallographie ; Diffraction des milieux cristallins
2. Les liaisons dans les solides — Les liaisons métallique, ionique, covalente et leurs limites  
Quelques propriétés des matériaux — Propriétés électriques (piézoélectriques, ferroélectriques, semi-conducteurs)
3. Chimie des cations en solution aqueuse : de l'ion au solide — Précurseurs en solution : hydroxylation des cations ; Condensation des précurseurs en solution ; Complexation et condensation.
4. Élaboration et mise en forme de matériaux par chimie douce — Le procédé sol-gel et les matériaux basse température ; Application à l'élaboration de nanomatériaux ; Matériaux hybrides organiques-inorganiques ; Apport de la structuration des matériaux

### Bibliographie

A. Ringbom, Les complexes en Chimie analytique, Dunod, Paris 1967

P. Souchay, Ions minéraux condensés, Masson, Paris 1969

J.P. Jolivet, De la solution à l'oxyde, InterEditions-CNRS, Paris 1994.

Rousseau -Gibaud, Cristallographie géométrique et radiocristallographie 3ème édition. Dunod.

Van Meerssche - Feneau-Dupont, Introduction à la cristallographie et à la chimie structurale 3ème édition. Editions Peeters.

J.-F. Marucco Chimie des solides, EDP sciences 2004,

Smart - Moore, Introduction à la chimie du solide. Masson.

---

**Code : CHIM-L3-B16-S2**

## Spectroscopies

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsables : Agathe Espagne, Fabien Ferrage

Volume horaire : 40 h

Présentation pédagogique

Les objectifs du module de spectroscopies sont les suivants :

- Présenter les fondements théoriques de la RMN, de l'interaction matière-rayonnement et des spectroscopies électroniques et vibrationnelles- Comprendre les expériences de base et savoir analyser des spectres RMN et infrarouges au laboratoire

Programme :

### 1 - RMN

#### 1.1 – Système d'un spin 1/2

- Système à deux niveaux, mise en évidence du spin, Hamiltonien Zeeman, opérateur densité, ensembles de spins, opérateurs cartésiens, champs radiofréquence, changement de référentiel. Expérience de RMN à une dimension, transformée de Fourier et spectre.

- Echo de spin.

-Atelier au laboratoire : prise en main d'un spectromètre RMN et analyse d'un spectre 1D.

#### 1.2 – Système de deux spins 1/2

- Hamiltonien de couplage, niveaux d'énergie, opérateurs produit, Hamiltonien effectif. INEPT.

#### 1.3 - RMN à deux dimensions

- Principe, corrélation hétéronucléaire (HSQC), corrélation homonucléaire à travers les liaisons (COSY), corrélation homonucléaire à travers l'espace (NOESY).

#### 1.4 - RMN à deux dimensions

- Atelier au laboratoire : enregistrement de spectres 2D

- Analyse de spectres.

### 2 - Spectroscopies optiques

#### 2.1 - Interaction matière-rayonnement

- Modèle semi-classique : hamiltonien dipolaire électrique, théorie des perturbations dépendantes du temps, probabilité de transition, moment de transition.

- Coefficients d'Einstein.

#### 2.2 - Spectroscopies vibrationnelles (infrarouge et Raman)

- Molécules diatomiques : règles de sélection pour l'oscillateur harmonique, transitions rovibrationnelles, anharmonicité.

- Molécules polyatomiques : modes normaux de vibration, règles de sélection, vibrations de groupes fonctionnels, analyse de spectres infrarouges en solution.

#### 2.3 - Spectroscopie atomique

- Couplage spin-orbite dans l'atome d'hydrogène : origine physique, moment cinétique total, composition des moments cinétiques, éclatement des niveaux d'énergie de l'hydrogène non-relativiste.

- Atomes polyélectroniques : approximation du champ central, répulsion électronique dans l'hélium, couplage spin-orbite, niveaux d'énergie en couplage L-S.

#### 2.4 - Spectroscopie électronique moléculaire

- Spectroscopie d'absorption UV-visible : transitions impliquées, règles de sélection, principe de Franck-Condon, couplage vibronique, couplage spin-orbite, intensité et largeur des transitions.

- Spectroscopie de fluorescence : diagramme de Perrin-Jablonski, propriétés statiques et dynamiques de l'émission de fluorescence, solvatochromisme, quenching, transfert d'énergie.

## Bibliographie

Nuclear Magnetic Resonance, de P. J. Hore  
NMR: The Toolkit, de P. J. Hore, J. A. Jones et S. Wimperis  
Spin Dynamics, de M. H. Levitt  
Understanding NMR Spectroscopy, de J. Keeler et traduction : Comprendre la RMN, traduit par P. Miéville.  
Mécanique quantique I et II, de C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloë  
Mécanique quantique II, de C. Aslangul  
Molecular spectra and molecular structure I, II et III, de G. Herzberg  
Spectroscopies infrarouge et Raman, de R. Poilblanc et F. Crasnier  
Physique atomique II, de B. Cagnac et J. C. Pebay-Peyroula  
Atomic spectra, de T. P. Softley  
Invitation à la fluorescence moléculaire, de B. Valeur  
Molecular fluorescence : Principles and applications, de B. Valeur  
Principles of fluorescence spectroscopy, de J.R. Lakowicz

---

**Code : CHIM-L3-B17-S2**

### Chimie organique II

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Arnaud Gautier

Volume horaire : 40 h

#### Présentation pédagogique

Cet enseignement a pour but d'améliorer et peaufiner les connaissances en Chimie Organique acquises au cours de semestres précédents. Le programme aborde la réactivité de nouvelles classes de molécules ainsi que l'étude de quelques grandes réactions de la Chimie Organique. La formation de liaison carbone-carbone par réaction d'un carbonyle constitue un point central de l'unité. Les notions de chimio-, régio- et stéréosélectivité, ainsi que l'application en synthèse des méthodes traitées seront en particulier abordées.

Prérequis : Une connaissance raisonnable de la Chimie Organique de semestres précédents.

#### Programme

1. Les carbanions et les nucléophiles carbonés
  - 1.1. Acidité des hydrocarbures
  - 1.2. Carbanions stabilisés : énolates, ylures, 1,3-dithianes...
  - 1.3. Nucléophiles carbonés apparentés : énols, énamines
  
2. Alkylation des nucléophiles carbonés
  - 2.1. Régiosélectivité et stéréosélectivité de la formation des énolates
  - 2.2. Alkylation des énolates
  - 2.3. Alkylation des aldéhydes, des esters, des amides et des nitriles
  - 2.4. Alkylation des énamines et des imines
  - 2.5. Alkylation des nucléophiles carbonés par addition conjuguée
  
3. Réactions des nucléophiles carbonés sur les groupes carbonyles
  - 3.1. Condensation aldolique
  - 3.2. Condensation apparentées (Réaction de Mannich, de Knoevenagel...)
  - 3.3. Acylation des carbanions
  - 3.4. Réaction de Wittig (mécanisme et variantes simples)

### 3.5. Réactivité des ylures de soufre

## 4. Transpositions et fragmentations

4.1. Transpositions : 1,2-migrations (Transpositions pinacolique, de Favorskii, de Bayer-Villiger, de Beckmann...)

4.2. Fragmentations

## 5. Chimie des radicaux

5.1. Structure, stabilité et réactivité des radicaux

5.2. Préparations

5.3. Principales réactions (addition, substitution, élimination)

## 6. Réactions des carbènes (nitrènes)

6.1. Structure (Carbènes singulet et triplet)

6.2. Préparation (carbènes instables et stables)

6.3. Réactions (insertion, addition, transposition)

## 7. Comparaison synthèse organique versus biosynthèse

### Bibliographie

Clayden, Greeves, Warren Wothers, « Organic Chemistry », Oxford Ed.

Carey Sundberg, Advanced Organic Chemistry

---

**Code : CHIM-L3-B14-S2**

### Physico-chimie mésoscopique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Anne Boutin

Volume horaire : 28 h.

#### Présentation pédagogique

Cet enseignement étudie l'effet des forces intermoléculaires sur la stabilité et l'existence de structures moléculaires variées. Nous explorons le champ de ces effets au travers de curiosités et de phénomènes issus de l'observation du monde physico-chimique et bio-chimique. Le contenu de ce module est donc abordé en considérant l'objet et en introduisant le formalisme nécessaire à son étude.

#### Programme

##### 1. Le potentiel chimique

Idéalité et ses écarts

Phénomènes osmotiques et ses limites

Mélanges de liquides

Équilibre entre états de la matière (jeu « azéotropique »)

Thermodynamique hors d'équilibre

##### 2. Interface

Notion de tension superficielle

Application à la thermodynamique de la bulle

##### 3. Cohésion intermoléculaire : protéines, micelles et cristaux liquides

Notion de forces « faibles » : Van der Waals, liaison hydrogène

Effet hydrophobe

Interaction d'ordre orientationnel

4. Stabilité des solutions colloïdales chargées

Équation de Poisson-Boltzmann, de Debye-Hückel

Notion de floculation-coagulation

Application aux traitements des eaux usées (règle de Schulze-Hardy)

5. Chaîne polymère isolée en solution

Notion de pelote statistique : chaîne idéale, solvant theta

Étude de l'entropie de configuration

Loi d'échelle et rayon statistique de la pelote

Étude de la solvatation — Approche osmotique

Bibliographie

R. Gaboriaud et coll., Thermodynamique appliquée à la chimie des solutions, Ellipses Chapitres VII, VIII et IX, pour les mélanges, écarts à l'idéalité.

J. Israelachvili, Intermolecular and surface forces, Ed. Academic Press

A. Gerschel, Liaisons intermoléculaires. Les forces en jeu dans la matière condensée, Ed. EDP Sciences

---

**Code : CHIM-L3-B18-S2**

**LASER**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Sylvain Nascimbene

Volume total : 28 h

Présentation pédagogique :

Ce module s'adresse aux chimistes désireux de s'initier à la physique des lasers. Le cours présente une modélisation détaillée des lasers (conditions d'effet laser, mode fréquentiel, modes spatiaux gaussiens) ainsi que divers exemples d'applications pertinentes pour une utilisation en laboratoire de chimie.

Programme

1 Introduction : ingrédients de base d'un laser

2 Mécanisme de l'amplification optique

- Interaction lumière-matière : électron élastiquement lié

- Quantification du champ électro-magnétique : modèle d'Einstein

- Mécanismes de pompage et zoologie des lasers

3 Modes transverses d'un faisceau laser

- Modes gaussiens du champ électromagnétique

- Optique gaussienne

4 Laser en régime stationnaire

- Condition d'oscillation

- Fonctionnement en présence d'un champ incident

- Compétition ou coexistence de modes ?

5 Lasers femtoseconde  
- Principe d'un laser femtoseconde  
- Exemple du laser Ti/Sa

6 Optique non linéaire  
- Doublage de fréquence  
- Oscillateur paramétrique optique

---

**Code : CHIM-L3-B01-S2**

## Cinétique et réactivité

Semestre : S2, ECTS : 6  
Responsable : Damien Laage  
Volume horaire : 40 h

### Présentation pédagogique

Ce cours explore la notion de mécanisme réactionnel sous ses différents aspects, du macroscopique au microscopique.

#### Pré-requis

Fondements de la cinétique chimique

Fondements de chimie moléculaire (mécanismes élémentaires, éléments de relations structure propriétés)

Outils de thermodynamique macroscopique et statistique, et de mécanique quantique

#### Programme

1. Le mécanisme réactionnel : un modèle simple pour une transformation complexe.
2. Potentiel chimique et structure moléculaire.
3. Des outils pour l'analyse mécanistique (techniques expérimentales, effets de solvant, effets isotopiques, relations d'énergie libre...).
4. Théorie de l'état de transition et constante cinétique de réaction ; coordonnée réactionnelle (illustration par des réactions de transfert d'atome en phase gazeuse).
5. Cinétique des réactions unimoléculaires.
6. Effets de solvant sur la constante cinétique de réaction. Réactions de type SN1 et SN2, transfert d'électron et transfert de proton en solution.

#### Bibliographie

C. Vidal, H. Lemarchand, La réaction créatrice, Hermann ; pour la première partie à maîtriser p3-56 et plus si affinité.

Un ouvrage parmi : (i) J. E. Leffler, E. Grunwald, Rates and equilibria of organic reactions, Dover ; (ii) T. H. Lowry, K. S. Richardson, Mechanism and theory in organic chemistry, Harper & Row; (iii) ou équivalent sur les chapitres « Effets isotopiques » et « Relations d'énergie libre ».

J.I. Steinfeld, J.S. Francisco, W.L. Hase, Chemical Kinetics and Dynamics chap. 10-12; M.J. Pilling, P.W. Seakins, Reaction kinetics chap. 3-6

---

**Code : BIO-IN-G02-S1**

## Introduction aux sciences du vivant

Niveau : IN  
Semestre : S1, ECTS : 3  
Responsable : Patrick Charnay  
Volume horaire : 28h

### Présentation pédagogique

Ce cours d'introduction vise à permettre à des non-biologistes de s'appropriier les connaissances fondamentales nécessaires à toute compréhension des modes d'organisation, de fonctionnement et d'évolution du vivant. Il constitue un pré-requis nécessaire pour suivre la plupart des autres cours destinés aux non-biologistes et constitue la première étape de filières mixtes avec la biologie. Les généraux objectifs sont les suivants :

- permettre une compréhension en profondeur de ce qui fait l'originalité, l'unité et la diversité du vivant
- donner les informations essentielles sur la machinerie centrale, responsable des phénomènes d'hérédité, d'expression de l'information génétique et d'adaptation, et sur ses mécanismes de contrôle et leurs dérèglements éventuels
- fournir une introduction aux mécanismes-clés impliqués dans l'origine des espèces et de leur évolution
- illustrer par quelques exemples les méthodologies qui permettent de constituer ce savoir, et leurs limites

Pré-requis : aucun

#### Programme

Unité du vivant : chimie du vivant, protéines et acides nucléiques, organisation cellulaire, métabolisme, membranes, signalisation et communication cellulaires, cycle cellulaire, hérédité, de l'ADN aux protéines, régulation de l'expression génique et médecine moléculaire, développement et morphogenèse.

Diversité du vivant : Individus, populations, communautés, écosystèmes : variation phénotypique et propriétés émergentes des populations. Réseaux d'interactions entre populations : structure, robustesse, évolution. Diversité des communautés et fonctionnement des écosystèmes. Evolution : marqueurs génétiques, notion d'espèce et principes de la reconstruction phylogénétique. Histoire des caractères et innovation évolutive. Evolution de la coopération et niveaux de sélection. Processus de spéciation.

Méthodes pour l'étude et la manipulation des gènes et des génomes : Méthodes de base (recombinaison in vitro, cartographie, séquençage...). Clonage moléculaire (principes, stratégies d'isolement de gènes, manipulation de gènes isolés). Organismes génétiquement modifiés (transgénèse, invalidation, mutation et remplacement de gènes, considérations éthiques).

---

**Code : BIO-IN-G03-S2**

### Biologie moléculaire de la cellule

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Alice Lebreton

Volume horaire : 28h

Ce module s'adresse aux chimistes désireux de s'initier aux méthodes et aux raisonnements utilisés en Biologie moléculaire et cellulaire. Après quelques séances de fond, une série d'interventions de chercheurs sur leurs travaux récents permet de découvrir une grande diversité de thématiques, et les approches innovantes qui les portent. L'objectif final est d'être capable de lire, comprendre et restituer un article de recherche.

#### Programme

Introduction aux méthodes de biologie moléculaire et génétique  
L'histoire dans l'ADN.

Protéines fluorescentes  
Réplication de l'ADN  
Biologie et expression génétique des organites  
Chromatine, chromosomes et télomères  
Contrôle de qualité des ARNs messagers  
Ions divalents et neuroplasticité  
Protéines infectieuses et maladies neurodégénératives  
VIH et interactions hôte-pathogène  
*Listeria*, pirate et explorateur cellulaire

---

**Code: CHIM-L3-A12-S1**

## Electrochimie

Niveau : M1-L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Laurent Thouin

Volume horaire : 32h

### Thématique

Électrochimie fondamentale et appliquée

Les principes fondamentaux de l'électrochimie sont abordés depuis ses notions thermodynamiques de base jusqu'à ses fondements analytiques. L'approche est basée sur les concepts de thermodynamique, de cinétique et de transport de matière pour décrire les relations courant – tension. Les principales techniques employées en régime stationnaire et transitoire sont ainsi étudiées. Leurs caractéristiques sont démontrées systématiquement par la résolution des équations de transport. Des exemples sont traités dans le domaine de l'analyse de mécanismes réactionnels couplés à des transferts d'électron.

### Programme

- Double couche électrochimique
- Régime de diffusion plane transitoire
- Cinétique du transfert d'électron à l'interface (Marcus, Butler-Volmer)
- Régimes de diffusion stationnaire
- Voltamétrie cyclique – Chronoamperométrie à double sauts
- Réactions couplées au transfert d'électron
- Applications à l'étude de mécanismes réactionnels

### Bibliographie

- Electrochimie, des Concepts aux Applications. F. Miomandre, S. Sadki, P. Audebert et R. Meallet-Renault, Dunod, 2005.
- L'Électrochimie, Fondamentaux avec exercices corrigés. C. Lefrou, P. Fabry et J.C. Poignet, EDP sciences, 2009
- Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications. A.J. Bard and L.R. Faulkner, Second edition, Wiley, 2001.
- Instrumental Methods in Electrochemistry. Southampton Electrochemistry Group, Ellis Horwood limited, 1990.
- Elements of Molecular and Biomolecular Electrochemistry. Jean-Michel Savéant, Wiley Interscience, 2006.

---

**Code : CHIM-M1-C03-S1**

## Catalyse

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : Hélène Pernot

Volume horaire : 14h

Présentation pédagogique

Les objectifs de cette UE sont de :

- Présenter les concepts qui gouvernent les phénomènes catalytiques et la préparation des catalyseurs
- Présenter les grands domaines d'application de la catalyse.
- Montrer comment se situe la recherche fondamentale dans ce domaine, aux interfaces avec la chimie inorganique, organique et la chimie physique.

Ce cours donne les notions générales communes aux différents types de catalyse puis est centré essentiellement sur les spécificités de la catalyse hétérogène.

Il nécessite d'avoir des bases de niveau Licence dans les domaines de la chimie inorganique et de la chimie physique.

### Programme

I) Activation et catalyse

II) Catalyse homogène : aspects moléculaires

III) Catalyse hétérogène : rôle du matériau

- Synoptique des types de réactions et des familles de catalyseurs associées.
- Présentation des différents types de supports oxydes, fonctionnalisation de ces supports
- Méthodes de caractérisation

IV) Interaction molécule-surface

- Phénomènes de physisorption et de chimisorption - Modèle de Langmuir
- Suivi de cette interaction pour la détermination de propriétés chimiques.
- Approche intégrée de la réactivité des solides inorganiques.

### Bibliographie

Heterogeneous Catalysis, principles and applications,

G.C. Bond, Ed. P.W. Atkins, J.S.E. Holker, A.K. Holliday, Oxford Science Publications, Oxford 1987.

Catalytic Chemistry,

B.C. Gates, Ed. John Wiley and sons, USA, 1992

Cinétique et catalyse,

G. Scacchi, M. Bouchi, J-F. Foucaut, O. Zahraa, Ed. Technique et Documentation, Paris, 1996

---

**Code : CHIM-M1-C04-S1**

## Polymères : de la chimie aux matériaux.

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : Christophe Tribet

Volume horaire : 14h

### Présentation pédagogique

Les polymères ont envahi notre quotidien et font l'objet de recherches multidisciplinaires associant synthèse, chimie analytique, physico-chimie, physique des matériaux, biologie... Les applications des polymères couvrent en effet des domaines d'activités particulièrement diversifiés tels que l'exploitation pétrolière, les peintures et revêtements, l'agroalimentaire, la cosmétique ou encore le domaine pharmaceutique et biomédical.

Ce module propose une introduction aux questions actuelles de la chimie et de la physico-chimie macromoléculaire, illustrée par des séminaires de chercheurs qui seront préparés au préalable (travail sur un article représentatif du domaine, explicitation des notions essentielles et spécifiques). Il abordera les principales méthodes de synthèse de chaînes macromoléculaires organiques, les bases fondamentales du comportement des macromolécules en solution, l'étude et la maîtrise des écoulements dans les matériaux solides ou les gels. L'objectif est de transmettre des bases de lecture et compréhension de travaux de recherche sur les macromolécules, un champ de la chimie nécessitant singulièrement la prise en compte statistique des propriétés moléculaires tout autant que celle de la nature chimique de ses constituants.

Thèmes abordés.

Synthèse de chaînes macromoléculaires : grands polymères industriels, synthèse contrôlées, synthons biosourcés.

Ecoulement complexes : gels, matériaux thermoplastiques/autocicatrisants.

Assemblages fonctionnels : systèmes stimulables, biointerfaces (selon disponibilités)

---

**Code : CHIM-M1-C21-S1**

### Résonance Magnétique Nucléaire

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Geoffrey Bodenhausen

Volume horaire : 32h

### Présentation pédagogique

Principles of modern NMR. Fourier transformation. Magnetization vectors and spin echoes. Coherent superpositions of states and density operators. Coherence transfer and correlation spectroscopy. Relaxation and return to equilibrium. Diffusion and flow.

### Bibliographie

Basics : P. J. Hore, 'Nuclear Magnetic Resonance', Oxford Chemistry Primer, OUP, 2nd edition, 2015.

---

**Code : CHIM-M1-C30-S1**

### Synthèse asymétrique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Alejandro Perez-Luna

Volume horaire : 32h

L'objectif de ce cours est de présenter les principales méthodes qui existent pour préparer sélectivement un seul énantiomère d'un composé chiral (synthèse asymétrique). Les facteurs qui gouvernent la stéréosélectivité d'une réaction organique et les principaux concepts de la synthèse asymétrique seront introduits à travers l'étude approfondie des méthodes modernes d'aldolisation, d'allylation et d'addition conjuguée. La compréhension et la maîtrise des modèles

qui permettent de rationaliser les facteurs stéréoelectroniques qui gouvernent la sélectivité d'une réaction organique occuperont une partie importante du cours.

Programme

I. Synthèse stéréosélective : Principes

Notion de sélectivité, diastéréosélectivité et énantiosélectivité des réactions d'addition

Additions nucléophiles sur des aldéhydes et imines chirales (modèles de diastéréosélectivité)

II. Stéréosélectivité dans les réactions aldol

II.1. Additions d'énolates sur des aldéhydes et imines

Diastéréosélectivité simple (révisions). Additions diastéréosélectives avec des réactifs chiraux

Additions diastéréosélectives : inducteurs de chiralité. Additions énantiosélectives : catalyse asymétrique

II.2. Réactions aldol et Mannich catalysées par la formation d'énamines

III. Stéréosélectivité dans les réactions d'allylation

Additions d'allyl métaux sur des aldéhydes et imines

Diastéréosélectivité simple (révisions)

Additions diastéréosélectives avec des réactifs chiraux,

Additions diastéréosélectives : inducteurs de chiralité

Additions énantiosélectives : catalyse asymétrique

IV. Stéréosélectivité dans les réactions d'addition conjuguée

IV.1 Additions diastéréosélectives de carbanions : inducteurs de chiralité

IV.2 Additions énantiosélectives sur des aldéhydes  $\alpha$ - $\beta$  insaturés par formation d'iminium

Bibliographie :

Effets stéréoelectroniques, orbitales frontières :

N. T. Anh, Frontier Orbitals, a practical manual, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2007.

A. J. Kirby, Stereoelectronic Effects (Oxford Chemistry Primers), Oxford University Press, Oxford, 1996.

G. Procter, Stereoselectivity in Organic Synthesis (Oxford Chemistry Primers), Oxford University Press, Oxford, 1998.

Synthèse Asymétrique :

Asymmetric Synthesis, J. D. Morrison (Ed.), Academic Press, 1985, vol 1-5.

Stereoselective Synthesis (Houben-Weyl Series), G. Helmchen, R. W. Hoffman, J. Mulzer, E. Shaumann (Eds.), Thieme, 1996, vol E21b.

Comprehensive Asymmetric Catalysis I-III, E. N. Jacobsen, A. Pfaltz, H. Yamamoto (Eds.), Springer-Verlag, Springer, 1999 and Supplements I (2003) and II (2004).

Asymmetric Synthesis : The Essentials, 2nd Completely Revised Edition, M. Christmann, S. Bräse (Eds.), Wiley, 2007.

---

**Code : CHIM-M1-C29-S1**

**Chimie organométallique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Matthieu Sollogoub

Volume horaire : 32h

Présentation pédagogique

Ce cours de M1 ouvre la chimie organique à d'autres atomes du tableau périodique que C, H, O, N comme B, Si, P, Sn, en montrant leurs réactivités particulières et leurs utilisations en synthèse. Il aborde également l'utilisation des métaux de transitions (Pd, Ru, Co, Ti...) en montrant que leur

mécanisme d'action donne accès à des réactivités totalement inaccessibles par ailleurs qui sont à l'avant-garde de la chimie moderne.

Il nécessite d'avoir des bases réactivité en chimie organique, de coordination, ainsi qu'une connaissance des orbitales frontières.

Programme

#### I. Chimie des éléments du groupe principal B, P, Si, Sn

- Chimie du Bore
- Hydroboration des alcènes, des alcynes, régio- et stéréochimie
- Réaction d'oxydation du B
- Allylations
- Chimie du Phosphore
- Réactivité
- Illustration réactions de Staudinger et de Corey-Fuchs
- Chimie du Silicium
- Réactivité
- Illustrations : réactions de Tamao et de Peterson
- Chimie de Sn, comparaison avec Si

#### II. Chimie Organométallique

- Chimie des métaux de transitions, généralités
- Chimie du Palladium
- Couplages (Stille, Suzuki, Sonogashira)
- Alkylation allylique
- Cas du Cobalt (Nicholas, Pauson-Khand, Vollhardt)
- Chimie du Ruthénium
- Métathèses
- Cas du Titane (Tebbe, McMurry)

Bibliographie

Clayden, Greeves, Warren Wothers, « Organic Chemistry », Oxford Ed.

---

**Code : CHIM-M1-C27-S1**

### De la chimie bio-inorganique à la chimie inorganique supramoléculaire

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Clotilde Policar

Volume horaire : 32h

Présentation pédagogique

Ce cours présentera des avancées récentes dans le domaine de la chimie inorganique et comportera deux parties : chimie bioinorganique et chimie supramoléculaire.

La première partie s'intéresse aux métaux en biologie. Elle conduit à revoir (ou voir) certaines notions de chimie inorganique sur des exemples pris dans les systèmes vivants, principalement les métalloprotéines. Nous détaillons le rôle des métaux en biologie mais aussi les méthodes physiques d'études des systèmes métalliques du vivant, en présentant quelques systèmes métalliques importants en biologie. Nous nous attachons à présenter les mécanismes et à comprendre comment ils ont été établis (aspect méthodologique).

La seconde partie s'intéresse au rôle des ions métalliques dans des systèmes supramoléculaires. Deux notions clé sont abordées : la reconnaissance moléculaire et l'auto-assemblage. Il s'agit

d'apprendre à analyser des systèmes métallo-supramoléculaires pour comprendre l'intérêt de chaque constituant, puis à concevoir des systèmes avec une architecture et des propriétés définies.

Prérequis : notions de base en chimie inorganique

Programme

Chimie bio-inorganique

Introduction : rôle des métaux en biologie

L'hémoglobine et myoglobine : de la fonction aux systèmes mimes

Complexes métalliques et biomolécules

Transfert d'électron (associé à un TP/tutorat de modélisation)

Chimie supramoléculaire

Introduction et aperçu historique

Interactions intermoléculaires dans les complexes métalliques

Reconnaissance moléculaire des ions métalliques

Facteurs de stabilité des complexes

Construction supramoléculaire : Effet Template, Auto-assemblage d'architectures métallo-supramoléculaires

Applications et conclusions

Bibliographie

Gilles Gasser (Edited book), *Inorganic Biological Chemistry*, Wiley, 2014

Bertini, H. Gray, E.I. Stiefel, J.S. Valentine (edited book) *Biological Inorganic Chemistry, Structure and Reactivity*, University Science Books, 2007

H.-B. Kraatz, N. Metzler-Nolte (edited book) *Concepts and models in bioinorganic chemistry*, Wiley, 2006

G. Jaouen (edited book), *Bioorganometallics—Biomolecules, labeling and medicine*, Wiley, 2006

S.J. Lippard, J.M. Berg, *Principles in bioinorganic chemistry* University Science Book, Mill Valley, 1994

*Inorganic Supramolecular Chemistry Part J.W. Steed and J. L. Atwood*, Supramolecular

*Chemistry*, Wiley 2009 J.W. Steed, D.R. Turner and K.Wallace, *Core Concepts in Supramolecular Chemistry and Nanochemistry: From Supramolecular to Nanotechnology*, Wiley, 2007

---

**Code : CHIM-M1-C28-S1**

## Spectroscopies inorganiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Marie-Laure Bocquet

Volume horaire : 32h

### Présentation pédagogique

Cet enseignement présente les différentes spectroscopies électroniques pour caractériser les complexes de métaux de transition. Tout d'abord on détaillera la spectroscopie d'absorption UV-visible et la spectroscopie de résonance paramagnétique électronique (RPE). On introduira également les propriétés magnétiques des complexes. Dans un deuxième temps on introduira une spectroscopie électronique « avancée » liée au microscope à effet tunnel (STM) qui permet de caractériser à l'échelle atomique un « unique » complexe déposé sur une surface. Enfin on complètera la spectroscopie STM par deux spectroscopies électroniques de cœur comme l'XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) et l'XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) très utilisés en sciences des surfaces pour des résolutions chimiques et magnétiques respectivement.

## Programme

Rappel de la spectroscopie électronique atomique  
Répulsion électronique : décomposition de configuration électronique en termes spectroscopiques et micro-états.  
Couplage Russel Sanders  
Couplage Spin-Orbite  
Cas des ions d, cas des ions f  
Spectroscopie électronique des complexes (métaux d)  
Théorie du champ des ligands : Champ faible (Orgel)/ Champ fort (Tanabé Sugano).  
Interprétation de spectres d'absorption UV : loi de Beer Lambert. règles de sélection (Laporte, spin), couleur des complexes aqueux et pierres précieuses  
Spectroscopie de résonance paramagnétique électronique  
Niveaux Zeeman  
Interaction hyperfine en milieu isotrope  
Anisotropie, éclatement en champ nul (ZFS : Zero field Splitting)  
Spectroscopie ENDOR  
Applications en recherche  
Propriétés magnétiques des complexes  
Approche macroscopique (Loi de Curie)  
Approche microscopique (formule de Van Vleck)  
Spectroscopie avec le microscope à effet tunnel  
3 modes de mesure : imagerie, spectroscopie élastique et inélastique  
Calcul du courant tunnel (approche de Tersoff Hamman)  
Applications en recherche (phthalocyanine / métallocène sur métal)  
Introduction à deux spectroscopies électroniques de cœur  
XPS : résolution chimique  
XMCD : résolution magnétique  
Applications en recherche (graphène / métallocène sur métal)

## Bibliographie

Spectroscopie cours et exercices J. Michael Hollas, ... traduit de l'anglais par Daniel Simon, Paris Dunod 2003  
Ligand field theory and its applications B.N. Figgis & M.A. Hitchman, Wiley-VCH  
La spectroscopie de résonance paramagnétique électronique, Fondements, P. Bertrand, EDP sciences.

---

**Code : CHIM-M1-C23-S1**

## **Chimie théorique : structure électronique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Rodolphe Vuilleumier

Volume horaire : 32h

### Présentation pédagogique

Le cours se base sur la notion d'Hamiltonien moléculaire, que ce soit à niveau quantique (noyaux + électrons) ou à un niveau atomiste classique (champs de force). Dans le cas quantique, après une brève introduction sur les approximations nécessaires pour résoudre l'équation de Schrödinger associée, le cours se focalise sur les principes des méthodes de calculs de la structure électronique des systèmes moléculaires avec une attention particulière à la description quantitative de la liaison chimique. Dans les cas atomistes il s'appuie sur les bases de

la mécanique statistique pour faire le lien entre Hamiltonien moléculaire et structure microscopique et propriétés thermodynamiques des fluides moléculaires. Les implications pour la réactivité en phase liquide sont discutées.

Il nécessite d'avoir des bases en mécanique statistique et chimie quantique.

#### Programme

##### I- Structure électronique moléculaire

1. Hamiltonien moléculaire, la méthode variationnelle, orbitales moléculaires
2. Le champ auto-cohérent. Electrons, spin et antisymétrie. Echange et corrélation
3. La méthode Hartree-Fock et au-delà
4. Analyse de la fonction d'onde et Liaison chimique.
5. Quelques descripteurs moléculaires : charges atomiques et aromaticité

##### Mécanique statistique moléculaire

1. Quelques rappels de mécanique statistique : Hamiltonien moléculaire. Vision mécaniste d'un système à N particules : dynamique moléculaire. Vision statistique : ensembles microcanonique et canonique.
2. Mécanique statistique des fluides moléculaires : Energie libre et équation d'état. Fonctions de distribution de paires. Propriétés thermodynamiques et structure microscopique des fluides. Solvatation et réactivité.

#### Bibliographie

A. Szabo N. Ostlund Modern Quantum Chemistry : Introduction to Advanced Electronic Structure Theory (Dover)

I.N. Levine, Quantum Chemistry, Pearson Prentice Hall

A. Gershel, Liaisons intermoléculaires, les forces en jeu dans la matière condensée, EDP Sciences Editions,

D. McQuarrie, Statistical Mechanics, Univ. Science Books

---

#### Code : CHIM-M1-C24-S1

### Chimie théorique : mécanique statistique appliquée à la chimie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Damien Laage

Volume horaire : 32h

#### Présentation pédagogique

Ce cours explore la dynamique des espèces chimiques à l'échelle moléculaire. Les idées développées sont essentielles pour une formation moderne aussi bien en chimie théorique que plus largement en chimie physique.

Ce cours s'appuie sur les cours de physique statistique, mécanique quantique, liaison chimique, cinétique et réactivité de L3, ainsi que sur le cours de chimie théorique I (fondamentaux) de M1.

#### Programme

##### I. Mécanique statistique hors d'équilibre et applications à la chimie

1. Fonctions de corrélation temporelles
2. Vitesse de réaction et flux réactionnel
3. Transfert d'énergie vibrationnelle
4. Spectroscopie vibrationnelle linéaire et non-linéaire

##### II. Dynamique moléculaire ab initio

1. Couplage dynamique moléculaire – structure électronique
2. Calcul de propriétés – spectroscopie
3. Eau liquide, propriétés électroniques
4. Réactivité chimique

#### Bibliographie

Statistical Mechanics, D. A. McQuarrie, Univ. Science Books, Chaps 21-22  
Introduction to Modern Statistical Mechanics, D. Chandler, Oxford Univ. Press  
Ab Initio Molecular Dynamics - Basic Theory and Advanced Methods, D. Marx and J. Hutter, Cambridge University Press, 2009

---

**Code : CHIM-M1-C25-S1**

### Physico-chimie du vivant

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Ludovic Jullien

Volume horaire : 32h

#### Présentation pédagogique

Un chimiste curieux visite le comportement des systèmes biologiques. Ce cours a pour but d'analyser en termes physico-chimiques précis des phénomènes biologiques dont la manifestation pourrait étonner le chimiste.

Il se propose aussi de fournir le socle culturel et conceptuel nécessaire pour définir des systèmes chimiques reproduisant des comportements complexes observés en biologie.

Ce cours est destiné à des élèves chimistes ou biologistes ayant du goût et de l'exigence à l'interface chimie / biologie et qui souhaitent élargir leurs perspectives en chimie biomimétique ou en biologie synthétique.

Il nécessite d'avoir des bases en réactivité (bon niveau L2), en thermodynamique et en cinétique (bon niveau de L2 et/ou cours du L3 de chimie) et des bases en biologie moléculaire (bon niveau de L2 et/ou cours de biologie moléculaire de la cellule 1 et/ou 2 du L3 de chimie).

#### Programme

- 1- Interface Chimie-Biologie (perspective historique)
- 2- Les lieux du questionnement physico-chimique des phénomènes biologiques
- 3- Contrôles thermodynamique/cinétique, auto-assemblage statique/dynamique, complexité
- 4- La catalyse comme clef de lecture en biologie : sélectivité, réactions couplées, régulations
- 5- Emergence et comportement dynamique de réseaux de réactions chimiques
- 6- La biologie science historique (organisation et gestion de la matière, stockage et gestion de l'énergie, la question des origines).

#### Bibliographie

Biophysical Chemistry, C. R. Cantor, P. R. Schimmel, Freeman & Co, 1980 (en particulier le tome III).

La réaction créatrice, C. Vidal, H. Lemarchand, Hermann, 1988.

Chemical Biophysics : Quantitative analysis of cellular systems, D. A. Beard, H. Qian, Cambridge University Press, 2008.

Exploring Complexity, an introduction, G. Nicolis, I. Prigogine, Freeman & Co, 1989.

An introduction to Systems Biology, Design Principles of Biological Circuits, U. Alon, Chapman & Hall/CRC, 2007.

---

**Code : CHIM-M1-C26-S1**

## Biologie chimique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : Arnaud Gautier

Volume horaire : 14h

### Context

Chemical biology gathers a community of scientists interested in science encompassing both chemistry and biology. The reasons why chemists and biologists find a common interest in chemical biology are complementary : on one hand, for chemists, the complexity of biological systems appears like the ultimate playground in terms of chemical reactivity and analytical challenges ; on the other hand, for biologists, chemistry appears like the most appropriate level of description to unravel biological processes. This course will present innovative approaches to understand and manipulate biological systems in new ways using the knowledge of chemistry

### Prerequisites

This course requires basic knowledge about Proteins and Nucleic Acids (Structure, Molecular Recognition, Biocatalysis...).

### Programme

#### Protein design by directed evolution

Probes for the study of protein location and function

Tools for the study of post-translational modifications

Non-coding RNA for regulating gene functions

Synthetic biology or how to construct artificial biological systems

Chemical approaches for cell reprogramming

Code : CHIM-M1-C22-S1

Imagerie RMN

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : Geoffrey Bodenhausen

Volume horaire : 14h

### Présentation pédagogique

Magnetic Resonance Imaging (MRI) : methods for image reconstruction, morphology, origins of contrast, endogenous and exogenous contrast agents, chemical exchange saturation transfer, flow and angiography, anisotropic diffusion and mapping of nerve bundles, fast echo planar imaging, functional imaging.

Alternatively, if the students show interest, the lectures can focus on the structure of biomolecules and their dynamics.

### Bibliographie

Basics : P. J. Hore, 'Nuclear Magnetic Resonance', Oxford Chemistry Primer, OUP, 2nd edition, 2015.

Advanced : P. J. Hore, J. A. Jones, and S. Wimperis, 'NMR : The Toolkit, how pulse sequences work', Oxford Chemistry Primer, OUP, 2nd edition, 2015.

---

---

**Code : CHIM-M1-C11-S1**

## Matériaux inorganiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Gilles Wallez

Volume horaire : 32h

### Présentation pédagogique

Ce cours constitue une introduction très généraliste à une vaste gamme de matériaux inorganiques et à leurs applications. Il s'appuie sur l'approche du solide cristallin "idéal" développée en L3 et basée sur la Cristallographie et la Chimie du Solide, et l'étend en tenant compte de l'existence de divers types de défauts, physiques et chimiques, qui enrichissent considérablement le spectre des propriétés, qu'elles soient subies ou choisies. Une série de TD accompagne le cours.

### Programme

Propriétés intrinsèques des grandes familles de solides inorganiques

Approche thermodynamique des défauts

Défauts ponctuels et mobilité (alliages, diffusion, réactivité, corrosion, conducteurs ioniques)

Défauts monodimensionnels : dislocations (propriétés mécaniques des métaux)

Défauts bidimensionnels : joints de grains, surfaces, macles (réactivité chimique, croissance cristalline)

Ordre et désordre : théorie des transitions (ferroélectriques, alliages à mémoire de forme)

Défauts d'irradiation (nucléaire, thermoluminescence, implantation ionique)

Non-stoechiométrie : oxydes des éléments de transition (coloration, conductivité, accumulateurs lithium, piles à combustible, sondes)

Impuretés dans les solides : semi-conducteurs extrinsèques, jonctions (diode, effet photovoltaïque)

Les grands matériaux inorganiques (aciers, silicium, alumine, zircone, diamant, ...)

Matériaux dans l'histoire et histoire des matériaux.

---

**Code : CHIM-M1-C05-S1**

## Chimie, histoire et société

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : Jean-Bernard Baudin

Volume horaire : 14h

### Présentation pédagogique

Le cours a pour ambition de présenter l'histoire de la discipline, initialement constituée de pratiques diverses autour des arts du feu d'une part et de l'usage des substances issues des règnes minéraux et végétaux dans la vie quotidienne d'autre part. Après un passage en revue des principales spéculations auxquelles la matière a donné lieu dans l'Antiquité et au Moyen-Âge (en se limitant au monde occidental), nous suivrons la lente émergence de la chimie en tant que science à compter du 16<sup>e</sup> siècle, l'efflorescence des théories au 17<sup>e</sup> siècle puis, après la réforme de Lavoisier, son installation définitive dans le monde universitaire au 19<sup>e</sup> siècle.

Le cours est l'occasion de lire de nombreux textes des chimistes des 17<sup>e</sup>, 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles ; il s'attarde sur quelques moments privilégiés de l'histoire de la discipline : le temps de la constitution de la chimie comme science aux 17-18<sup>e</sup> siècles avec la question des combustions, le problème de la structure de la matière et la théorie atomique durant la première moitié du 19<sup>e</sup>

siècle et enfin la question de la représentation des objets et des formules chimiques durant le 19<sup>e</sup> siècle.

Ce cours d'un chimiste destiné à des chimistes ne suppose pas de connaissances d'histoire des sciences, mais une certaine familiarité avec l'univers de la chimie et ses principaux concepts.

Dans le cadre de ce cours, une journée de conférence en histoire des sciences et épistémologie est organisée (journée George Bram).

---

**Code : CHIM-M1-C31-S1**

### Scientific communication

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Fabien Ferrage

Volume horaire : 20h

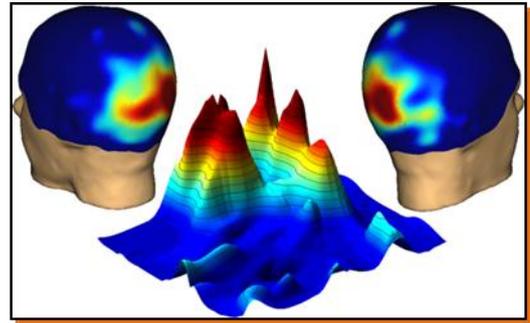
#### Présentation pédagogique

Il est essentiel de bien communiquer les résultats de son travail. La plupart du temps, cette communication doit être réalisée en anglais. Pourquoi un projet est-il important ? Quelles sont les résultats principaux ? Quelles perspectives ces résultats ouvrent-ils ? En prenant comme exemple deux activités de communication centrales pour le chercheur : l'écriture d'articles et la conception de présentations orales, nous abordons de nombreux principes généraux de communication. Nous étudions la structure d'un article à plusieurs échelles : son organisation générale, comment écrire un résumé, comment structurer un paragraphe. Nous prêtons aussi une grande attention au vocabulaire et aux erreurs à ne pas commettre en anglais. Pour les présentations orales, nous travaillons la façon de concevoir une diapositive, le rythme auquel le message est transmis.

Les activités se déroulent toutes en groupes de deux ou trois étudiants. Sous forme écrite, nous effectuons quelques exercices tels que l'écriture d'un résumé d'article, puis le coeur du travail se déroule autour de la rédaction d'un article cours, communication ou "news and views". Les groupes travaillent de manière collective, se corrigent les uns les autres, afin de concevoir, en quelques séances, un texte bref mais de très bonne qualité.

## Département d'études cognitives (DEC)

Site web: <http://www.cognition.ens.fr/index.html>  
L'IEC se situe au 29, rue d'Ulm, rez-de-chaussée,  
à droite après la loge d'entrée.



Directrice : Sharon Peperkamp (*Directrice de recherche au CNRS - (Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistiques)*) – [sharon.peperkamp@ens.fr](mailto:sharon.peperkamp@ens.fr)

Directeur des études : Benjamin Spector (*Directeur de recherche au CNRS, professeur attaché à l'ENS - Institut Jean Nicod*) [benjamin.spector@ens.fr](mailto:benjamin.spector@ens.fr)

Responsable master : Franck Ramus (*Directeur de recherche au CNRS - Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistiques*) – [franck.ramus@ens.fr](mailto:franck.ramus@ens.fr)

Responsable administrative : Nathalie Marcinek - [nathalie.marcinek@ens.fr](mailto:nathalie.marcinek@ens.fr)  
Tél : 01 44 32 26 80.

Le DEC regroupe l'enseignement et la recherche consacrés à l'étude de l'esprit humain au sein de l'Institut d'Étude de la Cognition. De ce fait, le DEC est intrinsèquement multidisciplinaire : on y croise aussi bien des philosophes, des linguistes, des anthropologues que des psychologues, neurologues et chercheurs en neurosciences... Les élèves et étudiants y sont autant d'origine scientifique que littéraire. Le DEC s'appuie sur un réseau de laboratoires et d'équipes très denses, ce qui lui permet de fournir une formation initiale complète aux sciences cognitives, et de mettre en contact très rapidement les étudiants avec la recherche actuelle, au travers notamment de nombreuses possibilités de stages de laboratoire.

Les sciences cognitives s'intéressent aux **grandes fonctions mentales** comme la perception, la mémoire, le raisonnement, le langage, les émotions, la motricité, la prise de décision, etc. Elles ont pour but l'étude conjointe des propriétés formelles et algorithmiques de ces fonctions mentales, des mécanismes psychologiques qui les sous-tendent, et des mécanismes biologiques qui les rendent possibles (des gènes jusqu'aux circuits et aires dans le système nerveux).

Elles s'intéressent aussi à leurs équivalents ou précurseurs chez l'animal, à l'influence des variations culturelles sur leur fonctionnement chez l'homme, à leur développement chez le nourrisson ou le jeune enfant, à leur altération dans certaines pathologies neurologiques, psychiatriques ou développementales. Elles cherchent plus généralement à saisir les rapports complexes qui se nouent entre les compétences de l'espèce et la culture au sens le plus large.

Elles relèvent ainsi de nombreuses disciplines : psychologie expérimentale et neurosciences, mais aussi mathématiques, informatique, physique, linguistique, philosophie et sciences sociales..

L'une des hypothèses centrales en sciences cognitives est que les fonctions mentales peuvent être décrites comme des processus de **traitement de l'information**. Cette hypothèse permet de déployer l'arsenal théorique de disciplines comme les mathématiques, l'informatique et la physique statistique, pour mettre au point des théories explicites et testables de ces fonctions mentales

## **LES ENSEIGNEMENTS**

La formation au DEC se divise en deux parties : d'une part une **formation initiale**, centrée autour un socle de **cours introductifs** portant sur les disciplines fondamentales des sciences cognitives, et d'autre part un master co-habilité par l'ENS, qui offre une formation avancée à la recherche : le **master de sciences cognitives** ('cogmaster', ENS / EHESS / Paris 5). Le DEC offre aussi un ensemble d'enseignement en **linguistique théorique**. Par ailleurs, l'Institut Jean Nicod, équipe co-affiliée à l'IEC et au département de philosophie, coordonne un **master de philosophie contemporaine** (ENS, EHESS), qui contient un ensemble d'enseignements consacrés à la **philosophie du langage et de l'esprit**.

Enfin, le DEC propose **des stages ou mini-stages** qui permettent aux élèves et étudiants intéressés, quel que soit leur département principal, de contribuer à un travail de recherche dans l'une de nos équipes de recherche.

Les cours fondamentaux (CO) sont accessibles sans condition, quelle que soit la discipline dont on provienne. Certains d'entre eux incluent des séances de travaux dirigés. Ils ont pour fonction de fournir une introduction aux grandes disciplines constituant les sciences cognitives, et notamment en linguistique, neurosciences, psychologie, philosophie, sciences sociales. Ces cours sont validables pour le diplôme de l'ENS. Certains de ces cours sont aussi des cours des masters de sciences cognitives, de linguistique ou de philosophie contemporaine (on consultera les brochures de ces deux masters pour avoir la liste complète des cours du DEC).

Ce document fait l'inventaire des cours fondamentaux en sciences cognitives, et d'un certain nombre de cours plus avancés, et renvoie vers les sites web pertinents pour le reste des cours. Les cours plus avancés, qui sont pour la plupart intégrés dans l'un des masters du DEC, sont ouverts aux étudiants et élèves de l'ENS qui ne sont pas inscrits dans ces masters mais qui ont acquis les connaissances et compétences nécessaires pour suivre ces cours. Ils sont validables pour le diplôme de l'ENS.

**Pour obtenir la liste complète des cours de l'IEC, veuillez vous reporter à la page suivante :**

<http://www.cognition.ens.fr/EtudierIEC.html>

**A noter :**

[Les informations concernant les salles et horaires seront disponibles sur le site du département à la rentrée et sur celui du cogmaster. De manière générale, il faut systématiquement vérifier les salles et les horaires, car des modifications peuvent intervenir.](#)

Pour tout enseignement du Cogmaster il est obligatoire de s'inscrire non seulement via le contrat d'étude de l'ENS mais également auprès du secrétariat du Cogmaster en observant la démarche expliquée sur le site :

[http://sapiance.dec.ens.fr/cogmaster/www/f\\_01\\_externes.php](http://sapiance.dec.ens.fr/cogmaster/www/f_01_externes.php)

---

**Code : DEC-IN-C01-S1**

## **Introduction à la philosophie de l'esprit**

Niveau : IN

Semestre: S1, ECTS : 4

Responsable : Pierre Jacob

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 28h (+TD)

Nous considérons quelques arguments en faveur du dualisme, pour passer ensuite aux tentatives de rendre compte des phénomènes mentaux dans un cadre matérialiste. Nous étudions notamment :

- le béhaviorisme logique,
- la théorie de l'identité selon laquelle les états mentaux sont identiques à des états du cerveau,
- le fonctionnalisme qui conçoit les états mentaux par analogie avec les états d'un ordinateur,
- l'éliminativisme qui soutient que tout le système conceptuel des états mentaux est désuet et voué à disparaître au profit d'une conception neuro-scientifique.

L'un des critères principaux pour évaluer ces doctrines est leur capacité à rendre compte de la capacité des états mentaux d'interagir causalement avec le monde physique.

L'assiduité aux cours et aux séances de TD est obligatoire.

---

**Code : DEC-IN-C02-S1**

## **Introduction à la linguistique**

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS : 6

Responsable : Salvador Mascarenhas

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 28h (+TD)

En anglais (mais voir ci-dessous)

Ce cours est une introduction à la linguistique, discipline qui étudie le langage et les langues dans une perspective scientifique. Nous présenterons les notions fondamentales des sous-disciplines les plus importantes de la linguistique – morphologie (l'étude de la structure des mots), syntaxe (l'étude de la structure des phrases), la sémantique (l'étude de la signification des mots et des phrases), la phonétique (l'étude des propriétés des sons de la parole), et la phonologie (l'étude de l'organisation des sons dans les langues).

Ces domaines seront abordés selon une double perspective, formelle et expérimentale, et nous évoquerons aussi la question de l'acquisition du langage, et de ses bases neurobiologiques.

**Ce cours sera enseigné en anglais**, mais les étudiants pourront poser toutes leurs questions en français, interagir avec l'enseignant en français, et rendre des devoirs rédigés en français. L'enseignant s'assurera que la langue du cours ne soit pas un obstacle pour des étudiants dont le niveau d'anglais est celui de lycéens, et clarifiera son propos aussi souvent que nécessaire.

La validation du cours reposera sur les éléments suivants :

- Des devoirs hebdomadaires, comptant pour 60% de la note
- Un examen final sur table, comptant pour 30% de la note
- La participation aux discussions pendant les cours et les TD, pour 10% de la note. Les séances de TD sont obligatoires pour tous les étudiants qui valident. Si vous souhaitez valider le cours mais ne pouvez pas participer aux TD, il faudra contacter l'enseignant avant le cours. Les exceptions éventuelles seront examinées au cas par cas.

---

**Code : DEC-IN-C03-S1**

## **Introduction à la psychologie cognitive**

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS : 4

Responsables : Jérôme Sackur et Thérèse Collins

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 26h (+TD)

Ce cours sera une introduction aux paradigmes, concepts et méthode de la psychologie cognitive. Il commencera par une introduction à la psychologie expérimentale en général, puis on insistera sur l'importance du paradigme cognitif. On présentera alors les grandes avancées qui ont été réalisées dans l'analyse de quelques-unes des grandes fonctions de l'esprit: langage, perception, mémoire, attention, avec une attention particulière portée sur l'apport des méthodes physiologiques récentes, dont l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf).

---

**Code : DEC-IN-C04-S1**

## **Introduction aux neurosciences cognitives**

Niveau: IN

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsables : Dominique Hasboun et Claire Legay

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 24h (+TD)

Ce cours ne nécessite aucune connaissance préalable en biologie ; il n'est pas ouvert aux étudiants du département de biologie.

- Présentation générale du système nerveux
- Neuroanatomie générale
- Exemples de petits réseaux de neurones: la rétine et le cortex cérébral des vertébrés

---

**Code : DEC-IN-C05-S1**

## **Introduction à la logique**

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS :6

Responsable : Paul Egré

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 28h (+TD)

Le cours propose une introduction à la logique pour les sciences cognitives. D'une part, les concepts et techniques fondamentaux de la discipline sont introduits, et l'on montre comment les langages formels de la logique permettent de rendre compte de ce qu'est un raisonnement valide. D'autre part, une partie des séances porte sur les interactions entre la logique et d'autres disciplines des sciences cognitives, linguistique (quel rapport y a-t-il entre forme logique et forme grammaticale), psychologie (quel rapport y a-t-il entre théories normatives et théories descriptives du raisonnement) et philosophie (qu'est-ce qui justifie les lois logiques ?).

---

**Code : DEC-IN-C06-S2**

## **Introduction aux neurosciences computationnelles**

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS : 4

Responsable : Boris Gutkin

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 26h

Cette unité d'enseignement présentera le traitement de l'information dans le cerveau d'une perspective mathématique. L'objectif du cours est d'initier les étudiants aux neurosciences computationnelles et d'enseigner les outils quantitatifs utilisés dans l'étude du cerveau.

Nous traiterons en particulier les matières suivantes :

- Dynamique et mécanismes (biophysique d'un neurone; génération de potentiels d'action; réseaux de neurones feedforward et récurrent; réseaux attracteurs; fonctions d'énergie, énergie de Liapounov; apprentissage et plasticité synaptique; mémoires associatives)
- Traitement de l'information (traitement sensoriel; filtres linéaires et champs récepteurs; estimation des champs récepteurs; détecteurs de contour; modèle de Hubel et Wiesel; statistiques des images naturelles; théorie de l'information; analyse en composantes indépendantes; décodage neuronal; codage par population)
- Modélisation de la cognition et du comportement (modèles de prise de décision; conditionnement classique; conditionnement opérant; apprentissage par renforcement; neuroéconomie).

Remarque : Les cours seront donnés en anglais.

---

**Code : DEC-IN-C07-S2**

## **Introduction à la neuropsychologie**

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS : 4

Responsable : Charlotte Jacquemot, Anne-Catherine Bachoud-Lévi

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 26h

Le cours est une introduction aux concepts et méthodes de la neuropsychologie (études des patients atteints de lésions cérébrales). Le cours ne suppose pas de connaissances préalables en médecine ou biologie.

---

**Code : DEC-IN-C08-S1**

## **Introduction aux sciences de la décision**

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Mikaël Cozic

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 26h (+TD)

L'objectif de cet enseignement est d'introduire simultanément aux aspects philosophiques, formels et empiriques de la théorie de la décision, une discipline qui rassemble économistes, philosophes et psychologues. Le cours se divise en deux parties, séparées par une séance d'initiation à la neuroéconomie.

La première porte sur la théorie de la décision individuelle. Elle sera largement consacrée à la décision individuelle en incertitude et plus particulièrement à la théorie de référence, la théorie de l'utilité espérée. Nous aborderons les modèles de Von Neumann-Morgenstern, nous discuterons des situations qui semblent mettre en défaut ces modèles (comme le paradoxe d'Allais) et présenterons les principaux modèles qui ont été proposés en réaction à ces mises en défaut.

La seconde partie du cours porte sur la théorie des jeux, qui traite des interactions stratégiques entre individus. Les étudiants seront initiés aux modèles élémentaires et à certains des principaux résultats expérimentaux.

---

**Code : DEC-IN-C09-S2**

## **Introduction aux sciences humaines cognitives**

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Nicolas Baumard

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel  
Volume horaire : 28h

L'objectif de ce cours est de présenter les travaux récents utilisant les approches cognitives en sciences humaines : anthropologie, économie, sociologie, histoire, études littéraires, histoire de l'art. Pour chaque séance, le cours partira d'une question classique de la discipline et s'appuiera sur un ou deux articles pour étudier comment les approches cognitives renouvèlent et complètent les travaux existants.

---

**Code : DEC-L3-MinStL3-S1**

### **Ministage L3**

Niveau : L3  
Semestre: S1, ECTS: variable  
Responsable : Yves Bouderec

Type d'enseignement: Stage  
Volume horaire : variable

Les élèves et étudiants de niveau L3 ont la possibilité d'effectuer un mini-stage sous la direction d'un chercheur du DEC. Ce mini-stage peut prendre la forme d'une contribution à des recherches en cours, ou consister en un travail de synthèse bibliographique.

Voir <http://cognition.ens.fr/Stages.html>

## **Cours plus spécialisés**

**Code : DEC-MM-CA1-S2**

### **Les nouveaux problèmes corps/esprit**

Niveau : MM  
Semestre : S2, ECTS : 6  
Responsable : Valeria Giardino, Pierre Jacob, Roberto Casati

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel  
Volume horaire : 39h

Ce cours de philosophie des sciences cognitives est consacré à l'élucidation de la conception computationnelle et représentationnelle de la cognition qui elle-même est née de la répudiation du behaviorisme dans les années 1950. Selon la version dominante de cette conception, les processus cognitifs peuvent être assimilés à des processus computationnels se déroulant dans des cerveaux individuels. Depuis une dizaine d'années, les avocats de conceptions rivales baptisées *embodied cognition* et *extended mind* ont critiqué la conception computationnelle et représentationnelle de la cognition en faisant valoir que celle-ci est incapable de rendre compte de la contribution de l'environnement corporel et de l'environnement non corporel du cerveau humain dans la résolution des tâches cognitives. Ce cours sera consacré à l'examen de ces controverses à la lumière des données expérimentales pertinentes fournies notamment par l'étude de la cognition sociale et les neurosciences cognitives de l'action.

---

**Code : DEC-MM-CA3a-S1**

## **Méthodes en psychologie scientifique**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Thérèse Collins

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

Le cours a comme objectif de former les étudiants aux méthodes avancées en psychologie scientifique, avec une approche pratique. Les notions abordées dans chaque cours seront étayées de travaux pratiques (construction d'un questionnaire, application des méthodes en psychophysique, réalisation d'une méta-analyse, etc). Il vise à fournir une boîte à outils aux étudiants destinés à poursuivre la recherche en psychologie cognitive, ou toute autre science cognitive qui utilise le comportement comme variable dépendante. De plus, il vise à permettre aux étudiants de prendre du recul par rapport aux différentes méthodologies et d'envisager l'adéquation entre les méthodes et les questions scientifiques posées.

Prérequis : Ce cours s'adresse notamment aux étudiants de la filière psychologie cognitive du M1 du cogmaster, ainsi qu'aux étudiants ayant suivi CO3 (introduction à la psychologie cognitive) l'année précédente. Pour les autres, le prérequis est d'une formation équivalente en L3 en psychologie cognitive. Ce prérequis peut être acquis de différentes matières : lors d'une licence de psychologie ou de sciences cognitives, par des lectures personnelles, par le suivi de certains MOOC.

---

**Code : DEC-MM-CA3b-S2**

## **Fonctions psychologiques**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Thierry Nazi

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

Le cours a comme objectif de former les étudiants aux concepts et théories de la psychologie cognitive. Le cours est organisé en 3 blocs de 4 cours, avec un enseignant différent par bloc, chacun centré sur une fonction psychologique: la perception, le langage, la mémoire. Chaque bloc présentera les recherches sur la fonction mentale au cours du développement mais aussi à l'âge adulte.

Prérequis : Ce cours s'adresse notamment aux étudiants de la filière psychologie cognitive du M1 du cogmaster, ainsi qu'aux étudiants ayant suivi CO3 (introduction à la psychologie cognitive) ou CA3a l'année précédente. Pour les autres, le prérequis est d'une formation équivalente en L3 en psychologie cognitive. Ce prérequis peut être acquis de différentes matières : lors d'une licence de psychologie ou de sciences cognitives, par des lectures personnelles, par le suivi de certains MOOC.

---

**Code : DEC-MM-CA4a-S2**

## **Neurosciences cognitives**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsables : Laura Dugué, Claire Sergent, Virginie van Wassenhove

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

Les objectifs de ce cours sont d'apporter les outils et la connaissance pour une approche critique des neurosciences cognitives dans toute leur diversité.

A ce titre, chaque séminaire sera accompagné:

- d'un article ou chapitre général de support
- de deux articles empiriques récents suggérés par chaque intervenant et qui feront l'objet d'une présentation évaluée à chaque début de cours.

*Il est entendu que tous les étudiants devront avoir préparé des questions sur ces articles avant chaque cours.*

Des TP obligatoires auront lieu dans le but de consolider les connaissances acquises lors des cours précédents.

*Validation :*

- 50% orale: présentation orale synthétique et critique d'un article en ~20 min. + 10 min. de questions
- 50% écrite: examen final de 3h ; questions courtes portant sur l'ensemble du cours

---

**Code : DEC-MM-CA4b-S2**

## **Neuropsychologie cognitive de la perception**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Yves Boubenec

Volume horaire : environ 30h

Pré-requis: le cours est destiné à des étudiants intéressés aux neurosciences maîtrisant les méthodes quantitatives (physique, informatique, mathématiques, etc.), aux étudiants de biologie et neurosciences intéressés par les approches computationnelles en neurosciences, et aux étudiants de M2 du cogmaster.

L'objectif de ce séminaire est de présenter des résultats récents en physiologie de l'attention et de la prise de décision. Nous discuterons des mécanismes corticaux de sélection d'informations pertinentes, ainsi que de l'influence des aires supérieures sur le traitement de l'information sensorielle. Un accent tout particulier sera mis sur des articles d'électrophysiologie chez l'animal en comportement, en détaillant l'activité neuronale à travers de nombreuses aires du cortex (des aires sensorielles aux aires frontales). Un cours d'introduction fournira à chacun les bases

conceptuelles des articles abordées. Chaque semaine un étudiant présentera un article choisi parmi une liste prédéfinie. Divers intervenants participeront aux séances afin d'encourager des discussions stimulantes. Un cours final se chargera de redonner un cadre global à l'ensemble des séances. L'assiduité est obligatoire.

Validation: En dehors des cours d'introduction et de conclusion, chaque session sera dédiée à la présentation d'un article de recherche par un étudiant, suivie d'une discussion entre les étudiants. Pour garantir une discussion animée, chaque participant devra lire l'article et soumettre une question 3 jours avant la séance. Les étudiants seront jugés sur la base de la qualité de leur présentation (50%) et sur leur participation aux discussions suivant les autres présentations.

---

**Code : à déterminer**

### **Master Classes in Quantitative analysis in neuroscience**

Niveau : MM & Dcoctora

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsables : Yves Boubenec, Srdjan Ostojic

Type d'enseignement : séminaire

Volume horaire 24h (6 sessions of 4-hour long classes)

Dates: Tuesday morning, every 2-3 weeks Teaching type: Master classes

Prerequisite: a basic background in math and statistics is welcome.

Description: The goal of this course is to bridge key concepts in integrative neurophysiology (such as cortical plasticity, attentional processes, decision-making...) and the state-of-the art in terms of analysis and modeling techniques in neurosciences (receptive fields, stimulus decoding, stimulus classification...). Quantitative analysis are now a major component of integrative neurosciences as they allow testing and formulating predictions based on the large experimental datasets that are nowadays available. In order to provide an outstanding training and attract students coming from various horizons, the strategy of this teaching unit is to select a few key neuroscientists, each expert in a different type of analysis, and allow them to present their data and detail their analysis techniques in 4h-long master class (2 x 1h30 + 1h free slot). This course is supported by the Chaire d'excellence of Shihab Shamma (Département d'Études Cognitives), whose objectives are tangent to the aim of this series of master classes.

Validation: The validation of this teaching unit will be conditioned to the attendance to all sessions, excepted in case of well-motivated and justified absence. In addition, students will be asked to prepare each class with the required materials, depending on the lecturer. At the end of the series of master classes, they will write a personal essay going further into one of the topics tackled in class. Relevant papers will be proposed to guide students in their approach.

---

**Code : DEC-MM-CA6a-S1**

### **Cours avancé en neuroscience théorique**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Pierre Nadal

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 45h (+TD)

Pré-requis : Une bonne familiarité avec les notions de bases d'analyse, algèbre linéaire et probabilités est fortement recommandée. Quelques connaissances en neurobiologie, et en systèmes dynamiques et mécanique statistique, seront utiles mais pas nécessaires. Si nécessaire, dans le cadre des TD des séances de tutorat seront organisées pour les étudiants ayant besoin d'un soutien en mathématiques. Nous contacter si vous êtes concerné.

Description : Ce cours introduira une palette d'approches quantitatives autour de trois questions centrales de la neuroscience: Comment le cerveau est-il constitué ? Quelles fonctions et quels calculs accomplit-il ? Par quels mécanismes ?

Le cerveau est un organe complexe qui accomplit des tâches sophistiquées de manière très précise. Il est donc souvent inespéré de pouvoir établir des liens directs entre la biochimie et une fonction donnée du cerveau. La neuroscience théorique ou computationnelle tente de combler ce fossé en suggérant des mécanismes possibles pour la perception, l'apprentissage, la mémoire, le contrôle moteur... De surcroît, des données expérimentales de plus en plus nombreuses et de plus en plus fines sont obtenues chaque jour. Leur simple abondance suggère l'utilité de principes théoriques qui aident à les 'mettre en forme' et à mieux les comprendre. La précision actuelle des expériences permet en retour des comparaisons détaillées avec les théories mathématiques proposées.

Le propos du cours sera, premièrement, de présenter un certain nombre de questions pour lesquelles une approche quantitative est pertinente.

Deuxièmement, le cours introduira des méthodes mathématiques nécessaires à l'étude de ces questions, mais utiles aussi dans d'autres domaines tels que la psychophysique, l'informatique, la biophysique, le génie biologique...

Finalement, le cours examinera des exemples concrets de problèmes dont la compréhension peut bénéficier d'une approche quantitative

---

**Code : DEC-MM-CA6b-S2**

## **Introduction à l'apprentissage machine appliqué aux neurosciences et à la cognition**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Sophie Denève

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 27h (+TD)

The goal of this course is to introduce basic concepts from machine learning and their practical applications to the neural basis of cognition, behavior and neuroscience.

Lectures will alternate between intuitive introductions to the concepts involved, specific applications of these concepts to neuroscience, and TD sections with introductory exercises.

1. Probabilistic methods.

Prior, posterior, likelihood, Generative models, maximum likelihood.

Application: Cue combination in behavior and cortical networks.

2. Representational learning (unsupervised learning with continuous latent representations)

Information maximization, Principle component analysis (PCA), Independent component analysis (ICA), sparse coding.

Application: sensory receptive fields.

Methods: PCA, ICA, CCA, sparse coding.

3. Supervised learning (classification/regression).  
Linear classifiers, Gaussian mixtures, support vector machines (linear and non-linear).  
Applications: Reading out the mind. Object recognition.  
Methods: SVM, logistic, k-NN, Cart, neural networks.
4. Interpolation.  
Gaussian processes, density estimation, Expectation/maximization.  
Application: Unsupervised learning in humans and animals.  
Methods: Parzen, k-means, GMM.

*Validation* : Lecture d'un article de recherche + reproduction d'expériences numériques.

---

**Code : DEC-MM-CA6jc-S1**

### Journal Club en neuroscience quantitative

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Srdjan Ostojic

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire: 26h

In this course, the students will go through several, mostly recent articles within the broader area of computational neuroscience. Each week will be dedicated to one research article (see choice of articles below). This article will be presented by a student in a short talk (about 20-30 minutes), followed by a discussion among the students. To ensure a lively discussion, every student has to read the article and submit a question about it one week in advance. The topics cover computational models from the single neuron level to behavior. Most of the articles address modern problems in the brain sciences and use a combination of experiments and mathematical analysis to solve them. Students will be free to choose an article to their liking.

The course languages will be French and English. Talks can be held in either language.

Intended audience:

- M2 students within the Cogmaster program
- students with a quantitative background (physics, computer science, mathematics, engineering etc.) that are interested in neuroscience
- students with a biology/neuroscience background that are interested in quantitative (mathematical) approaches to neuroscience

---

**Code : DEC-MM-CA7-S1**

### Cours avancé en méthodes d'imagerie fonctionnelle cérébrale

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Laura Dugué et Valentin Wyart

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 30h(+6h de TD)

Objectif: donner aux étudiants les connaissances nécessaires pour choisir une méthode d'imagerie en fonction de la question scientifique posée, et d'intégrer les limitations méthodologiques au raisonnement scientifique.

Contenu: EEG, MEG, TMS, IRM anatomique et fonctionnelle, PET

Prérequis : Bases physiologiques : mécanismes du potentiel d'action, notions de métabolisme cellulaire, notions d'anatomie cérébrale ; et bases méthodologiques : notions de fréquence, d'échantillonnage, de fonction. Ces points seront abordés rapidement lors du cours d'introduction.

---

**Code : DEC-MM-CA8-S2**

## **Sciences de la décision**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Brian Hill

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

Ce cours rappellera les concepts fondamentaux de la théorie de la décision et de la théorie des jeux, ainsi que certains de leurs résultats classiques, tout en s'approchant de travaux récents, soit théoriques, soit expérimentaux, qui font dialoguer les deux disciplines avec les sciences cognitives d'orientation psychologique et neurologique.

La présentation accentuera ces liaisons, que l'économie expérimentale de la décision a rendues manifestes et que la neuroéconomie peut être de nature à renforcer. Elle privilégiera souvent les aspects mathématiques des théories exposées, ce qui favorise un autre rapprochement (avec la modélisation en sciences cognitives).

Le cours est destiné à tous les étudiants qui souhaiteraient approfondir leurs bases en sciences de la décision :

- soit qu'ils en fassent leur spécialité,
- soit qu'ils se donnent le complément théorique dont la neuroéconomie et l'économie comportementale ont besoin,
- soit qu'ils lui trouvent un chevauchement suffisant avec d'autres intérêts de recherche (en psychologie du raisonnement, en neuroscience théorique ou computationnelle, en modélisation mathématique, en logique et philosophie des sciences).

Le cours mettra en évidence le concept de bayésianisme qui est devenu commun à plusieurs disciplines cognitives.

Il est recommandé aux étudiants de l'école HEC directement admis en M2.

Des projets de stages et de thèses à l'école HEC s'articulent sur les cours des deux enseignants (il est préférable d'en discuter directement avec eux, car le site internet n'indique pas toutes les possibilités). Les stages peuvent être menés en cotutelle avec des neuro-scientifiques, des psychologues ou des spécialistes de modélisation qui enseignent dans le master ou à l'extérieur (y compris en province et à l'étranger)

---

**Code : DEC-MM-CA9-S1**

## **Principes de biologie de l'évolution appliqués à la cognition humaine**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Nicolas Baumard et Coralie Chevallier

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel  
Volume horaire : 39h

Ce cours a pour objectif les principaux concepts et outils nécessaires pour étudier la cognition en termes évolutionnaires. L'accent sera mis sur la psychologie humaine, mais de nombreux exemples seront tirés de la psychologie comparée et de l'écologie animale. Le cours se concentrera sur la vie sociale, mais abordera aussi les questions comme le sexe, l'apprentissage ou les différences culturelles.

Effectif maximal: 25 étudiants

*Validation* : Présentation d'étudiant et examen sur table.

---

**Code : DEC-MM-CA10-S2**

## **La modélisation robotique en sciences cognitives**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Mehdi Khamassi

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 27h CM, 12h TD

Introduire l'approche robotique des sciences cognitives. Perspective historique sur son évolution récente par rapport à l'Intelligence Artificielle classique qui se focalisait sur la cognition désincarnée, sur le raisonnement de haut niveau, abstrait et virtuel, mais qui a échoué à intégrer différentes capacités cognitives dans un même agent. Comprendre la dimension incarnée de la robotique (le corps participant à la résolution d'une tâche donnée, et la cognition étant vue comme imbriquée dans des boucles sensori-motrices), sa dimension incrémentale et développementale (l'architecture du contrôleur accumulant progressivement des couches de complexité croissante, comme a pu le faire l'évolution naturelle, et les motivations intrinsèques de l'agent le poussant à acquérir des compétences motrices et cognitives de difficulté croissante), sa dimension intégrative de multiples fonctions cognitives (perception, décision, action, contrôle moteur, exploration/curiosité, apprentissage, interaction sociale, langage).

---

**Code : DEC-MM-CA11-S2**

## **Cognition sociale**

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Coralie Chevallier et Julie Grèzes

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

L'objectif de ce cours est de comprendre quels sont les principaux systèmes cognitifs impliqués dans la cognition sociale : perception des informations sociales, théorie de l'esprit,

catégorisation sociale, apprentissage social, gestion de la réputation, dominance sociale et coopération.

Effectif maximum: 20 étudiants

*Validation* : Le système de notation est décomposé comme suit : - 25% commentaires postés avant le cours - 25% participation en classe - 25% QCM final (documents autorisés) - 25% mini-projet de recherche à présenter en classe (évaluation conjointe par les deux responsables d'UE)

## **Cours interdisciplinaires en sciences cognitives**

**Code : DEC-M2-FCS1-S1**

### **Action, décision et volition**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Etienne Koechlin

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 30h (+TD)

L'objet du cours est de comprendre comment l'homme décide volontairement de ses actions et ce faisant d'aborder l'étude des bases neurales des fonctions exécutives centrales chez l'homme. Ces fonctions confèrent à l'homme son aptitude à décider de ses actions non seulement en réaction à des événements externes mais aussi en relation avec des intentions et des choix qu'il manifeste au travers de ses désirs, de ses préférences et de ses croyances à la réalisation desquels ses actions, en acte ou en pensée, concourent.

Le cours abordera l'étude des fonctions exécutives du point de vue des neurosciences cognitives et computationnelles et de la philosophie contemporaine.

Pré-requis : Formation de base dans une des disciplines des sciences cognitives (neurosciences, psychologie, philosophie, modélisation et informatique, neurologie et psychiatrie).

---

**Code : DEC-M2-FCS2-S1**

### **Raisonnement**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Sander

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 45h

L'objectif est d'introduire à l'étude expérimentale du raisonnement humain (identification des domaines, méthodes, état des connaissances, principales approches théoriques).

Contenu : Introduction à l'étude des concepts et du raisonnement humain - Catégorisation, conceptions et concepts - La déduction - Approches pragmatiques du raisonnement - Jugement

causal, raisonnement probabiliste, prise de décision - L'analogie - La résolution de problème - Raisonnements incertains.

---

**Code : DEC-M2-FCS3-S1**

## **Neurosciences cognitives de la conscience**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jérôme Sackur, Claire Sergent

Autres enseignants : Thomas Andrillon, Vincent De Gardelle, Antoine Del Cul, Pierre Jacob, Lionel Naccache, Kevin O'Regan, Elisabeth Pacherie, Catherine Tallon-Baudry

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

Le but du cours est de présenter un panorama global des recherches sur le thème de la conscience. Il s'agit d'un enseignement pluridisciplinaire allant de la philosophie à la psychopathologie, en passant par la cognition visuelle, la psychologie cognitive, la neuropsychologie clinique et la neurobiologie. Il s'agira avant tout d'examiner les principales conceptions philosophiques de la conscience et de les mettre en regard des données obtenues dans les différents domaines des neurosciences cognitives.

---

**Code : DEC-M2-GDP1-S1**

## **Gènes, cerveau, environnement et développement cognitif**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Franck Ramus

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 36h

Objectifs pédagogiques :

Aborder la question suivante: comment les gènes, en interaction avec l'environnement, influencent-ils le développement du cerveau et de la cognition humaine ?

Pour cela, acquérir des notions générales sur :

- la génétique
- le développement cérébral
- le développement cognitif
- les relations complexes entre gènes, cerveau et cognition

Être capable de lire et comprendre les articles scientifiques traitant de ces questions; être capable de s'y référer à bon escient ; faire preuve d'esprit critique par rapport à leurs méthodes, leurs interprétations et leurs conclusions.

Être capable de discuter des questions relatives au développement en argumentant sur la base de données empiriques précises.

Public: Le cours est ouvert à tous les étudiants de M2 du Cogmaster. Outre les étudiants de M2 du Cogmaster, le cours peut être suivi et validé, dans la limite des places disponibles, et par ordre de priorité décroissant:

1. les élèves de M2 d'autres masters partenaires du Cogmaster (BCPP, BIP, Brain and Mind Sciences, etc.)
  2. les doctorants de l'ED3C
  3. les autres étudiants dont la formation initiale ou le parcours peut le justifier
- 

**Code : DEC-M2-GDP2-S1**

### **Education, cognition, cerveau**

Niveau : M2

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsables : Daniel Andler, Elena Pasquinelli

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire: 42h

Cours en anglais

This course explores the impact of cognitive studies on education. It introduces the research on literacy, numeracy, learning disabilities, the learning mechanisms and their neural underpinning, the existing evidence and its use in the shaping of educational interventions, and examines general problems raised by applied sciences and the translation of fundamental knowledge into practical applications.

Students will learn to identify potential epistemological, ethical and pragmatic issues arising from the encounter between education and the study of the mind and brain.

- They will develop their own approaches for addressing ethical and epistemological issues arising from the application of cognitive sciences;
  - They will enhance their critical thinking and communication skills by analyzing ongoing debates (mandatory readings) and presenting their reflections during class discussion (recitations);
  - They will learn about recent developments in cognitive sciences with potential applications to education.
- 

**Code : DEC-M2-LC1-S1**

### **Acquisition et traitement du langage**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Alex Cristià,

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

Almost all humans can learn language effortlessly, whereas no non-human animals can. What are the features of the human brain allowing for the existence and re-creation of this unique mode of communication? How does the environment contribute to its development? Once language networks have stabilized in a given individual's brain, how do they shape their perception and production of a variety of stimuli? We draw insights from current and classical research in many disciplines (e.g., linguistic theory & laboratory linguistics, anthropology, experimental & developmental psychology, neuropsychology, neuroimaging, computer

modelling) to shed light on a few key psycholinguistic issues ranging from phonology to semantics.

Through this course, students will gain the conceptual and empirical knowledge necessary to understand and critically evaluate scientific and everyday claims, ideas and observations about language processing and acquisition.

---

**Code : DEC-M2-LC2-S1**

## Sens et interprétation

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Salvador Mascarenhas, Philippe Schlenker, Benjamin Spector

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 36h

Le but général est d'introduire à l'analyse du sens et de la communication en utilisant les ressources de la logique, de la linguistique, de la psychologie et de la philosophie analytique. La distinction sémantique/pragmatique fera l'objet d'une attention particulière, et d'une tentative d'extension à la communication animale. Le cours abordera les thèmes suivants :

1. Langage et raisonnement
2. Implicatures scalaires
3. Présuppositions
4. Sémantique et pragmatique primates

Pré-requis : Avoir suivi au moins un cours d'introduction à la logique ou une formation équivalente (en cas de doute, voir avec les intervenants).

---

**Code : DEC-M2-P1-S1**

## Perception visuelle

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pascal Mamassian

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

La perception visuelle est un modèle privilégié pour étudier les interactions entre comportement, neurosciences et modélisation. L'objectif de ce cours est de vous donner les clés pour comprendre les concepts fondamentaux et découvrir les résultats importants de la recherche en perception visuelle. Nous sommes conscients que peu d'étudiants finiront par faire une thèse en perception visuelle (et pourtant...), donc nous apporterons une attention particulière pour présenter les problèmes de manière claire et stimulante. Le système visuel est présenté depuis l'image formée sur la rétine jusqu'au cortex, avec une emphase sur le cortex visuel primaire. La scène visuelle est déclinée sous ses aspects de couleur, de mouvement, de forme, et de profondeur. D'un point de vue computationnel, les principes du codage et décodage

neuronal sont exposés, ainsi que ceux sous-jacents à la perception inférentielle. Ces dernières présentations s'appuient sur des concepts plus techniques, comme ceux appartenant au traitement de signal, qui sont rappelés dans le cours. Une approche comparative de la vision inter-espèces, depuis la mouche jusqu'à l'homme, identifie aussi quelques principes fondamentaux.

Pré-requis : aucun

Validation : Examen oral, sous la forme d'une présentation d'un article parmi deux choisis aléatoirement parmi un ensemble proposé par les intervenants en début de semestre. Temps : 15 min. de présentation + 10 min. de questions.

---

**Code : DEC-M2-P2-S1**

### **Perception auditive**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Daniel Pressnitzer

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

Le cours vise à présenter et discuter les recherches actuelles sur la perception auditive. Après une brève introduction évoquant les méthodes et concepts de base (acoustique, psychologie expérimentale, neurosciences expérimentales et computationnelles), nous aborderons les dimensions de base de la perception auditive, l'organisation perceptive, la plasticité auditive, la parole, la musique.

Ces thèmes seront illustrés à la fois par des études classiques et des données récentes. Des applications cliniques et technologiques seront aussi décrites tout au long de l'UE (prothèses auditives et implants cochléaires, compression du signal audio, etc.).

---

**Code : DEC-M2-P3-S1**

### **Perception et action**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Thérèse Collins et Laura Dugué

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

Ce cours a comme objectif d'examiner l'influence de processus de haut niveau sur la perception : l'action et l'attention.

La première partie du cours se concentre sur les liens entre perception et action : quelles sont les conséquences sensorielles et perceptives du déplacement du corps et des récepteurs sensoriels ? Comment le mouvement est-il représenté au niveau cérébral, et quelles en sont les conséquences pour la perception ? Est-ce que le fait d'agir sur et dans l'environnement modifie le contenu de la perception ? Est-ce que l'action est nécessaire à la perception ?

La seconde partie du cours aborde la question de l'attention : quels sont les effets de l'attention sur le traitement visuel précoce, et quelles en sont les conséquences comportementales ? Quelle est la dynamique spatio-temporelle du traitement attentionnel ? Quels sont les réseaux

neuronaux de l'attention ? Quelles sont les interactions entre l'attention et d'autres fonctions cognitives telles que la conscience ou la mémoire ?

Nous aborderons ces questions par les moyens de la psychophysique, des neurosciences et de la modélisation.

*Validation* : à chaque cours, un binôme devra présenter un article en lien avec le cours de la semaine précédente, qui sert de préparation à la présentation. Cette présentation prendra la forme d'un journal club. Chaque étudiant devra envoyer avant la présentation une question sur l'article par le biais d'une mailing liste, qui sera abordée par les présentateurs. La présentation et la participation au journal club comptent pour 25% de la note finale. Trois examens compléteront la note (25% chacun), et se dérouleront au cours du semestre.

---

**Code : à déterminer**

## **La mémoire**

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Bérengère Guillery-Girard (EPHE) et Francis Eustache (EPHE)

COURS A CONFIRMER POUR 2017-2018

La définition de la mémoire est plurielle. Aussi, l'objet des enseignements dispensés dans cette unité est d'aborder le fonctionnement de la mémoire selon une approche intégrative, de l'animal à l'homme s'étendant également aux modèles computationnels. L'étude de la mémoire sera reprise principalement du point de vue des neurosciences cognitives (comportementales et de neuroimagerie), des sciences humaines, historiques et computationnelles.

Prérequis : formation de base (L3/M1) dans une des disciplines des sciences cognitives (neurosciences, psychologie, philosophie, modélisation et informatique, neurologie et psychiatrie).

Validation : rédaction d'un document (4000 mots max) et présentation orale sur un thème en rapport avec le cours et intégrant plusieurs approches détaillées dans l'unité d'enseignement.

---

**Code : DEC-M2-MinStM2-S1**

## **Stage de préparation en M2**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : à déterminer

Type d'enseignement : Stage semestriel

Volume horaire : 1 jour par semaine

---

**Code: DEC-M2-StM2-S2**

## **Stage long en M2**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : à déterminer

Type d'enseignement : Stage

Volume horaire : 5 mois à plein temps

## **Parcours linguistique théorique**

Le parcours linguistique du DEC se compose des cours CO2 ('introduction à la linguistique'), des cours interdisciplinaires LC1 ('Acquisition et traitement du langage') et LC2 ('Sens et interprétation'), ainsi que des cours suivants :

---

**Code : DEC-MM-CA2-S1**

## **Introduction à la sémantique formelle des langues naturelles**

Niveau : L3 & MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Salvador Mascarenhas

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : Environ 26h (+TD)

**En anglais**

Ce cours est une introduction aux approches formelles de la sémantique et de la pragmatique. Une propriété extraordinaire de la capacité linguistique humaine est qu'elle nous permet de produire et de comprendre sans effort des phrases nouvelles. Cette capacité repose nécessairement sur un mécanisme implicite grâce auquel la signification d'une expression complexe nouvelle peut être déduite, calculée, à partir de celle de ses sous-parties et de leur mode de combinaison. La sémantique formelle se donne pour but de décrire et de comprendre les propriétés fondamentales de ce calcul dans différentes langues humaines. Par ailleurs, la signification que nous attachons aux énoncés dépend non seulement de leur sens linguistique, mais aussi de toutes sortes d'inférences que nous sommes capables de faire concernant les intentions des locuteurs qui les produisent. L'étude de cette seconde dimension de signification définit la *pragmatique*, et la pragmatique formelle vise à en comprendre les mécanismes de la manière la plus précise et explicite possible.

La validation se fondera sur les éléments suivants

- devoirs hebdomadaires (60%);
- devoir écrit à l'amaison (30%): écriture d'un document de deux ou trois pages présentant un projet original (formel ou expérimental), dans le format 'abstract soumis à une conférence'.
- Participation aux discussions (10%). Les séances de TD sont obligatoires pour tous les étudiants qui valident. Si vous souhaitez valider le cours mais ne pouvez pas participer

aux TD, il faudra contacter l'enseignant avant le cours. Les exceptions éventuelles seront examinées au cas par cas.

---

**Code : DEC-MM-LINGSEM2-S2**

### **Sémantique avancée**

Niveau : L3 & MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Benjamin Spector

En anglais ou en français

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : Environ 26h (+TD)

Ce cours a pour prérequis l'introduction à la sémantique (CA2), et abordera certaines des questions les plus importantes de la sémantique des langues naturelles : pluriels, quantification, indéfinis, interprétation des pronoms, sémantique modale et temporelle, conditionnels, sémantique des énoncés interrogatifs, interactions entre sémantique et pragmatique.

---

**Code : DEC-M1-B07-S1**

### **Introduction à la phonologie**

Niveau : M1-L3-MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Maria Giavazzi

Type d'enseignement : cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : environ 30 heures

Ce cours est une introduction à la phonologie contemporaine, c'est-à-dire l'étude de l'organisation des sons dans les langues humaines (et des unités gestuelles dans les langues signées).

Il abordera tout d'abord les concepts centraux de la phonologie (phonème, traits, contrastes phonémiques et allophoniques, contraintes phonotactiques). Ce cours présentera deux théories majeures permettant de formaliser les phénomènes phonologiques dans les langues humaines : la phonologie par règles et la théorie de l'optimalité.

Le cours abordera également deux thèmes liés à la réalité cognitive de la phonologie : le rôle de la perception des sons de parole dans la formation des systèmes de contraste phonologiques, et l'apport de l'étude des déficits phonologiques chez des patients cérébro-lésés à la théorie phonologique.

Il donnera aussi aux étudiants une introduction à la phonétique articulatoire et acoustique, ainsi qu'aux techniques de base d'analyse de la parole permettant d'analyser le signal sonore en termes de représentations abstraites.

---

**DEC-MM-B26-S2**

### **Phonologie avancée**

Niveau : L3 & MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Maria Giavazzi

Type d'enseignement : Séminaire  
Volume horaire : Environ 30h

Ce cours a pour prérequis l'introduction à la phonologie, et présentera aux étudiants certains aspects des recherches actuelles dans le domaine.

---

**Code : DEC-MM-SEMSEM-S1**

### Séminaire avancé en sémantique et pragmatique

Niveau : L3 & MM  
Semestre : S1, ECTS : 4  
Responsable : Benjamin Spector

Type d'enseignement : Séminaire  
Volume horaire : Environ 20h

Ce séminaire traitera, sur 8 séances de 2 ou 3 heures, de deux domaines de recherche en sémantique et pragmatique, et présentera certaines approches actuelles. Cette année, les sujets abordés incluront a) la sémantique et la pragmatique du pluriel (4 premières séances), et b) les approches de la pragmatique en termes de théorie des jeux, avec une attention spécifique au 'rational speech act model'.

Pré-requis : avoir suivi au moins le cours d'introduction à la sémantique (CA1), ou avoir un niveau équivalent.

---

**Code : DEC-MM-B06-S2**

### Outils formels pour la linguistique

Niveau : L3 & MM  
Semestre : S2, ECTS : 3  
Responsable : Salvador Mascarenhas et Heather Burnett  
En anglais

Type d'enseignement : cours hebdomadaire semestriel, sur 8 séances  
Volume horaire : environ 20h

This course is an introduction to several formal systems of use in analyzing natural language, including formal language theory, modal logic, and game theory.

Prerequisites: having followed 'intro to linguistics' (CO2) or 'intro to semantics' (CA2).

---

**Code : DEC-MM-SUPERSEM-S2**

### Super-semantics

Niveau : L3 & MM  
Semestre : S2, ECTS : 3  
Responsables : Philippe Schlenker, Emmanuel Chemla, Salvador Mascarenhas  
En anglais

Type d'enseignement : séminaire hebdomadaire semestriel  
Volume horaire : environ 15 heures.

While formal semantics has been a success story of contemporary linguistics, it has been narrowly focused on spoken language. Systematic extensions of its research program have recently been explored: beyond spoken language, beyond human language, beyond language proper, and even beyond systems with an overt syntax. First, the development of sign language semantics calls for systems that integrate logical semantics with a rich iconic component. This semantics-with-iconicity is also crucial to understand the interaction between co-speech gestures and logical operators, an important point of comparison for sign languages. Second, several recent articles have proposed analyses of the semantics/pragmatics of primate alarm calls, an important topical extension of semantics. Third, recent research has developed a semantics/pragmatics for music, based in part on insights from iconic semantics. Finally, the methods of formal semantics have newly been applied to reasoning and to concepts, which do not have a syntax that can be directly observed. The overall result is a far broader typology of meaning operations in nature than was available a few years ago. The course will offer a survey of some of these results, with topics that will change from year to year.

---

**Code : DEC-IN-B05-S1**

### **Linguistique des langues des signes**

Niveau : IN – L3 - M1

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Carlo Geracci

Type d'enseignement : (*cours + TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : environ 30 heures

Cours en anglais. Pas de prérequis

The aim of the course is to address the significance of sign languages in discovering the properties of human ability for language. Sign languages are the linguistic systems used in everyday communication by deaf communities around the world. Differently from spoken languages, which employ the acoustic-vocal modality, sign languages use the visual-gesture modality to transmit and receive linguistic information. The course provides a deep understanding of the main issues of sign language linguistics at various levels. A selection of phenomena that are important for understanding the structure of sign languages and their relation to spoken languages is presented and discussed.

There are two reasons why sign languages are special: one reason is because they are so different from spoken languages, the other reason is because they are so similar. The course will show that these are two facets of the same coin.

Bibliographie :

Sandler, Wendy, and Diane Lillo-Martin. 2006. *Sign Language and Linguistic Universals*.

## **Parcours 'philosophie', coordonné par l'Institut Jean Nicod**

Au sein du département d'études cognitives, l'Institut Jean-Nicod (UMR 8129, CNRS) offre aux élèves et étudiants de l'École un ensemble de cours et de séminaires en philosophie du langage et de l'esprit qui sont validables dans le cadre du Diplôme de l'École et dans le cadre de deux masters cohabilités par l'ENS: le Master de sciences cognitives (Cogmaster, cohabilité avec Paris

5 et l'EHESS) et le Master de Philosophie Contemporaine (Philmaster, cohabilité avec l'EHESS). La liste des enseignements philosophiques en question peut être consultée sur le site de l'Institut Jean Nicod (<http://www.institutnicod.org/etudier-a-l-ijn/parcours-philosophique/#philmaster>). Les chercheurs de l'Institut Jean-Nicod assurent également l'encadrement des élèves et étudiants qui souhaitent s'initier à la philosophie analytique (tutorat en petits groupes), ainsi que l'apprentissage de techniques issues de la psychologie cognitive (séminaire et tutorat en « philosophie expérimentale »).

# DEPARTEMENT DE GEOSCIENCES

Site web: <http://www.geosciences.ens.fr/>

Adresse: 24 rue Lhomond, 75005 Paris

## Contacts

Direction des études: Sabrina Speich ([speich@lmd.ens.fr](mailto:speich@lmd.ens.fr))

Secrétariat: Micheline Rialet ([rialet@geologie.ens.fr](mailto:rialet@geologie.ens.fr))

Les Géosciences sont par nature pluridisciplinaires. Elles se situent au carrefour de savoirs fondamentaux en Physique, Chimie, Biologie. Le désir de comprendre et simuler des processus de plus en plus complexes, fait qu'elles font aussi de plus en plus appel aux Mathématiques et à l'Informatique. Des liens existent également avec la Géographie et l'Archéologie. Les savoirs en Géosciences ont évolué rapidement au cours des dernières décennies aidés en cela par les progrès technologiques permettant d'observer la Terre depuis l'espace et de décrire la dynamique de la terre, de l'Océan et de l'Atmosphère à l'aide de modèles. Le Département de Géosciences de l'ENS regroupe le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) et le Laboratoire de Géologie.

Le Laboratoire de Géologie de l'ENS couvre un spectre thématique très large : géophysique, sismologie, géodésie, sismotectonique, géologie, mécanique des roches, thermochimie, minéralogie, géomatériaux, géochimie. Ceci en fait un lieu privilégié d'échanges entre domaines, propices aux avancées aux frontières thématiques.

Le LMD est un laboratoire de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL). Le LMD étudie le climat, la pollution et les atmosphères planétaires en associant les approches théoriques, la modélisation numérique et les développements instrumentaux pour des mesures de terrain ou des mesures spatiales. Il est à la pointe de la recherche sur les processus dynamiques et physiques permettant l'étude de l'évolution et la prévision des phénomènes météorologiques et climatiques.

## La formation Licence Master "Sciences de la Planète"

Ce cursus forme des scientifiques de haut niveau par une approche combinant des disciplines fondamentales et différentes spécialités des géosciences (géophysique, géologie, sciences de l'atmosphère de l'océan et du climat, biogéochimie). Cette formation est limitée à environ 20 étudiants par promotion. Les enseignements du Master (M1 et M2) sont dispensés dans le cadre de deux Masters co-habilités : SDUEE (Sciences de l'Univers Environnement Ecologie) de Paris 6 et STEP (Sciences de la Terre, de l'Environnement et des Planètes) de Paris 7.

## Les enseignements

Les enseignements bénéficient du voisinage des deux laboratoires de recherche du Département de Géosciences. Chaque semestre, le parcours pédagogique de chaque étudiant est discuté et suivi avec soin par un tuteur choisi parmi les chercheurs du Département de Géosciences. Des stages de terrain et des stages expérimentaux permettent d'approfondir la compréhension des phénomènes et des processus enseignés. Au second semestre du Master M1, un stage de recherche à l'étranger donne une ouverture sur la recherche internationale.

## Débouchés

Les étudiants de ce Master sont idéalement formés pour préparer une thèse de doctorat puis s'orienter vers la recherche et l'enseignement supérieur. Cette formation mène également à des métiers d'ingénieur dans tous les domaines des géosciences, ainsi qu'à l'enseignement secondaire pour les étudiants préparant l'Agrégation des Sciences de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers

## LES ENSEIGNEMENTS

### Premier semestre (L3, S1, 1<sup>ère</sup> année) :

Si les élèves et étudiants fraîchement sélectionnés ont manifestement fait preuve de leur motivation, voire de leur passion pour les géosciences, ils n'ont pas pour autant une vision complète de ce que sont les géosciences aujourd'hui. De plus, traditionnellement, les nouvelles promotions sont constituées de profils différents (prépas, universités, formations à tendances naturalistes ou physiciennes). Le premier semestre L3 doit donc répondre à plusieurs objectifs pédagogiques : (1) donner à chacun les bases et outils communs à toutes les disciplines, (2) donner un aperçu global des grands domaines des géosciences et des interactions possibles entre ces domaines, (3) faire comprendre ce que signifie une formation par la recherche : développement de l'esprit critique, importance du raisonnement au-delà des connaissances...

En pratique, ce semestre est divisé en 4 types de modules, détaillés par la suite (avec le même code de couleurs) :

- **Terrain** : Il s'agit d'un stage de début d'année dont le but est de confronter les étudiants aux objets naturels qu'ils seront amenés à étudier. Les échelles de temps et d'espace sont un des enjeux majeurs dans tous les domaines des géosciences et il est indispensable de les appréhender le plus possible. L'école du terrain est le meilleur moyen d'y parvenir (9 ECTS)
- **Grandes disciplines des géosciences** : 4 modules obligatoires proposés permettant de découvrir les grands domaines des géosciences : Terre Solide, Climat, Océanographie, Surfaces Continentales (12 ECTS).
- **Outils** : Les bases mathématiques, physiques, informatiques nécessaires à l'étude des géosciences modernes. (16 ECTS)
- **Disciplines au choix** : Un premier choix limité d'options, le semestre étant très chargé par les bases communes à acquérir (3 ECTS + X ECTS DENS à choisir). Il s'agit pour le moment des modules de géochimie (applications à la terre interne, aux enveloppes fluides et à la biogéochimie), environnement sédimentaire (les grands principes, notamment l'enregistrement des paléo-climats) et minéralogie.

Nouveautés proposées : créneaux de 2 heures, grandes disciplines limitées à 20h, avec travaux personnels/en groupe de type lecture d'articles. But : dégagement de temps, flexibilité de l'emploi du temps, responsabilisation des étudiants dans leurs méthodes de travail. Un créneau séminaire est libéré afin que les étudiants puissent assister à certains séminaires de recherche particulièrement adaptés et éventuellement en organiser.

## **Code: GSC-L3-A01-S1**

### **Stage de terrain. Stage des Alpes : De la surface aux profondeurs**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3(licence) + 6(DENS)

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants : Alexandre Schubnel, Lauric Cécillon, Pierre Barré, Christian Chopin et Thomas Ferrand

Type d'enseignement : Stage de terrain

Volume horaire : 14 jours

Modalités de contrôle des connaissances : Rapport

Description: Le stage d'intégration de l'entrée au département de Géosciences de l'ENS propose de découvrir les différents processus conditionnant la structure et l'évolution de la lithosphère en partant de la surface et en descendant jusqu'au manteau supérieur. Il se déroule en 3 parties : 1- Initiation à la science des sols via la réalisation d'une carte des stocks de carbone des sols dans l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) de Draix-Bléone (4j). 2- Initiation à la cartographie et à la tectonique de charriage dans la fenêtre de Barles, située dans la nappe de Digne (6j), et 3- Une excursion permettant de présenter des exemples de terrain illustrant la déformation et la minéralogie profonde, et la relation entre les deux (4j).

#### **Réalisation d'une carte des stocks de carbone des sols dans l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) de Draix-Bléone (3 ECTS):**

Les sols sont l'épiderme des continents. C'est là que les roches, après de nombreux processus d'altération, d'érosion et de transport, se retrouvent, sous forme de sédiments, en contact avec l'atmosphère mais aussi la biosphère. Les étudiants apprennent les rudiments de la description des sols et les bases du prélèvement d'échantillons de sol. Les échantillons prélevés permettront de compléter une base de données géo-référencée des stocks de carbone organique de l'ORE de Draix-Bléone. L'analyse de ce jeu de données permettra aux étudiants de déterminer les facteurs contrôlant la distribution des stocks de carbone. Les facteurs testés seront principalement le couvert végétal, le matériau parental et des paramètres topographiques calculés à partir du modèle numérique de terrain (MNT). Les étudiants réaliseront enfin une carte krigée de la zone d'étude, carte dont la précision progresse d'année en année.

#### **Initiation à la cartographie et à la tectonique autour de la nappe de Digne (3 ECTS) :**

Grace à sa série stratigraphique, très riche et diverse bien que ramassée sur une courte distance géographique, la fenêtre de Barles offre un cadre exceptionnel pour découvrir la cartographie des roches sédimentaires et étudier la tectonique de charriage des alpes externes. Les étudiants apprennent à reconnaître des formations sédimentaires, principalement mésozoïques et cénozoïque, ainsi que des structures majeures telles que des plis et failles d'ampleur kilométrique. La nappe de Digne est un exemple remarquable et classique de déformation de couverture en domaine orogénique. Cette zone est caractérisée en outre par une tectonique syn-sédimentaire tertiaire en bassins d'avant-chaîne, marquée sur le terrain par des discordances successives progressivement basculées. Les étudiants voient sur le terrain les relations entre tectonique cassante et plicative (avec plusieurs phases de déformation), les relations entre tectonique et sédimentation ainsi qu'entre paléogéographie et types de dépôts.

#### **Excursion dans les Alpes internes « sur les traces des séismes profonds » (3 ECTS):**

Les alpes internes donnent accès aux roches métamorphiques ayant subi des déformations à haute pression et haute température. L'histoire de ces objets, ainsi que les conditions physico-chimiques de leur déformation, se lit dans les minéraux qui les composent, mais aussi dans les marqueurs structuraux tels que la schistosité, les micro-cracks et les macro-fractures. Les objets présentés seront : les mylonites de Val Strona, la brèche éclogitique du Mont Viso, les fractures

de décompression de Dora-Maira, les marqueurs de la fusion partielle (Val Strona) et les pseudotachylites (Balmuccia). Les lithologies rencontrées iront de la croûte inférieure continentales (kinzigites du Val Strona) au manteau supérieur (péridotites et pyroxénites peu déformées, mais fracturées, de Balmuccia) mais aussi la croûte océanique et le manteau serpentinisé en faciès éclogitique (Mont Viso) et enfin les sédiments pélitiques en faciès UHP (Dora Maira).

---

## **Code: GSC-L3-A11-S1**

### **Physique du climat**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Hervé Le Treut

Autres enseignants : Laurent Li

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 20h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours est une introduction à la dynamique du climat, avec un accent mis sur la modélisation. Il présente les grands équilibres du système climatique concernant l'énergie, le moment angulaire et l'eau. Les TD et TP sont autour d'une version simplifiée du modèle de circulation générale LMDZ pour étudier les mécanismes physiques contrôlant la variation du climat.

A l'issue du cours, les élèves auront une notion globale sur le fonctionnement du système climatique, et la maîtrise d'un outil pour la recherche climatique - la version simplifiée du modèle de circulation générale atmosphérique LMDZ.

\* Caractéristiques observées de l'atmosphère et du climat \* Equations mathématiques gouvernant la circulation générale atmosphérique \* Décomposition de la circulation atmosphérique \* Energie dans le système climatique \* Moment angulaire et la circulation générale de l'atmosphère \* Théorie des trois cellules de la circulation méridionale \* Bilan d'eau dans la perspective du changement climatique \* LMDZ - un modèle de circulation générale de l'atmosphère

## **Code: GSC-L3-A05-S1**

### **Géodynamique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Eric Calais

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 20h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit et présentation orale du travail bibliographique

La théorie de la tectonique des plaques a apporté un cadre logique à de nombreuses observations géologiques et géophysiques en quantifiant les mouvements horizontaux de plaques lithosphériques dans le présent et le passé. Cette cinématique et les déformations associées sont le résultat de forces agissant sur une lithosphère de comportement mécanique complexe. La géodynamique observe, mesure, décrit et explique dans un cadre physique ces déformations à grande échelle de la lithosphère. Elle tente d'apporter des éléments de réponse à la genèse et l'évolution des grandes structures géologiques et, de fait fournit le cadre physique pour comprendre les ressources et risques associés.

Le cours comprendra les parties suivantes:

- Tectonique des plaques, enjeux et histoire
- Cinématique globale actuelle et récente
- Éléments de dynamique de la lithosphère
- Éléments de rhéologie de la lithosphère
- Rifts et océans
- Subduction et orogénèse
- Déformations intraplaques
- Bilan des forces de la tectonique des plaques
- Lithosphère primitive et formation des plaques

Ce cours comprend un travail de recherche bibliographique par groupe présenté oralement en fin de semestre.

L'évaluation sera basée sur un examen écrit final et sur la présentation orale du travail bibliographique.

**Code: GSC-L3-A07-S1**

## **Introduction à l'Océanographie**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Gilles Reverdin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 20h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours apporte quelques éléments généraux sur la circulation océanique (les courants), les masses d'eau et leur structuration tant verticale qu'horizontale, le rôle de l'océan comme réservoir de chaleur, d'eau douce, de carbone, et sa variabilité, tant pour les couches en contact avec l'atmosphère ou les glaces marines que les couches plus profondes.

Afin de prévoir les changements climatiques à venir et de comprendre le rôle de l'océan dans le système climatique, il importe de bien connaître le fonctionnement actuel de l'océan, tant au plan de la physique (circulation de l'eau en surface par le forçage de l'atmosphère et circulation thermohaline à l'intérieur de l'océan par des changements de masse volumique liés à des variations de température et de salinité) que de la biologie (rôle du phytoplancton sur l'absorption du gaz carbonique introduit dans l'océan et plus généralement de l'activité biologique sur la redistribution verticale du carbone dans l'océan).

Trois cours généraux présentant les grands traits du fonctionnement de l'océan sont suivis par une description plus détaillée d'un océan très actif au plan des circulations superficielle et profonde : l'océan Atlantique et ses interfaces avec l'océan Arctique et l'océan Antarctique. Un dernier cours traite de la pompe biologique océanique. Les travaux dirigés, en parallèle, permettent de se familiariser avec les outils utilisés pour décrire l'état de l'océan et les masses d'eau, ainsi qu'avec les moyens d'observations à notre disposition pour les connaître.

## **Code: GSC-L3-D01-S1**

### **Surfaces Continentales**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pierre Barré

Autres enseignants : Bruce Velde, Patrick Meunier

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 20h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Les surfaces continentales, entendues ici comme étant la zone située entre le sommet de la canopée et la base des sols au contact de la roche non altérée, sont le siège de réactions bio-physico-chimiques intenses. C'est du bon fonctionnement de cette fine couche de l'écorce terrestre que dépendent la fourniture de services écosystémiques aussi cruciaux que la formation et la fertilité des sols ou la formation de la ressource en eau. Cette zone est également soumise à des contraintes anthropiques très fortes pouvant modifier profondément son fonctionnement.

Ce cours introductif présentera globalement l'étude des surfaces continentales puis se focalisera sur la formation, l'évolution et la fertilité des sols, l'érosion, la réalisation de grands cycles du carbone et de l'azote ainsi que leurs perturbations actuelles et la dynamique des polluants métalliques. Ces cours seront l'occasion de présenter un certains nombres d'outils variés (techniques d'études nano-échelles, modèles numériques, réseau de sites d'observation) nécessaires à l'étude des surfaces continentales. Ce cours comportera également une sortie de terrain sur la description des sols et la réalisation d'un projet bibliographique. Différents aspects scientifiques et techniques présentés dans ce cours seront développés ultérieurement dans le cursus, notamment dans les cours suivants : Géochimie, Biogéochimie, Hydrologie, Ecologie, Climatologie, Géomorphologie et Télédétection.

**\* Code: GSC-L3-A02-S1**

## **Bases Mathématiques pour les Géosciences**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : François Gay-Balmaz

Autres enseignants : Caroline Muller

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

- 1) Calcul différentiel des fonctions à plusieurs variables: Dérivées partielles, gradient, divergence, rotationnel, courbes de niveau, maxima et minima, potentiels vectoriel et scalaire, fonctions vectorielles. Illustration: vorticité, fonction de courant, potentiel de vitesse, décomposition de Helmholtz, équations de Maxwell, relations de Gibbs-Duhem.
- 2) Intégrales le long de courbes et surfaces: Paramétrisation des courbes et surfaces, coordonnées cylindriques et sphériques, intégrales sur les courbes et surfaces, aires et volumes, travail et flux d'un champ de vecteurs, théorèmes de Green, Gauss, Stokes.
- 3) Séries et transformées de Fourier: Ondes monochromatiques, polynômes orthogonaux, développement en séries de Fourier, convergence et phénomène de Gibbs, diagramme du spectre fréquentiel, série de Fourier d'une convolution, égalité de Parseval, transformée de Fourier, distribution de Dirac et fonctions porte. Applications à la résolution d'EDP: équations de la chaleur, équation des ondes, équation de Laplace.
- 4) Rappel d'algèbre linéaire: matrices, valeurs propres, vecteurs propres, diagonalisation, déterminant. Application au calcul d'équations de dispersion des ondes géophysiques. Méthodes numériques pour la résolution d'équations aux dérivées partielles, formulation et résolution matricielle. Lien entre valeurs propres et stabilité/chaos. Introduction à la décomposition orthogonale aux valeurs propres, interprétation géophysique.

**\* Code: GSC-L3-A03-S1**

## **Mécanique des Milieux Continus I: Solides**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants : Alexandre Schubnel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

L'objectif du cours est d'examiner le comportement mécanique des roches à différentes échelles de temps (de  $10^{-3}$  s à  $10^6$  années) et d'espace (de 1 cm à  $10^3$  km). Les roches sont des solides composites. A une échelle spatiale suffisante, il est possible de définir leurs propriétés moyennes. Les concepts et résultats de la mécanique des solides constituent le cadre approprié pour analyser leur comportement. Les notions de contraintes et déformation sont introduites d'abord, les réponses mécaniques ensuite. En petite déformation, la réponse est élastique. C'est le cas de la sismologie et pour une large part, de la tectonique des plaques. En grande déformation, elle est fragile (failles, séismes) ou ductile (croûte profonde, manteau), selon la nature des roches et les conditions de pression et température.

**\* Code: GSC-L3-A06-S1**

## **Mécanique des Milieux Continus II: Fluides**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : François Lott

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce module introduit les bases de la mécanique des fluides nécessaires pour débiter l'étude de la dynamique de l'océan et de l'atmosphère. Dans un premier temps, nous partons des bases connues en mécanique pour obtenir les équations décrivant le mouvement d'un fluide, avec et sans viscosité. Des solutions classiques de ces équations sont obtenues et illustrées et la théorie de la couche limite exposée. Dans un deuxième temps, nous abordons les spécificités des fluides géophysiques en particulier l'effet de la rotation, l'équilibre géostrophique et la couche limite d'Ekman. Afin d'avancer dans une description simplifiée des mouvements de l'atmosphère et de l'océan, le modèle de l'eau peu profonde est dérivé.

Plan: Cinématique des fluides, lois fondamentales de la mécanique des fluides, fluides Newtonien et introduction aux milieux poreux, analyse dimensionnelle et similitude, écoulements potentiels, théorie de la couche limite, effets de la rotations et force de Coriolis, dérivation du modèle de Saint-Venant.

Bibliographie:

*Hydrodynamique physique, E Guyon, J.P. Hulin et L. Petit ;*

*Atmospheric and Oceanic fluidynamics, GK Vallis ;*

*Mécanique des fluides, P. Huerre, Cours de l'école Polytechnique*

**\* Code: GSC-L3-A08-S1**

## **Thermodynamique : Solide et Thermochimie**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants : Fabrice Brunet

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

A l'intérieur de la Terre solide, pression et température sont deux variables majeures à considérer. La Thermodynamique fournit une méthode d'étude puissante et efficace, fondée sur des bases bien définies.

L'objectif du module est de rappeler ces bases et de montrer quelques applications importantes :

- la notion de gradient de température adiabatique,
- les transitions de phase et les équilibres de phase,
- les équilibres minéraux – solution et la question de la solubilité des minéraux
- les diagrammes de phases et notion de fusion partielle

**\* Code: GSC-L3-D02-S1**

## **Informatique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Lionel Guez, Pasquale Sellitto

Autres enseignants : Un doctorant moniteur

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce module est une introduction à l'informatique scientifique et s'étend sur les deux semestres. 80 % du temps est dédié aux travaux dirigés. Au premier semestre, les principaux objectifs sont de vous permettre de travailler aisément avec un environnement informatique de type Unix/Linux et de vous donner les bases logiques de la programmation.

Les principes de fonctionnement d'un système d'exploitation de type Unix vous seront donc présentés. Vous apprendrez à utiliser le terminal, les commandes du Shell et les utilitaires Unix. Vous verrez l'intérêt de ces commandes textuelles pour automatiser des tâches complexes, par exemple des tâches de traitement de données.

Par ailleurs, vous aurez un cours d'algorithmique et un cours de Fortran. Le cours d'algorithmique se concentre sur des raisonnements logiques et des méthodes indépendantes du langage de programmation. Ces méthodes sont mises en œuvre en travaux dirigés, en utilisant le langage Fortran.

**\* Code: GSC-L3-A04-S1**

**Environnement sédimentaire**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : François Baudin / Laurent Riquier / P6

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Les objectifs de ce module sont d'apporter les outils nécessaires à la description et à la caractérisation des milieux sédimentaires depuis les environnements continentaux jusqu'à ceux du domaine marin profond. La démarche est de présenter et d'analyser des objets sédimentaires caractéristiques et de présenter la dynamique de leur dépôt sur des exemples actuels et anciens. L'apport des données géophysiques et géochimiques à la compréhension des corps sédimentaires, de leur géométrie et/ou de leur mise en place dans le bassin de sédimentation est souligné.

Thèmes abordés : Les grands traits de la machine sédimentaire sont présentés afin d'expliquer l'origine des constituants sédimentaires sous forme particulaire et soluble, leur mode de transport, leur dynamique de mise en place ainsi que leurs transformations précoces ou plus tardives (diagenèse). Différents environnements sédimentaires sont ensuite passés en revue depuis les milieux continentaux (glaciaires, éoliens, lacustres, alluviaux et fluviatiles) aux domaines marins (néritiques et pélagiques). Enfin, l'architecture et l'organisation séquentielle et/ou cyclique des dépôts sédimentaires sont abordées en fin de module. Les séances de cours/TD/TP intégrées sont majoritairement consacrées à la reconnaissance des constituants, des faciès et des figures sédimentaires. Ces bases permettent ensuite d'intégrer ces observations dans l'analyse et l'interprétation des paléo-environnements (hydrodynamisme, caractérisation du milieu,...). L'étude de la diagenèse précoce et tardive est abordée principalement sur l'exemple des argiles et de la matière organique.

Remarques: Le stage de terrain dans le Boulonnais en milieu de semestre permet de mettre en pratique ces acquis et de les intégrer sur un cas concret en domaine néritique mixte (silicoclastique et carbonaté).

**\* Code: GSC-L3-A09-S1**

## **Géochimie**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Jérôme Gaillardet

Autres enseignants : Frédéric Moynier

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours donne les bases de la géochimie élémentaire et isotopique et des exemples d'application aux sciences de la Terre et à la formation du système solaire. Nous abordons successivement la formation des éléments et des planètes, les bases de l'utilisation des éléments en traces en géochimie, un panorama des abondances isotopiques des éléments dans la nature et leurs origines. Ainsi sont abordées la géochimie des isotopes radioactifs et radiogéniques puis la géochimie des isotopes stables.

Le cours se termine sur l'application de ces notions théoriques à l'intérieur de la Terre (géodynamique chimique), aux enveloppes fluides (océans, rivières), à la biogéochimie pour dater, déterminer des constantes caractéristiques de temps ou tracer l'origine des éléments et la dynamique des réservoirs les portant.

**\* Code: GSC-L3-A10-S1**

## **Minéralogie**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Laurence Galois

Autres enseignants : Etienne Balan, Georges Calas

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Le cours comporte quatre parties complémentaires :

- Cristallochimie. La liaison chimique, le site. Les lois de Pauling. Notions d'empilement compact. La logique de l'organisation structurale dans les silicates. Cette partie est destinée à illustrer le lien étroit entre minéralogie et géochimie.
- Méthodes d'étude. Présentation des principales méthodes (diffraction des rayons X, microscopie électronique, microsonde électronique, spectroscopies du solide). Les outils numériques. Cette partie sera surtout une introduction à ces différentes approches qui seront approfondies en M1.
- Les minéraux importants en sciences de la Terre et de l'Environnement. Les oxydes, les sulfures et les carbonates. Les grandes familles de silicates. Diagrammes de phase. Pour la plupart des familles de minéraux abordées, on montrera l'importance des relations structure-propriétés géochimiques ou géophysiques, ainsi qu'en sciences des matériaux.
- Physique des minéraux : exemple des propriétés spectroscopiques et magnétiques. Comme pour les méthodes d'étude, cette partie du cours sera une introduction à un domaine qui sera approfondi en M1

**\* Code: BIO L3 A04 S1 (COURS DU DEPARTEMENT DE BIOLOGIE)**

**Écologie, Évolution, Génétique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Régis Ferrière

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Objectif et description du cours :

Ce module présente les fondamentaux de l'écologie et de la biologie de l'évolution. Il se compose de cours magistraux dont la cohérence est assurée par le choix d'une équipe restreinte d'enseignants "ambassadeurs" de leur discipline : Régis Ferrière et Stéphane Legendre (écologie des populations et des communautés), Luc Abbadie et Sébastien Barot (fonctionnement des écosystèmes), Pierre-Henri Gouyon (génétique évolutive) et Renaud de Rosa (phylogénie).

Ce cours sera prolongé au deuxième semestre de L3 par le Cycle A des cours d'ouverture : « Problématiques Actuelles en Ecologie & Evolution ». En master de biologie ENS, la filière « Ecologie » de M1 propose trois cours d'approfondissement (50 heures chacun) : « Génétique évolutive », « Ecologie évolutive », et « Biologie des systèmes écologiques ». Un large éventail de cours de spécialisation est ensuite offert en M2 « Ecologie – Biodiversité – Evolution ».

Programme

Ecologie des populations et des communautés (Régis Ferrière, Stéphane Legendre)

Fonctionnement des écosystèmes (Luc Abbadie, Sébastien Barot)

Mécanismes de l'évolution (Pierre-Henri Gouyon)

Phylogénie (Renaud de Rosa)



## **Second semestre L3 (L3, S2, 1<sup>ère</sup> année) :**

A la fin du 1<sup>er</sup> semestre, les étudiants possèdent les outils leur permettant de poursuivre l'étude plus détaillée de tous les grands domaines des géosciences qu'ils ont par ailleurs découverts durant ce même 1<sup>er</sup> semestre. Ce second semestre est donc le premier permettant à l'étudiant de définir, avec l'aide de son tuteur et de l'équipe enseignante, un cursus personnalisé. Seuls deux modules obligatoires subsistent : deux modules **outils** (statistiques et informatique).

L'équipe enseignante et les tuteurs s'assureront chaque étudiant conserve un minimum de pluridisciplinarité dans ses choix de modules. A ceci s'ajoute un module de mécanique des fluides expérimentale en laboratoire sur une semaine qui permet de compléter en pratique les enseignements de mécanique des fluides du 1<sup>er</sup> semestre. Il y a donc 18 ECTS de licence à choisir (et un nombre d'ECTS DENS) parmi les 10 modules de disciplines optionnelles proposées. Ainsi, chaque grande discipline des géosciences enseignée au 1<sup>er</sup> semestre débouche sur une ou plusieurs suite(s) logique(s) (voir le document joint).

Nouveautés : pour permettre une diversité croissante d'enseignements (comme l'Ecologie) et des emplois du temps moins surchargés, certains thèmes autrefois proposés sur deux semestres (L3S2 et M1S1) sont proposés ici dans des versions remaniées (ex : fusion sismologie I et II, physique et dynamique de l'intérieur de la Terre, physique des roches/fluides et déformation) Les étudiants devraient également avoir plus de temps pour du travail personnel, être moins dispersés. Il faut éviter que les étudiants prennent trop de modules au-delà de leurs ECTS de licence. Le DENS n'est pas forcément là pour sur-spécialiser les étudiants dans certains thèmes.

**\* Code: GSC-L3-B06-S2**

## **Introduction à la dynamique de l'atmosphère**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Bernard Legras

Autres enseignants : Un doctorant moniteur

Type d'enseignement : cours /TD/TP

Volume horaire : 30h cours/TD/ + 3 jours TP

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Le cours portera sur la description et la compréhension des principaux phénomènes météorologiques en s'appuyant sur les cours de Thermodynamique, Convection atmosphérique et nuages et de Mécanique des fluides. Les sujets suivants seront traités

1. Bilan radiatif: Interaction de la matière avec le rayonnement. Absorption et diffusion par les gaz atmosphériques. Transfert radiatif dans une atmosphère stratifiée. Effet de serre. Rétroaction et sensibilité. Bilan radiatif et climat.
2. Les tropiques: Etat moyen et cycle saisonnier. La mousson. ENSO. Mode de Madden-Julian. Ondes tropicales. Cyclones tropicaux.
3. Les latitudes tempérées: Nombre de Rossby et équilibre géostrophique (rappel). Circulation moyenne. Relation du vent thermique. Dynamique de la vortacité. Variabilité et régimes de temps.
4. La couche limite atmosphérique: Phénomènes relevant de la couche limite. Echelles de la turbulence. Flux turbulents. Longueur de mélange. Lois de surface, lois de similarité. Couche limite mélangée. Tornades.

Remarques: Le cours est complété par un stage de 3 jours au SIRT (Ecole Polytechnique) : Mesures radiatives et bilan radiatif. Lidar et cycle de vie de la couche limite. Turbulence.

**\* Code: GSC-L3-B09-S2**

## **Physique de l'intérieur de la Terre**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Matthias Delescluse

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours aborde les grands principes physiques régissant le comportement au premier ordre de la lithosphère. Un fil conducteur du cours est l'étude de la topographie au premier ordre des lithosphères océaniques et continentales.

Après un rappel sur la loi de Fourier (TDs sur les perturbations climatiques des mesures de flux de chaleurs, refroidissement de dykes), on étudie le refroidissement de la lithosphère océanique, et les différents modèles rendant compte de la bathymétrie des fonds marins en fonction de l'âge de la lithosphère. Le gradient de température continental est ensuite étudié, en insistant sur le cas spécifique des cratons. Pour terminer cette partie du cours, on inclut dans le principe d'isostasie les variations de densités des roches en fonction de la température et on étudie le cas des marges continentales et le développement des bassins sédimentaires.

L'isostasie suppose des mouvements ductiles dans l'asthénosphère qui ne seront qu'abordés. A l'opposé, une deuxième partie de ce cours s'intéresse au comportement élastique de la lithosphère. Après avoir démontré l'équation de la flexure appliquée aux plaques minces, on l'applique à différents cas tels que

la subduction, les monts sous-marins, ou encore les failles normales du golfe de Corinthe. On illustrera ainsi l'isostasie régionale. Par la suite, après avoir défini la notion de géoïde, les différentes anomalies gravimétriques et leurs relations aux isostasies locales et régionales, on détaillera comment obtenir l'épaisseur élastique de la lithosphère (isostasie expérimentale).

Au final, les étudiants acquièrent des bases solides de géophysique de la lithosphère. Ils apprennent également à maîtriser les approximations nécessaires à la modélisation simple d'observations et de processus physiques parfois complexes.

**\* Code: GSC-L3-D02-S1 et GSC-L3-D06-S2**

## **Informatique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsables : Lionel Guez, Pasquale Sellitto

Autres enseignants : un doctorant moniteur

Type d'enseignement : cours et TD

Volume horaire : 42 heures

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce module est une introduction à l'informatique scientifique et s'étend sur les deux semestres. 80 % du temps est dédié aux de travaux dirigés.

L'enseignement au second semestre est plus technique qu'au premier semestre. Le cours de Fortran continue et expose l'utilisation courante de Fortran en géosciences: comment un gros programme se structure, l'utilisation de bibliothèques de procédures, la manipulation des fichiers, etc.

Vous aurez en outre un cours sur le logiciel de traitement de texte LaTeX, qui vous sera rapidement utile dès la rédaction de vos rapports de stages et de travaux pratiques.

Le langage de programmation Python vous sera présenté. Vous apprendrez en particulier à l'utiliser pour faire de la visualisation avec le module Python matplotlib.

Enfin, le format de fichier NetCDF, les interfaces et nombreux utilitaires associés seront introduits.

**\* Code: GSC-L3-B01-S2**

## **Statistiques et analyse des données géophysiques**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Fabio D'Andrea

Autres enseignants :

Type d'enseignement : COURS (16h CM, 14h TD à l'ordinateur)

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Dans ce cours on étudie les techniques d'analyse objective, avec application aux données géophysiques. Des séances de TD à l'ordinateur sont prévues.

- 1) Statistiques élémentaires, analyse de séries temporelles, échantillonnage et tests.
- 2) Analyse de Fourier
- 3) Statistiques multivariés : analyse en composants principales.
- 4) Classification automatique, clusters.

Bibliographie:

*H. Von Storch and F. Zwiers. Statistical Analysis for Climate Research. Cambridge University Press, 1999*

**\* Code: GSC-L3-B08-S2**

## **Paléo-climats et Paléo-environnements**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Matthieu Roy-Barman

Autres enseignants : Didier Paillard

Type d'enseignement : cours /TD/TP

Volume horaire : 28h cours/TD +2h TP

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours décrit les principes et les méthodes d'observation et de modélisation utilisés pour reconstituer les climats et les environnements passés. Il est composé de 2 parties : l'une dédiée aux méthodes d'observation et l'autre dédiée à la modélisation.

La partie « observation » commence par une présentation du cycle des éléments dans l'océan actuel. On s'intéresse particulièrement aux éléments ou aux isotopes qui seront ensuite utilisés dans les paléo-reconstitutions. Les connaissances acquises dans l'océan actuel sont ensuite utilisées pour reconstituer les conditions paléo-environnementales ayant régné à l'Archéen et au Protérozoïque. L'accent est mis sur les progrès réalisés ces dernières années dans la connaissance de l'évolution des premières formes de vie et leur impact sur l'environnement. Le cours est illustré par de nombreux exemples traités sous forme de TD. Un TP informatique est consacré au CO<sub>2</sub> océanique.

La partie « Modélisation » explore les théories qui permettent de rendre compte de l'évolution passée du climat terrestre. Nous examinerons en particulier comment les notions de rétroactions entre physique du climat, de l'océan et géochimie se déclinent à différentes échelles de temps, en construisant des modèles simplifiés. L'accent sera mis sur la compréhension de la dynamique du système Terre. Le cours s'appuie sur les connaissances acquises au premier semestre notamment dans le cadre des modules « Géochimie », « Physique du climat » et « Océanographie ».

Bibliographie:

*Roy-Barman et Jeandel. Géochimie Marine. Vuibert 2011.*

*Ruddiman. Earth's Climate : Past and Future. Freeman 2001.*

**\* Code: GSC-L3-B02-S2**

## **Tectonique**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants : M. Pubellier

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

### **Contenu du cours**

Le cours de tectonique a pour but de donner les outils de base pour comprendre les déformations observées dans la nature en domaine cassant et ductile. Les styles tectoniques sont examinés en terme de structure et de déformations (plis, failles, plats et rampes, joints, schistosités... et d'état de contrainte associés (tenseurs, cercle de Mohr, mécanismes au foyer...) avec quelques rudiments de mécanique, les principes de représentation graphiques et d'analyse de terrain. Le cours insiste sur les différentes échelles d'observation depuis les microstructures jusqu'aux champs de failles et ceintures déformées ainsi que les changements de régime (inversions tectoniques), avec des exemples naturels

## **\* Code: GSC-L3-B03-S2**

### **Sismologie**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Matthias Delescluse

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce module introduit les bases de la sismologie. Il se concentre principalement sur la propagation des ondes (équation d'onde, Eikonale, théorie des rais) et la notion d'hodochrone dans un milieu stratifié plan, puis sphérique. Les étudiants découvrent comment sont les principales interfaces de la structure terrestre (Moho, 440 km, 660 km, noyau externe, noyau interne). Pour illustrer toutes ces notions, des travaux dirigés sur informatique, avec données réelles sont proposés (localisation, vitesse dans la croûte et le manteau sous la France, hodochrones et structure terrestre).

Une deuxième partie du cours s'intéresse plus particulièrement aux sismogrammes : variations d'amplitudes en fonction de la distance source-station, atténuation des roches, réponse de l'instrument. Des notions sur la source sismique sont également abordées : échelles de magnitude, mécanismes aux foyers, directivité et fonction source, rupture le long de plans de failles de grands séismes.

Un TD avec données réelles sur le calcul des magnitudes d'un grand séisme et sa réplique conclut l'année.

Les étudiants sont capables, à la fin du module, de comprendre comment la sismologie permet de déterminer la structure au premier ordre de l'intérieur de la Terre, et aussi quelle est cette structure, le tout grâce aux temps d'arrivées des ondes émises par les séismes à des stations convenablement réparties. Ils maîtrisent également les notions de bases sur la source sismique, et comment obtenir les principaux paramètres de la source à l'aide des données enregistrées aux stations.

**\* Code: GSC-L3-B04-S2**

**Pétrologie endogène**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Anne Verlaguet, P6

Autres enseignants : Erwan Martin, Philippe Agard

Type d'enseignement : cours /TD-TP

Volume horaire : 40h cours/TD-TP

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce module a pour but de donner les bases de pétrologie endogène : principaux critères de reconnaissance des roches et minéraux (TP étude d'échantillons et lames minces au microscope), compréhension des processus de formation des roches endogènes, tant magmatiques que métamorphiques, et ce qu'apporte la pétrologie endogène à la compréhension des grands contextes géodynamiques.

Les roches des croûtes continentale et océanique sont principalement formées par la succession de processus de fusion partielle des roches mantelliques, puis évolution des liquides magmatiques par cristallisation fractionnée. Ce module permettra de décortiquer chacun de ces processus, et de caractériser les principaux minéraux et textures des roches en fonction de leurs conditions de mise en place (roches volcaniques / plutoniques). Nous verrons également que la géochimie de ces roches (éléments majeurs, traces, isotopes stables et radiogéniques) permet de tracer les sources des magmas.

D'autre part, les roches enfouies dans les zones de subduction ou de collision continentale subissent des variations des conditions P-T, qui provoquent la recristallisation des minéraux et la déformation des roches. La composition des minéraux donne de précieux indices sur les conditions P-T dans lesquelles ces roches ont été enfouies. Ce module permettra d'apprendre à reconnaître les principaux minéraux métamorphiques et à déterminer leurs conditions P-T de cristallisation (notions de thermodynamique pour établir les grilles pétrogénétiques, géothermobarométrie). L'étude de la succession des paragenèses (rééquilibrations minérales successives) et de la chronologie des structures de déformation permettra d'établir les chemins P-T-t suivis par les roches lors de leur enfouissement puis exhumation. Ces chemins P-T nous permettront enfin de caractériser les grands contextes géodynamiques et processus associés.

**\* Code: GSC-L3-D05-S2**

**Biogéochimie**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre Barré

Autres enseignants : Laurent Bopp

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

La Biogéochimie au sens large traite des échanges d'éléments chimiques entre les organismes vivants et leur environnement. La biogéochimie ne peut bien évidemment pas être traitée de manière exhaustive en 30h et le module se focalisera sur les cycles du carbone et de l'azote et les interactions entre microorganismes et minéraux dans les zones océaniques, continentales et estuariennes. Ceci permettra de discuter de questions « chaudes » de la recherche actuelle en

Géosciences (dynamique du carbone du sol, rétroactions biosphère/atmosphère dans les modèles de climat, dynamique des polluants dans l'environnement etc.) et de présenter la panoplie d'outils existant et en développement permettant une étude de plus en plus fine des interactions entre le vivant et le non-vivant (techniques microscopiques et spectroscopiques à haute résolution, isotopie et couplage avec les outils de la biologie moléculaire et de la microbiologie).

- Lien avec : minéralogie, climatologie, géochimie, hydrologie, Océanographie, surfaces continentales

**\* Code: BIO L3 B01 S2 (COURS DU DEPARTEMENT DE BIOLOGIE)**

**Écologie - Évolution**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jean-François LE GALLIARD - CNRS

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Modules d'ouverture en biologie – L3S6

Intervenant après une initiation à la vie de laboratoire, cette série d'UE d'ouverture a pour premier objectif de faire découvrir des domaines forts de la recherche actuelle en biologie et ainsi d'aider l'étudiant dans son orientation. Le second objectif est l'apprentissage du travail personnel.

**Programme**

Dans la première partie, des cours offriront des éclairages complémentaires au module de premier semestre en écologie en se focalisant sur la thématique de la biodiversité.

Dans la deuxième partie, les étudiants effectueront en groupe un projet de TP sur le terrain ou en laboratoire dont les résultats seront analysés en TPE.

Le stage de terrain sera organisé par une équipe d'enseignants-chercheurs au CEREEP-Ecotron IleDeFrance sur le site de Foljuif (<http://www.foljuif.ens.fr>).

Évaluation : Présentation orale du travail de TP suite au travail personnel encadré consacré à la récolte et l'analyse de données et à la lecture d'articles de recherche.

Support de cours : Documents du cours disponibles sur le site web du responsable.

Lectures suggérées :

Ecology : From Individuals to Ecosystems, 4th Edition, Michael Begon, Colin R. Townsend, John L. Harper, Wiley.

**\* Code: GSC-L3-B10-S2**

## **Convection atmosphérique et nuages**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Caroline Muller

Autres enseignants : Un doctorant moniteur

Type d'enseignement : Cours / TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours présente les bases théoriques et des applications de la thermodynamique de l'atmosphère.

### **Application de la thermodynamique aux fluides géophysiques (atmosphère et océans)**

- Principe de l'équilibre thermodynamique local, exemples de l'entropie spécifique et des relations d'état
- Compositions et traceurs dans l'atmosphère et l'océan
- 1er principe de la thermodynamique : Champs de température, rôle des traceurs
- 2nd principe de la thermodynamique appliqué aux fluides: Loi de comportement

### **Profils adiabatiques, stabilité**

- Océan
- Atmosphère sèche
- Relation de Clausius-Clapeyron, l'eau et ses changements de phase, point de rosée
- Atmosphère humide et stabilité
- Mesures de vapeur d'eau en météorologie

### **Convection humide et formation de nuages**

- Physique des nuages, température potentielle équivalente
- Classification des nuages
- Mesures et températures
- Interprétation des radiosondages de l'atmosphère
- Extrêmes météorologiques (précipitations extrêmes, cyclones...)

**\* Code: GSC-L3-B11-S2**

## **Chimie de l'atmosphère**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : François Ravetta

Autres enseignants : Sébastien Payan, Jennie Thomas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

### **Descriptif du cours et compétences visées**

Les constituants minoritaires réactifs de l'atmosphère jouent un rôle important en matière de filtrage du rayonnement UV (ozone), de climat (méthane, ozone, particules) ou de pollution atmosphérique (ozone, oxydes d'azote, particules). Emis en surface sous forme réduite ou produits au sein même de l'atmosphère, ces constituants minoritaires sont en général oxydés lors de réactions photochimiques catalysées à basse température avant de se déposer au sol. L'étude de la couche d'ozone stratosphérique permet d'appréhender simplement les couplages entre réactivité chimique, transport et rayonnement, et de dégager des notions générales en chimie atmosphérique, comme celles de famille ou de temps de vie. Il devient ensuite possible de rendre compte de milieux plus complexes, comme la couche limite urbaine. A l'issue du cours, un étudiant doit se faire une première idée du fonctionnement de l'atmosphère du point de vue des cycles biogéochimiques. Il doit être capable de rendre compte des distributions observées pour les constituants minoritaires, et de leurs variations dans le temps et dans l'espace. Dans une première partie, le cours s'attache à dégager les principes généraux d'étude de l'atmosphère considérée comme un milieu réactif. Des méthodes d'observation de la composition atmosphérique sont ensuite étudiées, en lien avec le transfert de rayonnement. Dans une dernière partie en anglais, on aborde les grands enjeux qui sous-tendent actuellement la recherche en chimie atmosphérique.

### **Bibliographie**

*Physique et chimie de l'atmosphère*, Delmas et al., Belin, 2005 (2nde édition)

*Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, J. Seinfeld & S. Pandis, Wiley, 2006, 2nd Edition

**\* Code: GSC-L3-B07-S2**

## **Mécanique des fluides expérimentale**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants : P. Bouruet-Aubertot, O. Devauchelle

Type d'enseignement :

Volume horaire : 5 jours

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

L'objectif du module est l'acquisition d'une connaissance physique et expérimentale des mécanismes de base qui régissent les mouvements des masses fluides de l'enveloppe terrestre à savoir : l'océan, l'atmosphère et les écoulements continentaux de surface et souterrains. Ce module, fondé sur une série de travaux pratiques en laboratoire ou numériques, vise à introduire les notions fondamentales en océanographie physique et en dynamique des fluides géophysiques.

### **1- Océan-Atmosphère**

Les mouvements des fluides géophysiques que sont l'atmosphère et l'océan sont avant tout affectés par la stratification de ces fluides et la rotation de la Terre. Nous proposons dans ce module une série de TP expérimentaux et numériques introduisant quelques phénomènes et approches fondamentaux pour comprendre la dynamique de ces fluides.

### **2- Bases de Mécanique des fluides expérimentale appliquées aux écoulements continentaux.**

On propose une série de quatre travaux pratiques permettant l'étude de cas simples définissant les grandes catégories d'écoulements continentaux à savoir les écoulements visqueux (laves et magmas), les écoulements turbulents (rivières) et les écoulements à travers un milieu poreux (nappes phréatiques). Enfin, un TP sur les modes de Faraday vise à introduire la notion d'instabilité en mécanique des fluides.

Les éléments théoriques nécessaires seront acquis lors de chaque TP. Les travaux proposés visent aussi à familiariser les étudiants avec certaines notions fondamentales en dynamique des fluides géophysiques comme l'utilisation de nombres adimensionnés.

Remarques: Cours sur une semaine en début de second semestre.

**\* Code: GSC-L3-D04-S2**

**Stage de recherche en laboratoire**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Matthias Delescluse

Autres enseignants :

Type d'enseignement : Stage

Volume horaire : 1 mois

Modalités de contrôle des connaissances : Mémoire et soutenance orale

Stage individuel d'initiation à la recherche dans un laboratoire de la région Parisienne. Exposé et rapport de stage.



## **Premier semestre M1 (M1, S1, 2<sup>ème</sup> année) :**

Le premier semestre de M1 est une transition vers des domaines plus spécialisés des géosciences ou vers des « modules synthèse » qui nécessitent dans tous les cas la connaissance approfondie d'une ou de plusieurs disciplines enseignées en L3. Le semestre débute par un stage d'océanographie et de géodésie, qui a aussi l'avantage d'intégrer les nouveaux arrivants dans la promotion existante et de pouvoir être intégré dans les modules d'océanographie, géodynamique et Failles/sismotectonique.

En plus du stage de terrain, tout comme au L3-S2, deux modules outils sont obligatoires. Il reste 18 ECTS à choisir à la carte parmi les modules proposés.

## **\* Code: GSC-M1-A01a-S1**

### **Stage d'Océanographie et de géodésie**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6 (M1) + 3 (DENS)

Responsable : E Calais, M. Delecluse, S Speich

Autres enseignants :

Type d'enseignement : stage

Volume horaire : 12 jours

Modalités de contrôle des connaissances : Rapport

### **Partie du stage en océanographie (6 ECTS)**

Stage de mesure océanographique depuis Villefranche sur mer avec des applications en sismologie, en océanographie physique et en météorologie marine. Poursuite du stage sur des applications géodésiques dans l'arrière-pays.

Ce stage offre:

- Une continuité du cours de sismologie/propagation des ondes du second semestre de L3 (tronc commun) à travers l'expérience de l'acquisition de données de sismique marine et leur traitement, les applications en imagerie du sous-sol ou de la colonne d'eau.
- L'intégration des données acquises dans le schéma géologique régional qu'est le bassin Liguro-Provençal (parcours Terre Solide), en lien avec le module de géodynamique de M1
- L'acquisition de données de flux turbulents à l'interface air-mer, de température et salinité de la colonne d'eau (CTD) qui sont de bonnes illustrations de notions enseignées dans deux modules de L3 (Introduction à la dynamique de l'atmosphère et Convection atmosphérique et nuages) et qui prépare le module d'océanographie et météorologie dynamique de M1.

### **Partie du stage en géodésie : Géoïde et profondeur du Moho dans les Alpes du Sud (3 ECTS)**

Ce stage de terrain a pour but de déterminer, à partir de mesures géophysiques de terrain, la profondeur du Moho depuis la côte des Alpes Maritimes jusqu'au massif cristallin externe du Mercantour. L'épaisseur crustale dans cette région est un paramètre géodynamique fondamental en relation avec l'histoire géologique de la transition collision-extension dans les Alpes du sud.

Dans la pratique, le stage consiste à mesurer la hauteur du géoïde le long des vallées du Var et de la Tinée entre Nice et Saint Etienne de Tinée (Mercantour) en mesurant par GPS la hauteur ellipsoïdale de bornes de nivellement IGN, dont l'altitude normale est connue.

Sur le terrain, les étudiants réalisent des mesures GPS, de nivellement et de gravimétrie à l'aide d'équipement de recherche. En soirée, ils suivent des cours et traitent les données obtenues pendant la journée pour obtenir le profil du géoïde. De retour au département, ils utilisent leurs mesures pour calculer l'épaisseur crustale sous les Alpes du Sud à partir de modèles géophysiques simples et rédigent le rapport sur lequel ils seront évalués.

Ce stage permet de relier des observations géologiques à grande échelle (structure crustale de la chaîne alpine et de la marge ligure) à des quantités mesurables par des méthodes géophysiques (anomalie du géoïde et profondeur du Moho), de manipuler des outils géophysiques de recherche en condition réelle, de développer un sens des initiatives et de l'improvisation face aux aléas du terrain, et de comprendre l'impact des manipulations instrumentales sur les interprétations géologiques et géophysiques qui en découlent.

Le stage se déroule sur une semaine et est hébergé à Saint Etienne de Tinée, au cœur du Parc National du Mercantour.

**\* Code: GSC-M1-A09-S1**

## **Géomorphologie**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Le cours de Géomorphologie aborde l'aspect physique des processus d'érosion et de transport de matière à la surface du globe. Il s'agit d'une introduction aux différents processus de l'érosion physique et du transport de sédiments, des mécanismes qui leur sont associés ainsi qu'aux modèles d'évolution du relief les intégrant. On abordera essentiellement les processus en jeu dans les chaînes de montagne. Ces processus peuvent se rassembler sous deux grandes familles :

- 1) les processus de pentes où le principal moteur du mouvement de la matière est la gravité
- 2) les processus fluviaux où les sédiments sont mis en mouvement sous l'effet d'un cisaillement fluide. On utilisera donc des notions très variées telles que la loi de coulomb ou la modélisation d'écoulements de surface turbulents.

Bibliographie:

*Tectonic Geomorphology, Burbank & Anderson, Blackwell Science.*

**\* Code: GSC-M1-A14-S1**

## **Le Changement Climatique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Jean-Louis Dufresne

Autres enseignants : Laurent Bopp, Sabrina Speich

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Le changement climatique en cours et à venir est à la fois un enjeu sociétal majeur et un champ de recherche très actif et très ouvert. L'attribution à l'action de l'Homme du réchauffement des derniers 50 ans ne fait plus aucun doute et les ordres de grandeurs du réchauffement à venir en fonction de nos émissions de gaz à effet de serre sont connus. Mais de nombreuses questions sont encore largement ouvertes qu'il s'agisse de l'importance de certaines rétroactions contrôlant ce réchauffement, des changements du climat et plus largement des changements du système Terre associés à ce réchauffement,

Le but de ce cours est de montrer les fondements scientifiques de ces travaux et de donner un aperçu de quelques sujets de recherche actifs. Dans ce cours, nous aborderons le changement climatique anthropique, en présentant (1) les processus clés de la physique et de la biogéochimie du système climatique, (2) les principales perturbations anthropiques et leurs interactions avec le climat, (3) les projections climatiques les plus récentes. Les aspects historiques de la recherche sur le changement climatique et le lien avec les négociations internationales climatiques seront aussi discutés.

Une partie du module sera réalisée lors de travaux dirigés basés sur des exercices calculatoires utilisant des modèles simples ou des sorties de modèles climatiques plus complexes. Un projet avec restitution sur une question en lien avec le changement climatique sera réalisé à partir du dernier rapport du GIEC ou de certains articles scientifiques clés.

**\* Code: GSC-M1-A10-S1**

## **Rayonnement et télédétection**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pasquale Sellitto

Autres enseignants :

Type d'enseignement : (cours/TD, stage type de projet, exposé, groupe de travail, etc.)

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours présente les bases physiques et les principales techniques de la télédétection, avec leurs applications à la connaissance de l'atmosphère, de l'océan et de la surface de la terre. L'objectif de ce cours est d'acquérir et de maîtriser les bases physiques des mesures géophysiques par télédétection. Ces notions fondamentales sont illustrées par des applications pratiques permettant à l'étudiant de se familiariser avec les mesures radiatives et leur interprétation en termes de propriétés des surfaces qui émettent ou réfléchissent le rayonnement, de la composition et de l'état thermodynamique de l'atmosphère et de la microphysique des nuages. D'autres types d'applications sont également présentés pour donner une culture générale des moyens existants actuellement en observation de la terre. Ce cours est complété par des séances de travaux pratiques qui permettent à l'étudiant de confronter ses connaissances théoriques à des mesures réelles et d'acquérir des notions de traitement de l'image.

Remarques: Ce cours se poursuit par des TPs d'application en début de second semestre.

Bibliographie:

*Remote Sensing of the Lower Atmosphere: An Introduction, Graeme L. Stephens, Oxford University Press, USA;*

*Physical Principles of Remote Sensing, W. G. Rees, Cambridge University Press, UK.*

**\* Code: GSC-M1-A12-S1**

## **Approche numérique et modélisation**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : J. Deshayes

Autres enseignants : Romain Jolivet,

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Le recours aux méthodes numériques est nécessaire afin de pouvoir simuler l'évolution des systèmes géophysiques (ondes dans la terre, météorologie, etc.). Ceci est nécessaire pour effectuer des prévisions ou pour mieux comprendre les mécanismes physiques à partir de l'étude des simulations.

Un autre aspect de la modélisation numérique est de pouvoir à partir de contraintes dynamiques déterminer des paramètres physiques en utilisant des observations. Ce second aspect s'appelle l'inversion numérique de données.

On introduira les principes de la modélisation numérique d'équations aux dérivées ordinaires et partielles et on discutera des problèmes de stabilité et de convergence des solutions numériques. Pour illustrer ces phénomènes, on examinera le système des équations en eau peu profonde (ou équations de Saint Venant) qui décrit l'évolution des ondes de gravité.

Dans la deuxième partie du cours, les étudiants vont apprendre les bases de l'inversion numérique de données géophysiques. Partant des méthodes d'ajustement par moindres carrés et de notions basiques de probabilité, on traite les problèmes avec des solutions non-unique ou mal contraintes pour arriver aux méthodes d'inversion Bayésienne linéaires et non linéaires (linéarisées). Finalement, différentes méthodes stochastiques d'inversion non-linéaire (« Monte-Carlo ») seront traitées. Un point important à part de l'apprentissage des méthodes d'inversion est l'analyse des incertitudes des paramètres des modèles obtenus. A la fin du cours, les étudiants devraient savoir analyser un problème direct, décider de la méthode d'inversion à utiliser ainsi que juger de la qualité du modèle obtenu.

*Représentation de la grille de points de calcul d'un modèle océanique (lignes noires) permettant l'intégration dans les temps des équations de régissant l'évolution de l'océan global. La température de surface de l'océan, une des variables pronostiques du modèle est également représentée (en couleur). Ce type de modèle est une des composantes essentielles des modèles de climat utilisés pour estimer les conséquences de nos rejets de gas à effets de serre.*

**\* Code: GSC-M1-A05-S1**

## **Océanographie Dynamique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : B. Deremble

Autres enseignants : J. Vialard

Type d'enseignement : cours / TD + un TP sur machine de 3h

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours d'introduction à la dynamique de l'océan et à la circulation océanique s'intéresse aux phénomènes de grande échelle (au-delà de la dizaine de kilomètres) et à basse fréquence (au-delà de quelques jours): on ne parlera pas de marées, de vagues scélérates, ni de tsunamis. Il s'agira dans un premier temps d'étudier la distribution tridimensionnelle moyenne des principales variables physiques océaniques (la température, la salinité, et les courants), et dans un second temps la variabilité autour de cet état moyen, principalement celle de la température de surface océanique, en raison de son influence sur l'atmosphère.

### **Partie 1: Dynamique de la circulation océanique**

La distribution globale de température, salinité et courants sera revue à la lumière des équilibres géostrophiques et du vent thermique dans l'océan. Puis, on étudiera l'influence du vent de surface à l'aide d'un modèle simple (transport d'Ekman) et ses conséquences sur la circulation de grande échelle (transport de Sverdrup), de même que les principes physiques des premiers modèles de gyre subtropicale (Stommel, Munk). On fera ensuite l'étude des tourbillons océaniques de méso-échelle et des instabilités baroclines. On terminera par l'étude de la circulation thermohaline et de la variabilité de la circulation verticale méridionale dans l'océan Atlantique.

### **Partie 2: Processus responsables de la variabilité de la température de l'océan superficiel.**

La température de surface de l'océan a une influence considérable sur l'atmosphère, sur une large gamme d'échelles de temps. Nous présenterons d'abord une méthode d'analyse statistique de la variabilité de la température de surface. Nous dériverons ensuite l'équation qui gouverne la température de surface de l'océan, et détaillerons les trois principaux processus qui peuvent l'influencer la température de l'océan (flux air-mer, advection latérale, échanges avec la sub-surface), en les illustrant dans le cadre de phénomènes précis (e.g. réponse océanique à un cyclone, à l'oscillation de Madden Julian, phénomène El Niño, variabilité décennale de l'océan superficiel aux moyennes latitudes).

**\* Code: GSC-M1-A06-S1**

## **Météorologie synoptique et planétaire**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Caroline Muller

Autres enseignants : G. Rivière

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

La première partie de ce cours permettra de comprendre les approches de la prévision météorologique à partir des concepts de base de la météorologie dynamique. Pour cela, on rappellera tout d'abord les quantités dynamiques essentielles en météorologie et les grands équilibres (équilibre hydrostatique, vent géostrophique, équilibre du vent thermique). On décrira ensuite les différents types de perturbations atmosphériques et leurs caractéristiques principales. On examinera des cartes météorologiques afin d'illustrer les différents concepts et de montrer comment peut être menée une prévision.

La deuxième partie portera sur la circulation générale de la troposphère à partir d'observations et de modèles conceptuels. Tout d'abord, on considérera la circulation en moyenne zonale et des cellules de Hadley et de Ferrel en introduisant différentes notions dans ce cadre, comme les flux d'Éliassen-Palm ou encore la circulation Eulérienne transformée. Ensuite, les aspects tridimensionnels de la circulation aux latitudes moyennes seront étudiés, comme les ondes de Rossby stationnaires générées par la topographie, ou encore les ondes de Rossby transitoires synoptiques générées par les contrastes thermiques. L'étude de ces diverses ondes s'appuiera sur la théorie des rayons ainsi que sur des bilans énergétiques comme dans le cycle de Lorenz.

Bibliographie:

*Introduction to Dynamical Meteorology. James R. Holton*

**\* Code: GSC-M1-A07-S1**

## **Dynamique des fluides géophysiques**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : V.Zeitlin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Ce cours prolonge le cours de mécanique des fluides de L3 et l'adapte résolument à l'atmosphère et à l'océan, en introduisant la dynamique des traceurs impliqués dans la circulation thermohaline de l'océan et l'effet de serre, la thermodynamique appliquée aux fluides, les effets de la stratification. Une attention particulière est donnée aux ondes de gravité externe, c'est à dire aux vagues de surfaces et aux ondes de marées. Les ondes internes sont aussi introduites ainsi que leur relation avec la météorologie de montagne et les brises de mer. Aux plus grandes échelles, les effets d'interaction entre rotation et stratification sont étudiés, ce qui amène à dériver la relation du vent thermique, ou l'analyse des mouvements aux échelles synoptiques en termes de tourbillon potentiel.

Ce cours dérive en particulier l'approximation quasi géostrophique, l'amortissement du tourbillon potentiel quasi géostrophique par la couche limite d'Ekman. Ce cours dérive aussi les équations du mouvement sur la sphère, ce qui amène à introduire le concept de moment cinétique essentiel pour expliquer la structure des vents de grande échelle dans l'atmosphère.

Remarques: Un prérequis en mécanique des fluides est souhaitable mais pas nécessaire.

Bibliographie:

*An introduction to Dynamic Meteorology, J.R. Holton; Atmospheric and Oceanic fluid dynamics, G.K. Vallis*

**\* Code: GSC-M1-A08-S1**

## **Géomécanique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Alexandre Schubnel

Autres enseignants : Yves Guéguen

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

La partie supérieure de la croûte terrestre intéresse particulièrement le géologue et le géophysicien confrontés aux problèmes ayant un impact direct sur l'activité humaine et mettant en jeu fluides et déformation (séismes et failles, réservoirs et stockages). Le module vise à permettre d'aborder ces questions avec les concepts et outils appropriés. Deux volets seront présentés de manière approfondie:

1. la compaction des roches poreuses (développement de surpression de fluide dans une couche sédimentaire, réservoirs, subsidence, stockage).
2. la fracturation des roches, la friction et la mécanique des séismes

**\* Code: GSC-M1-A11-S1**

## **Hydrologie**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants : Alexandre Gelabert (IPGP), Yann Sivry (IPGP)

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

### **Description: Contenu du cours :**

Partie I - Hydrogéologie quantitative (J. Fortin)

- 1- Cycle de l'eau
- 2- Loi de Darcy
- 3- Hydrodynamique des aquifères

Partie II – Géochimie des eaux (A. Gelabert et Y. Sivry)

- 1- Outils thermodynamiques en chimie aquatique
- 2- Système carbonate
- 3- Traceurs isotopiques

### **Compétences visée à l'issue de ce cours :**

- Comprendre les principes physiques régissant les écoulements souterrains
- Connaître les systèmes aquifères
- Savoir estimer les flux d'eau, les temps de transfert, le transport de polluants.
- Comprendre les modèles thermodynamiques associés à la chimie des solutions.
- Connaissance des principaux concepts en chimie des solutions et des outils associés.

Remarques: Des TDs sont donnés en support du cours et des TPs permettent de prendre en main le modèle de chimie-transport CHIMERE.

Bibliographie:

*Hydrogéologie quantitative, de Ghislain de Marsily (ed. Masson)*

## \* Code : GSC-M1-A15-S1

### Aérosols et Climat

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pasquale Sellitto

Autres enseignants :

Type d'enseignement : (cours /TD, projet/exposé)

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Les aérosols atmosphériques sont des particules solides et liquides en suspension dans l'atmosphère. Ils jouent un rôle dans de nombreux processus atmosphériques et ils ont un impact potentiellement important sur le climat. À cause de la très importante variabilité spatiale et temporelle des caractéristiques microphysiques, chimiques et optiques de ces particules, l'effet global des aérosols sur le climat est considéré comme une des plus importantes inconnues du système climatique de la Terre. Ce cours est une introduction à la physique et la chimie des aérosols atmosphériques, et au forçage des aérosols sur le système climatique de la Terre. Les propriétés physico-chimiques des différentes typologies des aérosols (poussière minérale et sable désertique, cendre volcanique, sel marin, particules d'origine anthropique, etc) seront introduites et on discutera leurs sources et puits.

Un approfondissement sera fait sur les aérosols stratosphériques, principalement formés à partir des composés du soufre injectés lors certaines éruptions volcaniques majeures. L'importance des aérosols dans le transfert de rayonnement dans l'atmosphère sera discutée et les bases théoriques de l'interaction rayonnement-particules (la théorie de Mie) seront présentées. Une introduction aux techniques de mesure in situ et à distance sera, ensuite, proposée. Enfin, nous étudierons les différents aspects de l'impact des aérosols sur le climat, en particulier la diffusion et l'absorption du rayonnement solaire et terrestre (forçage radiatif direct) et les modifications des paramètres optiques et du temps de vie des systèmes nuageux (forçage radiatif indirect).

#### Plan du cours :

- Les aérosols atmosphériques : généralités, typologies, sources et puits, propriétés physiques, chimiques et optiques ;
- Les aérosols stratosphériques ;
- Modélisation des aérosols ;
- Effets radiatifs : interaction rayonnement-aérosols, la théorie de Mie pour une particule sphérique, généralisation à un ensemble de particules ;
- Observations des aérosols : mesures par télédétection et in situ ;
- Impact des aérosols sur le climat : effet radiatif direct, interactions aérosols-nuages.

#### Bibliographie:

*Aérosols atmosphériques: Propriétés et impacts climatiques*, Olivier Boucher, Springer-Verlag, Germany (ISBN : 9782817800547) ;

*Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, Craig F. Bohren and Donald R. Huffman, Wiley-Blackwell, Germany (ISBN: 9780471293408).

**\* Code : GSC-M1-A02-S1**

## **Grands ensembles géologiques**

Niveau : M1

Semestre S1 ECTS : 3

Responsable: N. Chamot-Rooke

Autres enseignants : M. Pubellier & M. Delescluse, L. Bollinger

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 30h

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Dans son acception la plus large, la géodynamique désigne l'étude de la dynamique de la Terre, et plus précisément l'ensemble des processus qui altèrent la surface du globe, qu'ils soient externes, atmosphériques par exemple, ou internes, comme les volcans ou les séismes. Le McGraw-Hill Science & Technology Dictionary présente la géodynamique comme une branche de la géophysique qui consiste à mesurer, modéliser et interpréter les mouvements de la croûte et du manteau, voire du noyau. Le British Dictionary opte pour une branche de la géologie étudiant les forces et les processus à grande-échelle, et leurs effets sur la croûte et la lithosphère. Le cours de Géodynamique que nous proposons couvre donc à la fois les aspects géophysiques et géologiques de la déformation de la Terre, du court-terme au long-terme.

La tectonique des plaques est introduite, ainsi que les méthodes modernes de la cinématique, depuis l'instantané (mouvements actuels) jusqu'au fini (mouvements passés et reconstructions). Les déformations de l'écorce terrestre sont examinées à la fois à partir des mesures actuelles (géodésie, sismologie, failles actives) et à partir de l'étude des déformations des grands objets géologiques, en particulier les chaînes de montagne, depuis leur formation jusqu'à l'écroulement post-orogénique et l'ouverture des bassins de supra-subduction, les marges, du rifting au fonctionnement de la dorsale océanique, les zones de déformation intra-plaques continentales et océaniques. Les parties les plus théoriques du cours s'appuient sur les grands chantiers, ceux du laboratoire de géologie de l'ENS pour lesquels des spécialistes interviennent : la Méditerranée, l'Asie du Sud-Est, l'Himalaya-Népal, etc.

Le cours fait le lien entre les mesures géodésiques, qui renseignent sur les mouvements et la déformation actuelle, permanente ou transitoire, et les objets géologiques qui résultent de l'accommodation de ces mouvements aux frontières. Les solutions et modèles les plus pertinents, parfois contradictoires, sont évalués à partir d'articles récents qui font l'objet de présentations par les étudiants. Le but est d'aborder le problème des forces qui façonnent les grandes structures de notre globe via le couplage entre le profond et la surface.

À l'issue de ce module, les compétences acquises couvrent un panorama des méthodes modernes d'analyse et d'interprétation des mesures géophysiques utilisées en géodynamique, et une introduction aux grandes structures géologiques.

## \* Code : GSC-M1-A16-S1

### Sismo-tectonique

Niveau: M1

Semestre: S1 ECTS : 3

Responsable : Romain Jolivet

Autres Enseignants: Eric Calais

Type d'enseignement: Cours/TD/Projet

Volume Horaire: 30h

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit , Rapport de projet

Depuis l'avènement des techniques de mesure des déformations de la croûte terrestre, la compréhension de la dynamique des failles au cours du cycle sismique a radicalement évolué. Au cours de ce module, nous explorerons comment l'association de plusieurs techniques d'observation (géodésie, sismologie, géomorphologie, géologie, ...) a permis l'émergence de modèles mécaniques, basés sur des mesures de laboratoire, pour la description de l'activité des failles.

1. **Introduction:** Nous commencerons par une introduction sur l'historique des découvertes en sismotectonique au gré des différents séismes majeurs ayant eu lieu depuis une centaine d'année (Chili 1877, San Francisco 1906 Tokyo 1923, Chili 1960, ...) en lien avec les notions de risque et d'aléa sismique et leur évolution au cours du temps. Cette introduction permettra d'introduire la notion de cycle sismique.

2. **Observer le cycle sismique:** Ensuite, Nous aborderons les différentes méthodes d'observations des phénomènes sismo-tectoniques (GPS, InSAR, Sismologie, Tsunamis, morpho-tectonique, ...). Cette exploration des différentes observables (déplacement de surface, micro-sismicité, tomographie, ...) permet de mettre en évidence les 3 phases du cycle sismique: inter-, co- et post-sismique.

3. **Quantifier les phénomènes:** Au cours de ces phases, nous mettrons en évidence les différents mécanismes permettant d'expliquer les déplacements observés en surface. L'accent sera mis sur la localisation et la quantification du glissement sismique et asismique au cours des différentes phases du cycle.

4. **Explorer les lois rhéologiques:** Nous traiterons différents modèles actuellement proposés pour expliquer, d'un point de vue mécanique, les différents modes de glissement sur les failles actives ainsi que les modes de réponse mécanique de la lithosphère au cours du cycle sismique.

5. **Récapitulatif, Discussion:** Nous terminerons ce module par l'exposé des grandes problématiques actuelles en ce qui concerne l'activité sismique des failles (i.e. Que peuvent apporter les modèles dynamiques de cycle sismique? Peut on vraiment parler de cycle? Comment intégrer les mécanismes déterminés à court terme dans la description des déformations sur des temps géologiques?)

À l'issue de ce module rassemblant cours magistraux, TD et un projet comptant pour le contrôle continu, les étudiants auront acquis une connaissance globale des phénomènes rythmant le cycle sismique, des méthodes d'observation de ces phénomènes et des modèles mécaniques proposés. Enfin, étant construit sur des exemples de séismes passés, ce module permet de présenter différents contextes sismo-tectoniques et de développer une culture générale de la sismologie et de la tectonique active.

**\* Code : GSC-M1-A17-S1**

## **Planétologie**

Niveau: M1

Semestre: S1 ECTS : 3

Responsable : Aymeric Spiga

Autres Enseignants: Intervenants extérieurs

Type d'enseignement: Cours/TD/Projet

Volume Horaire: 30h

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

Le cours de Planétologie se propose d'illustrer en quoi chacune des approches des Géosciences trouve sa déclinaison dans l'étude des planètes du système solaire et leurs satellites, que la foison récente de missions spatiales a fait passer du statut d'objets astrophysiques à celui de systèmes géophysiques complets. Nous aborderons ainsi le rôle de la gravité (de l'orbitographie aux marées), les transferts d'énergie dans les enveloppes planétaires (des atmosphères aux intérieurs planétaires), la composition et la dynamique des atmosphères planétaires, les processus qui ont façonné les surfaces planétaires et, plus généralement, les planètes dans leur ensemble de l'atmosphère à l'intérieur. Nous baserons les cours et TDs sur de nombreuses images et principes qualitatifs, mais veillerons à proposer autant que possible des traitements quantitatifs reposant sur les notions abordées en L3. Le but du cours de Planétologie est moins de tendre vers l'exhaustivité que de favoriser l'ouverture d'esprit et la remise dans un contexte élargi des concepts éprouvés en détail dans le cadre de l'environnement terrestre.

**Bibliographie :** *Planetary Science*, Imke de Pater & Jack J. Lissauer, Cambridge University Press.

## **\* Code: GSC-M1-B13-S1**

### **Processus à l'échelle atomique**

Niveau : M1, DENS

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Etienne Balan

Autres enseignants : Laurence Galois, Georges Calas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Modalités de contrôle des connaissances : Examen écrit

De nombreux processus naturels sont gouvernés par des mécanismes intervenant à très petites échelles. Le développement récent d'outils expérimentaux et théoriques, donnant accès à ces échelles dans le cas de matériaux complexes, permet d'explorer de nouveaux liens entre minéralogie, géochimie et géophysique.

Parmi les thèmes susceptibles d'être abordés dans ce cadre, on peut citer :

- L'origine microscopique des propriétés magnétiques et optiques des minéraux
- L'utilisation des défauts ponctuels comme témoins de conditions de formation des minéraux
- Les processus de diffusion à l'état solide
- La modélisation moléculaire des fractionnements isotopiques à l'équilibre
- Les verres et magmas; le contrôle du partage des éléments au stade magmatique
- La structure et la réactivité des interfaces minéral-solution

#### **Bibliographie:**

*Blundy J, Wood B. (2003) Partitioning of trace elements between crystals and melts. Earth and Planetary Science Letters, 210, 383-397;*

*Brown G.E. and Calas G. (2012) Mineral-Aqueous Solution Interfaces and Their Impact on the Environment. Geochem. Persp., 1, 483-742;*

*Schauble E., Méheut M., Hill P.S. (2009) Combining metal stable isotope fractionation theory with experiments. Elements, 5, 369-374;*

*Watson E.B., Baxter E.F. (2007) Diffusion in solid-Earth systems. Earth and Planetary Science Letters, 253, 307-327*

## **\*Code : GSC-M1-B14-S1**

### **Géopolitique de l'environnement**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Magali Reghezza

Ce séminaire propose d'aborder différentes questions environnementales sous un angle géopolitique. Qu'il s'agisse de l'appropriation et la mise en valeur des ressources, de la gouvernance des risques et des crises, de la protection de la nature, l'environnement met en jeu des rapports de forces politiques et mobilise des acteurs multiples. Ceux-ci développent, à partir des questions environnementales, des stratégies particulières pour asseoir leur pouvoir sur un territoire. L'environnement peut produire ou nourrir des conflits, voire de guerres, et ce à toutes les échelles, du local au global.

Dates et horaires : mardi 10h-13h

Date du premier cours : 3 octobre

24h - 8 séances (3 octobre, 17 octobre, 7 novembre, 14 novembre, 21 novembre, 28 novembre,

5 décembre, 12 décembre)

Ce cours compte pour la mineure environnement et la mineure géopolitique.

**\*Code : GSC-M1-B15-S1**

## **Risques et catastrophes**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Magali Reghezza

Ce séminaire propose d'aborder la question des risques et des catastrophes en interrogeant leurs causes, leur prévention et leur gestion. On se focalisera sur de grandes catastrophes, y compris dans des temps anciens. On étudiera également des menaces globales dont l'occurrence est incertaine. On travaillera aussi bien à l'échelle locale que planétaire et insisteront sur les questions éthiques et politiques de ces objets, en insistant en particulier sur les questions d'inégalités face aux risques et de gouvernamentalité. On consacrera enfin des séances au questionnement des pratiques de recherche dans le domaine des « cindyniques ».

Dates et horaires : mardi 14h-16h

Date du premier cours : 26 septembre

24h – 12 séances (26 septembre, 3 octobre, 17 octobre, 7 novembre, 14 novembre, 21 novembre, 28 novembre, 5 décembre, 12 décembre, 19 décembre, 9 janvier, 16 janvier)

Ce cours compte pour la mineure environnement.

# Département d'informatique de l'École normale supérieure DI/ENS

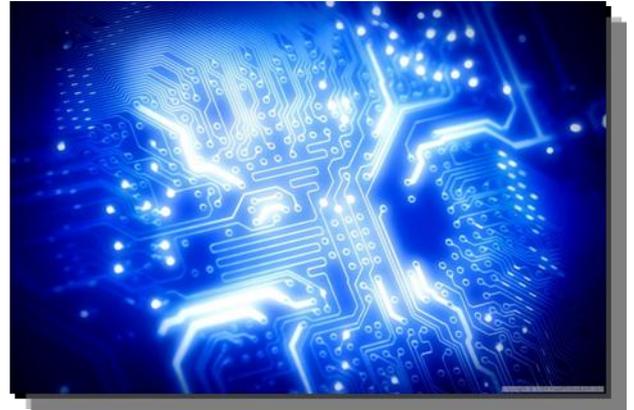
Site web: <http://www.di.ens.fr/>

Adresse: 45 rue d'Ulm, 75005 Paris

Directeur : Jean Ponce

Contact :

Direction des études : David Naccache  
David.naccache@ens.fr



Le Département d'informatique propose aux normaliens des formations longues en Licence 3, Master et Doctorat.

Les deux premières années dotent le normalien des bases de l'Informatique. L'éventail des cours couvre les aspects théoriques, pratiques et appliqués de l'informatique, plus un complément de formation en mathématiques. La spécialisation se fait en troisième année, en choisissant parmi les cours offerts en Master 2 en région parisienne. Un stage de formation à la recherche ponctue chaque année : deux mois en France ou en Europe la première année, un semestre à l'étranger la deuxième année, et un semestre la troisième année. En suivant en parallèle des enseignements complémentaires, les normaliens obtiennent alors le diplôme de l'ENS.

C'est une formation par la recherche : les enseignants sont aussi des chercheurs, et diverses questions de recherche sont abordées au fil des cours. Chaque promotion de normaliens produit son lot de publications, logiciels ou brevets durant ces années.

Ultérieurement, plus des trois quarts des normaliens du département d'informatique optent pour un Doctorat, en France ou à l'étranger. Les autres optent pour l'industrie (start-up ou entreprise internationale), l'enseignement, les Corps d'État, et bien d'autres voies. Il y a énormément de débouchés pour qui possède aujourd'hui une solide formation initiale en informatique. Près du tiers des anciens du département d'informatique font partie dix ans plus tard du «Who's Who» de l'informatique mondiale.

Double Licence en Mathématiques et Informatique – Cursus Math-Info :

Le double cursus Math-Info permet d'obtenir en un an la L3 de mathématiques et la L3 d'informatique. Ce cursus comprend des cours d'informatique, des cours de mathématiques, un cours spécifique math-info, un mémoire et un stage.

## **LES ENSEIGNEMENTS**

**Code: INFO-AA-SEMINAIRE-A**

### **Séminaire général du département d'informatique**

Niveau: IN

Semestre: A ECTS: 3

Responsable :

Type d'enseignement : séminaire

Volume horaire : 24h environ

Le séminaire général du Département d'Informatique rassemble des exposés généraux conçus pour être accessibles à tous : élèves/étudiants, doctorants, chercheurs.

Il a lieu le mercredi tous les 15 jours environ à 17h00 dans une salle de l'ENS.

Le programme est publié sur : <http://www.di.ens.fr/SeminaireGeneral.html.fr>

Une participation régulière pendant la scolarité à ENS (environ 24 séminaires) peut permettre d'obtenir 3 ECTS pour le diplôme de l'ENS.

L'élève/étudiant devra veiller que ses coordonnées soient bien inscrites sur la feuille de présence des séminaires et demander la validation de ces ECTS lors de sa dernière année de scolarité.

---

**Code: INFO-M1-MOOCALGO-A**

### **MOOC "Algorithmes d'Approximation"**

Niveau: M1

Semestre: A ECTS: 0

Responsable : MATHIEU Claire

Type d'enseignement : cours interactif diffusé sur le web

Volume horaire :

Cours en ligne MOOC (Massive Online Open Course), "Algorithmes d'Approximation" cours interactif diffusé sur le web. Niveau M1

Plus d'informations sur :

<http://www.ens.fr/savoirs/mooc-et-flot/>

<https://www.coursera.org/ens>

---

**Code: INFO-IN-PROGRA-S2**

### **Initiation à la programmation pour non-informaticiens**

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable : LI Zhentao

Type d'enseignement : cours, projet

Volume horaire : 24h environ

Ce cours est ouvert aux élèves de toutes les disciplines, littéraires comme scientifiques. Aucune connaissance préalable en programmation n'est requise.

Le cours n'est pas orienté a priori vers une application particulière. Il s'adaptera aux besoins des élèves. Il sera utile au non informaticien qui aura un jour à programmer rapidement une

simulation, mais aussi à toute personne souhaitant comprendre comment sont faits les programmes informatiques.

Python en ligne de commande (la calculatrice, les variables, les types, ...)

Programmation (scripts, conditions, boucles, fonctions)

Calcul scientifique en Python (Scipy/Numpy/Pylab)

Calcul efficace : programmation vectorielle (comme Matlab)

Descriptif détaillé du cours sur :

<http://diplome.di.ens.fr/#InitiationProgrammationNonInformaticiens>

Remarques : cours du 2e semestre prévu le mercredi de 17h à 19h

Vérifier date de début et salle sur : <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie : voir sur <https://www.di.ens.fr/~zhentao/intropython/>

---

**Code: INFO-L3-ALGOPRO-S1**

## Algorithmique et programmation

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, projet

Volume horaire : 48h cours/TD, 24h projet

L'enseignement comprend trois parties : cours de base, cours avancé, et projet. Chaque semaine le cours comporte deux parties indépendantes, la première couvrant des notions de base et la deuxième des notions avancées. Le cours de base est standard, son contenu se trouve dans des livres d'algorithmique types tels que le Kleinberg-Tardos ou le Cormen-Leiserson-Rivest-Stein ; les TDs développent et les examens évaluent les notions vues en cours de base. Le cours avancé présente des algorithmes plus sophistiqués (les élèves ne sont pas évalués sur son contenu). Le projet met en pratique la programmation en C par l'implémentation d'un algorithme ou d'une structure de données.

Prérequis

Quelques bases de programmation. Algorithmique élémentaire : recherche dichotomique, tri par insertion, tri par sélection, arbres binaires de recherche, graphes (définition), parcours en largeur d'abord ou en profondeur d'abord.

Cours de base

1. Files de priorité. Structure de données tas. Tri-tas. Algorithme de Dijkstra. Algorithme de Prim. Algorithme de Huffman.
2. Complexité du tri-fusion. Complexité en moyenne du tri-rapide. Arbres de décision et bornes inférieures.
3. Algorithme de Kruskal. Algorithme de Boruvka. Structure de données "Union-Find".
4. Arbres rouges-noirs, arbres éclatés ("splay").
5. Transformée de Fourier rapide.
6. Hachage. Filtres de Bloom.
7. Programmation dynamique. Plus courts chemins entre tous les sommets d'un graphe. Chaîne de Markov cachée.
8. Algorithmes sur les mots : Alignement de séquences, recherche de sous-mots.
9. Algorithmes de graphes : composantes connexes, points d'articulation, composantes fortement connexes, 2-SAT.
10. Flots.
11. Programmation linéaire. Dualité. Algorithme du simplexe.
12. Multiplication, exponentiation.

## 13. Réductions et NP-complétude

### Cours avancé

On traitera de sujets choisis par exemple parmi les sujets suivants. Structures de données avancées : Tas binomiaux. Géométrie algorithmique et diagramme de Voronoï. Fonction d'Ackermann inverse et analyse de la structure de données "Union-Find". Structure de données de Tarbres ("treaps"). Algorithmes en ligne: problème de location de skis. Algorithmes de type "streaming". Algorithme des quatre russes. Algorithmes et théorie des jeux. Couplages : algorithme d'Edmonds. Algorithmes d'approximation. Méthode de l'ellipsoïde. Algorithme de Goemans et Williamson. Test de primarité. Optimisation stochastique. Algorithmes FPT. Arbres suffixes.

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#AlgorithmiqueEtProgrammation>

Horaires et salles à vérifier en septembre sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Validation : devoirs à la maison, projet avec soutenance, un partiel et un examen

Bibliographie et page du cours : <http://www.di.ens.fr/algoL3/>

---

**Code: INFO-L3-STAGE-S2**

## Stage de L3 entre juin et août

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : stage, exposé.

Volume horaire : Environ 2 mois

Le normalien en L3 d'informatique doit effectuer un stage d'initiation à la recherche en informatique de 2 mois environ, entre début juin et fin août, dans un laboratoire (universitaire ou industriel) prioritairement en province, pour valider 12 ECTS pour la licence (L3). Un rapport de stage doit être remis fin août et une soutenance effectuée début septembre.

Les propositions de stages de L3 en 2016 :

<http://www.di.ens.fr/%7Ebouillar/Stages2016/>

Informations mises à jour sur : <http://diplome.di.ens.fr/#StageL3>

---

**Code INFO-L3-SAA-S1**

## Structures et Algorithmes Aléatoires

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : environ 35h de cours et 28h de TD

Objectif : Ce cours vise à donner aux étudiants les bases de probabilités qui sont utilisées dans divers domaines de l'informatique (algorithmique, algorithmes stochastiques, réseaux de communication,...)

Plan : ce cours est divisé en deux parties :

Probabilités discrètes et applications

- Variables aléatoires, indépendance, conditionnement
- Méthode probabiliste
- Graphes aléatoires

Modèles markoviens

- Chaînes de Markov, comportement asymptotique
- Simulation Monte Carlo et simulation parfaite
- Champs de Gibbs

Pour chaque thème abordé, des exemples d'application dans divers domaines de l'informatique seront présentés.

Descriptif de ce cours sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Structures et Algorithmes Aleatoires](http://diplome.di.ens.fr/#Structures_et_Algorithmes_Aleatoires)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~bouillar/SAA/index.html>

---

**Code: INFO-L3-SYSDIG-S1**

## Système digital : de l'algorithme au circuit

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : NACCACHE David

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, projet

Volume horaire : 48h cours/TD, 24h projet

Le cours théorique présente la composante matérielle du monde informatique. Des principes de conception et de réalisation des circuits, à diverses applications du calcul numérique haute performance : en physique, électronique, algèbre et télécommunication. Chaque application va de l'algorithme (logiciel) au circuit (matériel) : mêmes opérations, autres performances.

La partie pratique du cours est un projet, à réaliser par groupes : chaque groupe doit entièrement concevoir un microprocesseur, et le réaliser au moyen de portes logiques élémentaires ; il faut ensuite simuler les portes en fonctionnement, et programmer le microprocesseur pour en faire une montre numérique, simulée en temps-réel.

Descriptif détaillé du cours : [http://diplome.di.ens.fr/#Systeme digital](http://diplome.di.ens.fr/#Systeme_digital)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Validation : Projet + examens

---

**Code: INFO-L3-SYSRES-S2**

## Systèmes et réseaux

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h cours/TD, 24h projet

Le cours présente les concepts fondamentaux des systèmes d'exploitation, leur utilisation et leur mise en œuvre dans le système Unix. La première partie étudie le cas d'Unix: organisation de la mémoire, systèmes de fichiers, gestion des processus lourds et léger ("threads"), signaux,

communication entre processus, interruption, ordonnancement preemptif, pipes, sockets. La seconde partie étudie les problèmes classiques: interblocage et famine entre processus, courses critiques, prise en compte des temps de calcul, etc. Le cours aborde la modélisation de ces questions et comment les techniques de vérification formelle automatiques permettent de définir des implémentations prouvées correctes.

Un projet de programmation est présenté en début du cours. Il est réalisé en groupe (typiquement en binome) et donne lieu à une soutenance. Une feuille de TD est distribuée à chaque cours. L'évaluation est réalisée sur la base d'un devoir sur table (2h) et de la note du projet.

Descriptif du cours : [http://diplome.di.ens.fr/#Systemes\\_et\\_reseaux](http://diplome.di.ens.fr/#Systemes_et_reseaux)

Cours le jeudi après-midi à ENS à compter de février.

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~pouzet/cours/systeme/>

---

**Code: INFO-M1-THEOIC-S2**

## Théorie de l'information et codage

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : environ 60h cours/TD

Ce cours présente la théorie de l'information et du codage dans un cadre discret.

On s'intéresse à la quantité d'information contenue dans un message et aux moyens de transmettre ce message à travers un canal bruité.

On s'intéresse donc à la fois aux méthodes de compression des données et aux méthodes de détection et de correction d'erreurs.

I - Compression des données : taux de compression et entropie ;algorithme de Huffman, Ziv-Lempel et optimalité

II - Canal de transmission : capacité d'un canal, théorème de Shannon

III - Codes correcteurs d'erreurs : codes linéaires, codes cycliques, code de Hamming, codes BCH.

Descriptif du cours : [http://diplome.di.ens.fr/#TheorieInformation\\_et\\_codage](http://diplome.di.ens.fr/#TheorieInformation_et_codage)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code: INFO-L3-MIIMC-S2**

## Traitement du signal

Niveau : L3

Semestre: S2, ECTS : 9

Responsable: MALLAT Stephane

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD.

Volume horaire : Environ 48h cours/TD

Ce cours présente le traitement du signal digital en lien avec les outils d'analyse harmonique, de probabilité et de statistique, sur lequel il repose.

On verra des applications et algorithmes pour le traitement des sons et de l'image.

Les sujets suivants seront couverts:

- Intégrale de Fourier et transformée de Fourier discrète.
- Filtrage et théorèmes d'échantillonnage

- Analyse temps-fréquence et traitement des sons.
  - Modélisation par processus stationnaires et débruitage par filtrage de Wiener.
  - Approximations non-linéaires et parcimonieuses par ondelettes pour le débruitage.
  - Théorie de l'information, entropie et codage.
  - Compression de sons et d'images dans des bases orthonormales.
- Chaque séance de cours sera suivie par un TD ou quelques TP sur ordinateur.

Descriptif du cours : <http://diplome.di.ens.fr/#TraitementSignal>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~mallat/>

---

**Code: INFO-L3-SEMVP-S2**

## Sémantique et application à la vérification de programmes

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : RIVAL Xavier

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h

Dans ces cours, nous étudierons les techniques permettant de raisonner sur les programmes, afin de vérifier des propriétés de correction.

Nous nous intéresserons tout d'abord aux fondements de la sémantique des langages de programmations, et à la notion de preuve de programmes à l'aide de triplets "à la Hoare".

Ensuite, nous formaliserons les différents types de propriétés intéressantes (sûreté, vivacité, sécurité).

Enfin, nous aborderons plusieurs approches permettant de vérifier des programmes de manière automatique (analyse statique par interprétation abstraite, vérification de modèles de systèmes finis, résolution modulo théorie): l'inférence des étapes de la preuve est alors confiée à un autre programme informatique.

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#SemantiqueVerification>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code-L3-LAPROCO-S1**

## Langages de programmation et compilation

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : FILLIATRE Jean-Christophe

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, projet

Volume horaire : 50h cours / TD et 24h projet

Ce cours présente les principaux concepts des langages de programmation au travers de l'étude de leur compilation, c'est-à-dire de leur traduction vers le langage machine. Les TDs ont pour objectif de programmer certaines des notions vues en cours. L'évaluation comprend un projet consistant en la réalisation d'un petit compilateur.

Descriptif détaillé du cours sur :

[http://diplome.di.ens.fr/index.html#Langages\\_de\\_programmation\\_et\\_compilation](http://diplome.di.ens.fr/index.html#Langages_de_programmation_et_compilation)

Évaluation : examen + projet

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie : voir sur <https://www.lri.fr/~filliatr/ens/compil/>

---

**Code: INFO-L3-LOGIN-S2**

## Logique informatique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : GOUBAULT-LARRECQ Jean

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 40h cours/TD

Ce cours explore les bases du lambda-calcul, un outil inventé par le logicien Alonzo Church dans les années 1930 et qui est aujourd'hui fondamental tant en sémantique des langages de programmation (informatique) qu'en théorie de la preuve (logique).

Lambda-calcul pur, (non-)terminaison, confluence, standardisation

Lambda-calcul typé, correspondances de Curry-Howard pour diverses logiques, classiques ou intuitionnistes, allant de la logique propositionnelle minimale (types simples) à l'arithmétique du second ordre (système F)

Machines, lambda-calculs à substitutions explicites, et propriétés mathématiques d'iceux

Descriptif du cours sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Logique\\_et\\_informatique](http://diplome.di.ens.fr/#Logique_et_informatique)

Remarques :

Cours de l'ENS Cachan ayant lieu à l'ENS Cachan mais proposé aux élèves/étudiants de Ulm.

Horaires et salles à vérifier en janvier sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://www.lsv.ens-cachan.fr/~goubault/Lambda/loginfoindex.html>

---

**Code: INFO-L3-LAFORMCC-S1**

## Langages formels, calculabilité et complexité

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : VERGNAUD Damien

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 48h cours/TD, 24h projet/mémoire

1: Langages réguliers, leurs propriétés et leur caractérisation par automates, expressions régulières, formules logiques, monoïdes. Langages sans étoile.

Premières notions sur les langages de mots infinis.

2: Grammaires et hiérarchie de Chomski. Langages hors contexte, leurs propriétés, leur caractérisation par automates à pile

3: Calculabilité (fonctions récursives et Machines de Turing). Problèmes décidables, indécidables, semi-décidables.

4: Complexité en temps et espaces. Bornes de complexité. Classes de complexité (NP, Pspace) et problèmes complets.

Descriptif du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#LangagesFormels>

Évaluation : examen écrit et oral.

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

---

**Code: INFO-L3-DB-S2**

## Bases de données

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : SENELLART Pierre

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h cours/TD

Ce cours présente une introduction aux bases de données en insistant plus particulièrement sur le modèle relationnel et avec des ouvertures sur le Web. Les sujets couverts incluent : les langages de requêtes, les structures d'accès, l'optimisation de requêtes, la gestion de transaction, les bases de données distribuées. Les TDs seront orientés bases de données pour applis Web.

Descriptif du cours sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Bases de donnees](http://diplome.di.ens.fr/#Bases_de_donnees)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code: INFO-L3-MIIME-S2**

## Exposé L3 des cursus info-maths et maths-info

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : BOUILLARD Anne

Type d'enseignement : exposé

Volume horaire :

Cet exposé est proposé aux élèves d'informatique et aux élèves de mathématiques qui suivent la filière info-maths de 1ère année.

C'est un travail bibliographique, encadré par un chercheur, et se terminant par la rédaction d'un mémoire et une soutenance. Le sujet de cet exposé-mémoire est lié au sujet de stage d'informatique de L3.

L'élève choisit un sujet d'exposé en début de 2e semestre.

Il rencontre, plusieurs fois dans le semestre, l'encadrant de son exposé qui suit l'avancement de son travail.

Les propositions de stages de L3 et de sujets de mémoire maths-info en 2015 :

<http://www.di.ens.fr/~bouillar/Stages2016/>

Consignes pour les stages et les Exposés/mémoires du cursus maths-informatique :

<http://www.di.ens.fr/~bouillar/Stages/>

---

**Code: INFO-M1-APPREN-S1**

## Apprentissage Statistique

Niveau : M1

Semestre : 1, ECTS : 9

Responsable : BACH Francis

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h

L'apprentissage statistique est une discipline en plein essor à l'interface de l'informatique et des mathématiques appliquées (probabilités / statistiques, optimisation, etc.) et qui joue aujourd'hui un rôle majeur en matière d'innovation technologique.

A la différence d'un cours de statistique traditionnel, l'apprentissage statistique se préoccupe particulièrement de l'analyse de données de grande dimension ainsi que de l'efficacité des algorithmes pour traiter d'importants volumes de données telles que rencontrées dans des domaines d'applications divers tels l'analyse d'image et du son, le traitement automatique du langage, la bioinformatique ou la finance.

L'objectif du cours est de présenter les théories et algorithmes majeurs de l'apprentissage statistique. Les méthodes abordées reposeront en particulier sur des arguments d'analyse convexe.

Descriptif détaillé du cours sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Apprentissage\\_statistique](http://diplome.di.ens.fr/#Apprentissage_statistique)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code: INFO-M1-MODRES-S1**

## Modèles et Algorithmes des Réseaux Sociaux

Niveau : M1

Semestre : 1, ECTS : 9

Responsable : BUSIC Ana

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h

Ce cours constitue une introduction aux techniques mathématiques et algorithmiques nécessaires à la modélisation et à l'étude des réseaux. Les problématiques étudiées seront principalement celles des réseaux de communications, des réseaux sociaux et des réseaux d'énergie.

L'objectif du cours est d'étudier des problématiques spécifiques aux réseaux de grande taille. En particulier, nous allons nous intéresser à l'émergence d'une coordination globale à travers des actions locales, fondées sur une vision partielle et locale du système. Nous allons étudier des problèmes suivants : partage de ressources dans un réseau, émergence d'opinion et la coordination distribuée, propagation d'informations et d'influences, distribution de contenus.

Quelques exemples des applications concrètes abordées : Pourquoi l'Internet ne s'écroule pas sous la congestion ? Est-il équitable que mon voisin a un meilleur débit que moi ? Comment marchent les moteurs de recherche ? Peut-on améliorer son influence sur les réseaux sociaux ? Peut-on avoir une énergie renouvelable et fiable ?

Nous allons utiliser principalement l'optimisation convexe, l'algorithmique distribuée, les algorithmes et modèles probabilistes.

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#ModelesAlgorithmesReseaux>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~busic/mar/>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code: INFO-M1-MPRI113-S2**

## Initiation à la cryptologie

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : POINTCHEVAL David

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h cours/TD

Ce cours sert à la fois d'initiation à la cryptologie et de préparation au cours de niveau 2. Il s'adresse aux étudiants ayant un goût pour l'algorithmique, à la fois dans ses aspects mathématiques et dans ses aspects pratiques. Le but de ce cours est d'enseigner la problématique de la cryptologie, et les principaux outils utilisés par la cryptologie pour proposer des solutions aux problèmes de sécurité.

- Introduction à la cryptographie
- Cryptographie symétrique.
- Compléments d'algorithmique.
- Cryptographie asymétrique.
- Protocoles.
- Applications.

Descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-13>

Cours le lundi après-midi au 2e semestre.

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-13>

---

**Code: INFO-M1-VISA-S1**

## Introduction à la vision artificielle

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : PONCE Jean

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h cours/TD

Ce cours présente les principes et les fondations techniques de la vision artificielle, un domaine scientifique dont le but est de doter les ordinateurs de la capacité d'interpréter le contenu des images numériques (photographies et vidéos).

Le cours comprend des exercices de programmation en Matlab/Scilab.

Descriptif détaillé du cours sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Introduction\\_vision\\_artificielle](http://diplome.di.ens.fr/#Introduction_vision_artificielle)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie :

D.A. Forsyth et J. Ponce, "Computer Vision: A Modern Approach", Prentice-Hall, 2002.

---

**Code: INFO-M1-MPRI123-S2**

## L'informatique scientifique par la pratique

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : NACCACHE David

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, rédaction d'article

Volume horaire : Environ 24h cours, 48h projet/mémoire

Le cours d'Informatique scientifique par la pratique permet aux élèves de s'initier à la rédaction d'un article en s'attaquant à un véritable problème de recherche.

Le travail s'effectue en appliquant des techniques mathématiques et informatiques vues lors de divers cours de l'ENS et en explorant et en apprenant de nouveaux outils, autant que nécessaire.

Les étudiants se voient exposer au début du cours plusieurs défis mathématiques et informatiques et forment des groupes.

Chaque défi est analysé par le groupe (sous la supervision de l'enseignant et ses doctorants) et des solutions théoriques lui sont proposées et débattues.

Les solutions sont ensuite analysées et programmées. Les résultats sont structurés (en anglais) sous la forme d'un article de « professionnel » qui peut être soumis à une conférence, à un comité de lecture (ou même à un journal).

40% des articles préparés dans le cadre du cours sont effectivement parus (après avoir été sélectionnés par des comités de lecture) à des conférences internationales.

Les publications ont souvent été cosignées avec des chercheurs expérimentés qui ont intégré les modèles, la théorie ou les programmes des élèves dans des travaux de recherche globaux (à ce jour, ces chercheurs appartiennent à Telecom ParisTech, Ecole des mines de Saint Etienne, Samsung Research, Altis Semiconductor, Université de Bucarest, Ingenico, Technische Universität Darmstadt, University of Bristol, Morpho, ETS Montréal, Université Paris 8 etc).

Voir emplois du temps sur : <http://diplome.di.ens.fr/>

Descriptif du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#InformatiqueScientifiquePratique>

---

**Code: INFO-M1-MPRI117-S1**

## Complexité avancée

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : GOUBAULT-LARRECQ Jean

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 48h cours/TD

La théorie de la complexité va bien au-delà de celle de la NP-complétude. Le but de ce cours est d'aller regarder un certain nombre d'autres constructions fondamentales de la théorie de la complexité: complexité en espace, notions de machines alternantes, ou randomisées. On y verra quelques théorèmes fascinants: l'équivalence du temps alternant et de l'espace déterministe par exemple, ou le théorème  $IP=PSPACE$  de Shamir.

Descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-17>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Ce cours a lieu à ENS Cachan.

Bibliographie sur <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-17>

---

**Code: INFO-M1-OPTCOCO-S1**

## Optimisation Combinatoire et Convexe

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : D'ASPREMONT Alexandre

Autres enseignants : LI Zhentao

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 60h

Ce cours est une introduction aux problèmes et concepts en optimisation combinatoire et convexe. Le but est d'apprendre à reconnaître, transformer et résoudre ces problèmes d'optimisation.

Nous regarderons de manière plus approfondie les notions de théorie des graphes, de programmation linéaire et de flots vus dans le cours Algorithmique et Programmation.

Une partie du cours traitera de l'analyse convexe, de la dualité et de la théorie des couplages et ses applications. L'autre moitié se porte sur les algorithmes, notamment les algorithmes de premier ordre et les méthodes de point intérieur, du simplexe et de l'ellipsoïde.

Plusieurs applications illustreront les techniques vus dans ce cours.

Evaluation : Projet avec soutenance et examen écrit

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#Optimisation>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://diplome.di.ens.fr/#Optimisation>

---

**Code: INFO-M1-MPRI119-S1**

## Planification de mouvement en robotique et en animation graphique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : LAUMOND Jean-Paul

Autres enseignants : MANSARD Nicolas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 30h cours/15hTD

La planification de mouvement s'intéresse au calcul automatique de chemins sans collision pour un système mécanique (robot mobile, bras manipulateur, personnage animé...) évoluant dans un environnement encombré d'obstacles. Les méthodes consistent à explorer l'espace des configurations du système : une configuration regroupe l'ensemble des paramètres permettant de localiser le système dans son environnement. Aux obstacles de l'environnement correspondent des domaines à éviter dans l'espace des configurations. La planification de mouvement pour le système mécanique se trouve ainsi ramenée au problème de la planification de mouvement d'un point dans une variété non simplement connexe.

Descriptif détaillé du cours sur :

[http://diplome.di.ens.fr/#Planification de mouvement en robotique](http://diplome.di.ens.fr/#Planification_de_mouvement_en_robotique)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : [http://diplome.di.ens.fr/#Planification de mouvement en robotique](http://diplome.di.ens.fr/#Planification_de_mouvement_en_robotique)

---

**Code: INFO-M1-MPRI120-S1**

## Catégories, lambda-calculs

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : MELLIES Paul-André

Type d'enseignement : Cours et TD

Volume horaire : Environ 36h cours/24hTD

Ce cours s'intéresse à la syntaxe et à la sémantique des langages de programmation, à partir du lambda-calcul. On rappellera les principaux théorèmes syntaxiques du lambda-calcul:

confluence, standardisation, résultats de terminaison. Puis on étudiera les modèles du lambda-calcul : pour ce faire, le langage de la théorie des catégories sera utilisé.

Plus généralement, les catégories servent à interpréter bien des extensions du lambda-calcul (avec références, exceptions, etc.), ainsi qu'à comprendre et structurer des notions de concurrence (notamment la notion de bisimulation). Le cours fournit une introduction assez générale et complète au formalisme catégorique, et l'applique à la sémantique des langages de programmation.

Interpréter un langage dans un modèle s'apparente à une compilation, et les modèles offrent ainsi des occasions de retour sur la syntaxe : machines abstraites pour l'exécution des programmes, preuves de propriétés de programmes. Dans le même ordre d'idées, ce sont des observations sur un modèle du lambda-calcul qui ont conduit Girard à la logique linéaire, munie de connecteurs exprimant un contrôle sur l'usage des hypothèses vues comme ressources, ou bien plus récemment Thomas Ehrhard au lambda-calcul différentiel, qui relie de manière originale substitution et... formule de Taylor.

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#CategoriesLambdaCalculs>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://diplome.di.ens.fr/#CategoriesLambdaCalculs>

et sur : <http://www.pps.univ-paris-diderot.fr/~mellies/mpri-ens.html>

---

**Code: INFO-M1-PROGPARA-S1**

## Programmation parallèle et réactive

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : COHEN Albert

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 60h

### Descriptif

Le calcul parallèle s'est progressivement imposé dans la quête de performance, touchant désormais tous les domaines de l'informatique et de ses applications. D'autre part, les systèmes réactifs, également appelés cyberphysiques, s'étendent du contrôle embarqués aux interfaces graphiques et réseaux de capteurs. Ce nouveau cours choisit de placer la correction et la modularité comme objectifs prioritaires d'une introduction à la programmation parallèle et concurrente.

La première partie du cours explore les principales formes de parallélisme, en mettant en avant les constructions déterministes, leur expression dans les langages de programmation, les compromis entre abstraction et efficacité, en mémoire partagée ou distribuée. Nous utiliserons le langage Rust, et le cours comportera deux ouvertures sur le traitement de masses de données distribuées et sur l'accélération sur GPU.

Dans une deuxième partie, nous étudierons le parallélisme coopératif et synchrone dans les systèmes réactifs, leur implémentation distribuée, les liens avec la programmation par événements, et la compilation du parallélisme pour concilier modularité, performances et sûreté de fonctionnement. Nous utiliserons le langage ReactiveML, et le cours ouvrira sur la vérification formelle de programmes parallèles et réactifs.

Nouveau cours de M1 en 2016-2017

Descriptif détaillé du cours sur <http://diplome.di.ens.fr/#ProgramParalleleReactive>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

---

**Code: INFO-M1-STAGEE-S2**

## Stage long M1 étranger pays non francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants

Type d'enseignement : stage, exposé

Volume horaire : 5 mois environ

Le normalien en M1 d'informatique doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ dans un laboratoire à l'étranger pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

Le normalien est aidé dans sa recherche de stage par son tuteur, le responsable des stages de M1 et le directeur des études d'informatique. Une réunion de préparation des stages de M1 a lieu courant octobre pour que tous les stages soient trouvés fin décembre.

Le sujet, le descriptif et le lieu de chaque stage doit être approuvé par le directeur des études d'informatique.

Stage de 5 mois environ entre février et fin août.

---

**Code: INFO-M1-STAGEFF-S2**

## Stage long M1 pays francophone pour étudiant francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants :

Type d'enseignement : stage, exposé.

Volume horaire : 5 mois environ

Le normalien en M1 d'informatique doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ dans un laboratoire à l'étranger pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

Stage de 5 mois environ entre février et fin août.

Dans les cas où un normalien ne peut pas faire ce stage à l'étranger (pour des raisons de santé, etc.), il devra suivre un cours de langue vivante étrangère pour respecter l'article de l'arrêté du 25 avril 2002 relatif au diplôme national de master

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000771847&dateTexte=&categorieLien=id>

qui stipule que "Le diplôme de master ne peut être délivré qu'après validation de l'aptitude à maîtriser au moins une langue vivante étrangère. Les parcours types de formation comprennent des enseignements permettant aux étudiants d'acquérir cette aptitude. "

---

**Code: INFO-M1-STAGEFE-S2**

## Stage long M1 pays francophone pour étudiant non francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : POUZET Marc

Type d'enseignement : stage, exposé  
Volume horaire : 5 mois environ

Le normalien en M1 d'informatique doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ dans un laboratoire à l'étranger pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

Stage de 5 mois environ entre février et fin août

Ce stage long de M1 peut être effectué en France pour les normaliens étrangers non francophones et comptera 30 ECTS.

---

**Code: INFO-M2-MPRI200-S2**

## Stage de recherche M2 du MPRI

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : SENELLART Pierre (pour les étudiants de l'ENS Paris)

Type d'enseignement : stage, exposé

Volume horaire : 4 mois et demi environ

Le 2e semestre du M2 du MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) est consacré à un stage de recherche dans un laboratoire français ou étranger.

Le sujet, le descriptif et le lieu du stage de chaque étudiant doit être validé par le correspondant MPRI de l'établissement de rattachement de l'étudiant.

Pour valider ce stage, l'étudiant doit remettre un rapport de stage d'une vingtaine de page vers la fin août et effectuer une soutenance d'environ 30 minutes début septembre devant un jury composé des responsables et/ou d'enseignants du MPRI.

Plus de renseignements sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=stages>

---

**Code: INFO-M2-MPRI21-S1**

## Logique linéaire et paradigmes logiques du calcul

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : DI COSMO Roberto

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.1

Une analyse fine des calculs de séquents classiques et intuitionnistes permet de concevoir des logiques plus adaptées aux problèmes de l'informatique et de développer, grâce à la correspondance de Curry-Howard des formalismes intermédiaires entre le  $\lambda$ -calcul et les vrais langages de programmation.

Ce cours a pour but de donner une vision d'ensemble des motivations et des applications d'une de ces logiques, la Logique Linéaire, qui permet une analyse plus fine des processus de démonstration et de calcul, et d'introduire les notions de base des calculs intermédiaires les plus connus. On montrera dans le cours comment ces deux approches se rejoignent, à travers des interprétations calculatoires adaptées.

Ce cours dédie une attention toute particulière aux aspects syntaxiques et calculatoires des formalismes logiques.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI22-S1**

## Modèles des langages de programmation : domaines, catégories, jeux

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : MELLIES Paul-André

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.2

La filière introduira aux méthodes développées par la sémantique dénotationnelle pour décrire mathématiquement les langages de programmation fonctionnels, organisés autour d'un noyau de lambda-calcul. Le cours traitera des deux piliers du sujet: domaines de Scott et sémantique des jeux, et soulignera les points de convergence avec la théorie de la démonstration et la théorie des catégories.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI231-S1**

## Concurrence

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : HAUCOURT Emmanuel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.3.1

Starting from a fragment of the toy language introduced by E. W. Dijkstra, we explain how directed algebraic topology can be applied to the study of concurrency.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-3>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-3>

---

**Code: INFO-M2-MPRI232-S1**

## Fondements de la confidentialité des données

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : PALAMIDESSI Catuscia

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.3.2

The course aims at presenting modern approaches to privacy protection, in a wide range of applications such as anonymous communication systems, statistical databases, location based systems, information flow analysis in software, etc. We will put a particular emphasis on the foundational and formal aspects, proposing rigorous definitions of privacy properties, and providing analyses and proofs of correctness of the methods to achieve them. In accordance with the modern tendency, we will adopt a quantitative point of view, and reason in terms of degree of leakage, risk of privacy violation, etc. (rather than presence / absence of leakage, risk, etc.). In general, this will amount to take into account the probabilistic dimension, and formalize the protection of sensitive information in terms of bounds on the probabilistic knowledge of the adversary, and on the probability of success of its attacks.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-3-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-3-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI24-S1**

## Programmation fonctionnelle et systèmes de types

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : REMY Didier

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.04

This course presents the principles and formalisms that underlie many of today's typed functional programming languages. In the first part, we present some transformations of functional programs that are used in programming or in the compilation of functional programs, in particular into abstract machine code; we show that the operational semantics of programs is preserved by these transformations; in some cases, well-typedness is also preserved.

The second part of the course presents the basis of type systems. We study various type systems, all of which aim to guarantee, before a program is executed, that it is safe (i.e., it runs without crashing). Besides the definition of these type systems, we study how this guarantee is obtained (type soundness proof); how one can verify programs with type decorations (type checking) or automatically determine whether a program without any type annotations is well-typed (type inference). We also show how types may ensure abstraction.

In the third part, we study more advanced type-related techniques that enable to express finer invariants of data structures and programs, such as generalized algebraic datatypes (GADT) or contracts.

The fourth part introduces mechanized formalization of programming languages using proof assistants such as Coq or Isabelle.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-4-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-4-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI26-S1**

## Interprétation abstraite: application à la vérification et à l'analyse statique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : MINÉ Antoine

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.6

L'interprétation abstraite est une théorie générale de l'approximation des sémantiques de systèmes dynamiques. Une application importante est la vérification de programmes par construction d'analyses statiques répondant à des questions concernant leur comportement à l'exécution. Ces analyses terminent toujours, sont automatiques (sans interaction avec l'utilisateur), approchées (afin de contourner les problèmes d'indécidabilité et pour assurer l'efficacité) et sûres (par sur-approximation de l'ensemble des comportements).

L'objectif du cours est de présenter la théorie de l'interprétation abstraite ainsi que les instances importantes d'analyses statiques par interprétation abstraite.

À l'issue du cours, l'élève devrait être capable de concevoir une analyse statique, de prouver sa correction et sa terminaison, d'apprécier sa précision et ses limites. Il devrait également être capable de comprendre les articles publiés dans les conférences spécialisées du domaine (telles que SAS et VMCAI) et d'y déceler les abstractions à l'œuvre.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-6>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-6>

---

**Code: INFO-M2-MPRI271-S1**

## Fondements des systèmes de preuves

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : DOWEK Gilles

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.7.1

This course focuses on the notion of proof in mathematics and in informatics. It presents several logical theories, including type theories used in several proof systems such as Coq, Agda, HOL, Isabelle, PVS. It focuses more closely on the articulation between the notion of reasoning and the notion of computation.

This course is a prerequisite to the course Assistants de preuve : principes et application à la preuve de programmes.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-7-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-7-1>

---

---

**Code: INFO-M2-MPRI272-S1**

## Assistants de preuves

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : BARRAS Bruno

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.7.2

L'objectif principal de ce cours est de développer la maîtrise de l'assistant à la preuve Coq, ainsi que les connaissances théoriques indispensables à la bonne compréhension et au bon emploi du formalisme implanté. Cette partie théorique donnera un aperçu de la problématique de la recherche en Théorie des Types.

Le point essentiel, qui fait la particularité de Coq, est la notion générale de type inductif, qui est un ingrédient quasiment indispensable dans la plupart des modélisations, que ce soit dans le cas de structures algébriques abstraites ou de structures de données concrètes.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-7-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-7-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI281-S1**

## Théorie non-séquentielle des systèmes distribués

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : BOLLIG Benedikt

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.8.1

The lecture shall cover basic automata-theoretic concepts and logical formalisms for the modeling and verification of concurrent and distributed systems. Many of these concepts naturally extend the classical automata and logics over words, which provide a framework for modeling sequential systems. A distributed system, on the other hand, combines several (finite or recursive) processes, and will therefore be modeled as a collection of (finite or pushdown, respectively) automata. A crucial parameter of a distributed system is the kind of interaction that is allowed between processes. In this lecture, we focus on two standard communication paradigms: message passing and shared memory. In general, communication in a distributed system creates complex dependencies between events, which are hidden when using a sequential, operational semantics.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-8-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-8-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI282-S1**

## Fondements des systèmes temps-réel et hybrides

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ASARIN Eugène

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.8.2

Recent technological innovations have caused a considerable interest in the study of dynamical processes of a heterogeneous continuous and discrete nature, denoted as hybrid systems. The peculiarity of hybrid systems is the interaction between continuous-time dynamics (governed by differential or difference equations), and discrete dynamics and logic rules (described by temporal logic, finite state machines, if-then-else conditions, discrete events, etc.). Hybrid systems switch among many operating modes, where each mode is governed by its own characteristic dynamical laws. Mode transitions are triggered by variables crossing specific thresholds (state events), by the elapse of certain time periods (time events), or by external inputs (input events). In the theory of hybrid systems, several problems are investigated, such as: definition and computation of trajectories, stability and safety analysis, control, state estimation, etc. Tools like reachability analysis are becoming a standard in analysis of hybrid systems. Reachability analysis aims at detecting if a hybrid model will eventually reach an unsafe state configuration or satisfy a temporal logic formula. Controlling a model means choosing the input such that the output tracks some desired reference or satisfies some temporal logic formula. The problem of state estimation amounts to compute the value of unmeasurable state variables based on the measurements of output variables. Several Modelling frameworks for hybrid systems have appeared in the literature. Each class is usually tailored to solve a particular problem. Timed automata and switched affine systems have proved to be a successful modeling framework. The starting point for both models is a finite state machine equipped with continuous dynamics.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-8-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-8-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI291-S1**

## Fondements mathématiques de la théorie des systèmes infinis

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FINKEL Alain

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.9.1

Well-quasi-orderings, or WQOs, now have a prominent role in several areas of computer science, including the automatic verification of software and more generally infinite-state systems, where they occur under the guise of so-called well-structured systems. But WQOs also occur in logic and rewriting, and now famously in graph theory and algorithms where Robertson and Seymour's graph minor theorem is sometimes said to be the deepest result in the field.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-9-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-9-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI292-S1**

## Vérification algorithmique des programmes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : BOUAJJANI Ahmed

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.9.2

La vérification automatique de programmes est un domaine de recherche important et très actif. Il pose de nombreux défis scientifiques aussi bien sur le plan théorique que sur le plan pratique. Le but de ce cours est de présenter l'approche algorithmique pour la vérification de programmes, utilisant des techniques d'analyse basées sur les automates, la logique (procédures de décisions), le calcul et la représentation d'espaces (potentiellement infinis) d'accessibles, la synthèse d'invariants, l'abstraction, et des sous-approximations efficaces pour la détection de bugs. Le cours couvrent le cas de plusieurs classes importantes de programmes: programmes séquentiels procéduraux, programmes concurrents, programmes manipulant des données et structures de données complexes.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-9-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-9-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI210-S1**

## Aspects algorithmiques de la combinatoire

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : SCHAEFFER Gilles

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.10

Il s'agit d'un cours qui présente quelques objets et outils classiques ou actuels de la combinatoire, avec un fort accent mis sur la combinatoire énumérative et bijective, ses aspects algorithmiques et ses liens avec la physique statistique.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-10>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-10>

---

---

**Code: INFO-M2-MPRI2111-S1**

## Algorithmes probabilistes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : SCHABANEL Nicolas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.11.1

This lecture explore actual trends in algorithms (and complexity). We will first focus on classic technique mainly based on randomness to obtain approximate solutions to NP-hard problems with proven guarantee. Second, we will explore how algorithms (randomized algorithms and structures) can help understanding better how nature works.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-11-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-11-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2112-S1**

## Complexité randomisée (court)

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : KERENIDIS Iordanis

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.11.2

The goal of the course is to describe some of the major recent advances in modern complexity theory. Description of probabilistic and interactive complexity classes; a novel theory of derandomization and pseudorandomness via computational assumptions; communication complexity and its applications.

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-11-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2121-S1**

## Techniques en Cryptographie et Cryptanalyse

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ABDALLA Michel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.12.1

The main objective of the course is to introduce students to cryptographic schemes built using the \*provable-security\* paradigm. Throughout the course, various schemes (such as authentication, identification, signature, encryption, identity-based encryption, etc.) will be presented whose security is based on presumed-to-be-hard mathematical problems such as factoring, discrete log, subset sum, learning parity with noise, and lattice problems. At the end of

the course, students should have the necessary tools to perform research in academic-level cryptography.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-12-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-12-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2122-S1**

## Algorithmes arithmétiques pour la cryptologie

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : MORAIN François

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.12.2

L'objectif du cours est de présenter aux étudiants les concepts et les outils de la cryptologie moderne à clefs publiques, dont les briques de bases mathématiques se trouvent dans les corps finis, et, de plus en plus, dans les courbes algébriques (elliptiques ou hyperelliptiques). Le cours se propose de présenter la théorie algorithmique des nombres, alliance de la théorie des nombres classique et de la théorie de la complexité, avec pour objectifs les applications à la cryptologie.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-12-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-12-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2131-S1**

## Systèmes polynomiaux, calcul formel et applications

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FAUGERE Jean-Charles

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.13.1

Les systèmes polynomiaux interviennent dans de nombreux domaines des sciences de l'ingénieur ou de l'informatique, notamment en cryptologie, robotique, théorie du signal, et géométrie algorithmique. Le calcul formel est la manipulation par l'ordinateur des expressions mathématiques. Les algorithmes algébriques du Calcul Formel constituent un outil privilégié pour la résolution exacte et certifiée des systèmes polynomiaux (la non-linéarité de ces derniers rendant délicates les approches purement numériques). Le but de ce cours est de donner les algorithmes efficaces de résolution de ces systèmes ainsi que de décrire une application phare de ces méthodes en cryptologie. Le cours s'articule autour de deux axes. Le premier traite du calcul de base de Gröbner et constitue le cœur de la résolution algébrique utilisé dans la suite. Dans cette partie du cours nous décrivons les algorithmes les plus efficaces pour le Calcul des bases Grobner (algorithmes F4 et F5) et nous donnons des résultats de complexité de Groebner qui seront utilisés pour les applications en cryptologie. Le second axe étudie comment la

résolution des systèmes polynomiaux (dans les corps finis) permet d'évaluer et/ou concevoir certains cryptosystèmes, la modélisation et la structure des systèmes polynomiaux jouent ici un rôle crucial.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-13-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-13-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2132-S1**

## Codes correcteurs d'erreurs et applications à la cryptographie

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : CANTEAUT Anne

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.13.2

The aim of this course is to present common issues essential to the theory of error correcting codes and to cryptology (symmetric cryptography and public-key cryptosystems), with algorithmic and computational aspects.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-13-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-13-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2141-S1**

## Analyse géométrique des données

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : BOISSONNAT Jean-Daniel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.14.1

This course is an introduction to the emerging field of Geometric and Topological Data Analysis. Fundamental questions to be addressed are : how can we represent complex shapes in high-dimensional spaces? how can we infer properties of shapes from samples? how can we handle noisy data? how can we walk around the curse of dimensionality?

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-14-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-14-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI215-S1**

## Analyse d'algorithmes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : NICAUD Cyril

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.15 La première partie de ce cours vise à mettre en place les bases de l'étude des modèles combinatoires quantitatifs de l'analyse d'algorithmes. Ceci met en jeu la théorie générale de la combinatoire analytique, où interviennent des méthodes de combinatoire énumérative (par fonctions génératrices) conjuguées à des méthodes d'analyse asymptotique. Cette approche permet l'évaluation des principaux algorithmes et structures de données de l'informatique. Le cours est étayé de nombreux exemples. La seconde partie est dédiée à l'étude de divers types d'applications (différentes selon les années), particulièrement en liaison avec les structures arborescentes, l'algorithmique probabiliste, la recherche multidimensionnelle, et les graphes aléatoires.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-15>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-15>

---

**Code: INFO-M2-MPRI216-S1**

## Modélisation par automates finis

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : COLCOMBET Thomas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.16

Les automates finis sont l'un des modèles les plus simples de machines qui calculent, le premier dans toute hiérarchie de machines de Turing plus ou moins contraintes. Cette simplicité en fait un objet robuste, susceptible de nombreuses définitions équivalentes relevant de la théorie de la complexité, de l'algèbre non-commutative et de la logique.

La théorie classique des automates finis traite d'automates qui acceptent, ou n'acceptent pas, des mots. L'objectif de ce cours est de montrer comment introduire des notions sortant de ce cadre, et comment se servir de ces extensions dans différents contextes. Ainsi, nous verrons des machines à état fini permettant de calculer différentes sortes de fonctions ou des relations. Nous verrons également comment ce type d'outils sert dans l'analyse de structures infinies.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-16>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-16>

---

---

**Code: INFO-M2-MPRI2171-S1**

## Fondements sur la modélisation des réseaux

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : MAIRESSE Jean

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.17.1

Le but de ce cours est double :

proposer des modèles mathématiques pertinents pour les réseaux de communications;  
donner les bases théoriques permettant de mener à bien l'analyse de la dynamique de ces modèles.

Le cours est structuré en thèmes, pouvant être plus ou moins développés suivant les années :

Réseaux de files d'attente et modélisation markovienne (réseaux à commutation de paquets, réseaux à commutation de circuits);

Optimisation et théorie des jeux pour les réseaux (programmation dynamique, jeux de routage, etc.);

Dynamique des systèmes à événements discrets temporisés (semi-anneau max plus, inf convolutions, fonctions topicales, réseaux de Petri temporisés, modèles d'empilements de pièces, etc.);

Contrôle de flux dans les réseaux de communication (TCP, contrôle de flux et de congestion, régulation, network calculus, ordonnancement etc.);

Graphes aléatoires (à la Erdos-Renyi), modèles de géométrie aléatoire (modèles de couverture, percolation) en relation avec la modélisation des réseaux de communication radio.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-17-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-17-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2181-S1**

## Algorithmique distribuée pour les réseaux

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FRAIGNAUD Pierre

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.18.1

Distributed Computing is dedicated to the design and analysis of algorithms for a set of autonomous computing entities whose objective is the realization of a common task.

The general framework of distributed computing is related to very many application domains, including of course networking (e.g., Internet, P2P systems, social networks, wireless networks, mobile networks, etc.), multi-processors (e.g., multicore architectures, computational grids, etc.). In fact, distributed computing also finds various kinds of application outside the technological

frameworks, including in particular the study of different distributed systems as they appear in physics or in biology.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-18-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-18-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2182-S1**

## Algorithmique distribuée avec mémoire partagée

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : DELPORTE Carole

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.18.2

Distributed computing concerns designing and understanding algorithms for sets of independent computing units that have to communicate to coordinate their activities. The problem space of distributed computing is vast and it would be impossible to undertake an exhaustive study within a single course. Even a small-scale distributed system may expose an amazingly complex behavior that would make it very challenging to formally reason about. But we have to meet the challenge! Due to inherent limitations of centralized computing, all computing systems nowadays is becoming distributed, ranging from Internet-scale services to multiprocessors. Therefore, understanding the principles of distribution and concurrency is indispensable in all aspects of designing and engineering modern computing systems. The main challenge here is to balance correctness of the system's executions with its availability and efficiency, in the presence of possible misbehavior of the system components and the environment (such as faults and asynchrony).

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-18-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-18-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI219-S1**

## Méthodes informatiques pour la biologie systémique et synthétique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : FAGES François

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.19

Computational Methods for Systems and Synthetic Biology

Over the past decade, formal methods from Theoretical Computer Science have been successfully applied in Life Sciences to decipher biological processes, mostly at the molecular and cellular levels. This course aims at presenting these methods and establishing formal paradigms in cell biology. It is based on the vision of cells as computation and on the use of

concepts and tools from Computer Science to master the complexity of cell processes. Unlike most programs, biochemical computation involves state transitions that are stochastic rather than deterministic, continuous-time rather than discrete-time, poorly localized in compartments instead of well-structured in modules, and created by evolution instead of by rational design. The course will address fundamental research issues in Computer Science about the interplay between structure and dynamics in large interaction networks, and on the mixing of continuous (analog) and discrete (digital) computation.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-19>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-19>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2201-S1**

## Techniques de théorie des jeux en informatique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ZIELONKA Wiesław

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.20.1

Suite à la publication en 1944 de l'ouvrage "Theory of Games and Economic Behavior" par John von Neumann et Oskar Morgenstern, et aux travaux conséquents de John Nash au début des années 1950, la théorie des jeux a été utilisée principalement comme un modèle pour les interactions économiques et sociales.

Cependant, depuis le début des années 1980, la théorie des jeux occupe une place de plus en plus importante en informatique et l'objectif de ce cours est de présenter divers modèles de jeux ainsi que des applications de cette théorie dans plusieurs domaines de l'informatique.

Une partie centrale de ce cours portera sur des jeux infinis sur des graphes finis ou infinis. Cette théorie possède des applications pour la théorie des automates (automates d'arbre), la vérification de programme (mu-calcul ou autres logiques).

Ce cours proposera également une étude approfondie de plusieurs classes de jeux (et de leurs combinaisons): jeux stochastiques, jeux muni de fonction de paiement, jeux à information imparfaite.

La théorie classique des jeux sera également abordée en donnant les grands principes des jeux sous forme normale (et des notions d'équilibre) ainsi qu'une introduction au mechanism design.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-20-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-20-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2202-S1**

## Fondations mathématiques de la théorie des automates

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : PIN Jean-Eric

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.20.2

Ce cours s'adresse à des étudiants possédant une grande curiosité, car il fait appel simultanément à plusieurs domaines des mathématiques (combinatoire, algèbre, logique, topologie, etc.), mais sous un angle parfois très éloigné des mathématiques "classiques".

Introduits vers 1950, les automates finis constituent le modèle le plus élémentaire de machine. Ils sont utilisés dans diverses branches de l'informatique (et plus récemment des mathématiques): compilation, traitement de texte, modélisation et vérification des systèmes, calculs distribués, traitement des langues naturelles, compression de données, codage, etc.

Ce cours se propose de donner les bases mathématiques de la théorie des automates dans les domaines suivants:

-nouveaux concepts mathématiques (parties rationnelles et reconnaissables, monoïdes syntactiques ordonnés, etc.)

-algèbre non-commutative (monoïdes, semi-anneaux, théorie des variétés)

-logique (premier ordre, second ordre monadique)

-théorie équationnelle et topologies profinies

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-20-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-20-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI222-S1**

## Algorithmes efficaces en calcul formel

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : SALVY Bruno

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.22

Le calcul formel (computer algebra ou symbolic computation en anglais) consiste à représenter et manipuler sur ordinateur des objets mathématiques de manière exacte, par opposition au calcul scientifique traditionnel. Les contreparties de telles représentations sont souvent des temps de calculs importants et une explosion de la taille mémoire nécessaire lorsque l'on utilise des algorithmes naïfs. Dans ce cours, nous présentons les algorithmes de base du calcul formel sur les polynômes, séries et matrices qui permettent d'atteindre dans de nombreux cas des bornes de complexité quasi-optimales. Ces algorithmes sont très largement utilisés en pratique dans des logiciels de calcul formel mais aussi dans plusieurs autres domaines algorithmiques modernes reposant sur des techniques algébriques, telles que la cryptographie, cryptanalyse multivariée, et les codes correcteurs d'erreurs.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-22>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :  
<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-22>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2231-S1**

## Systemes synchrones

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : POUZET Marc

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 30h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.23.1

Les langages synchrones ont été inventés pour programmer les systèmes réactifs embarqués à la fois très complexes et très sûrs. Ils ont connu un succès industriel important dans la programmation de systèmes critiques: avions, trains, automobiles, centrales électriques, etc. Le système de commande de vol des Airbus, par exemple, est développé avec l'outil SCADE issu du langage synchrone Lustre.

Ces langages ont évolué sans cesse depuis pour traiter des applications et domaines nouveaux: calcul vidéo intensif (TVHD); grandes simulations (réseaux électriques, réseaux de capteurs); systèmes mixtes continu/discrets (environnement physique, interface analogique/discret en électronique).

Ils sont fondés sur un modèle original dit du [parallélisme synchrone](#) qui combine parallélisme et déterminisme. Le programme est décrit dans un langage parallèle de haut niveau mais pour lequel le compilateur garantit des propriétés de sûreté fortes: sémantique déterministe, absence de blocage (deadlock), génération de code séquentiel s'exécutant en temps et mémoire bornés, etc. En somme, les langages synchrones permettent de programmer dans un formalisme de haut niveau, le code final embarqué étant produit directement par le compilateur.

Le cours donne une introduction au modèle synchrone et aux principaux langages qui en sont issus. Il présente leurs fondements sémantiques et logiques, les techniques de compilation vers du logiciel et des circuits, leur vérification formelle (par model-checking) et certains travaux de recherche récents. Nous montrerons dans ce cours les liens étroits entre la théorie des langages synchrones et la théorie des langages fonctionnels typés.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-23-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-23-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2241-S1**

## Optimisation

Niveau : M2

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: ANGELOPOULOS Spyros

Type d'enseignement : (cours /TD)

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.24.1

The goal of this course is to present the main techniques used in optimization. We assume that the students are familiar with basic notions of graph theory, complexity theory, and classical algorithmic techniques.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-24-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-24-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2242-S1**

## Résolution de problèmes d'optimisation avec heuristiques de recherche

Niveau : M2

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: DOERR Carola

Type d'enseignement : (cours /TD)

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.24.2

The course starts with a summary of solution techniques and problems that the students might have seen in their studies, for example local search algorithms for facility location. Then we introduce formally a few different popular heuristic approaches, such as random sampling, local search, simulated annealing, genetic algorithms. Theoretical background from both deterministic and randomized algorithm analysis will be introduced. Students will see how to apply them to show lower bounds and upper bounds on the performance of the different heuristics. Finally, we give an illustrative example, highlighting how to use insights from this course to design new efficient problem solvers.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-24-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-24-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2261-S1**

## Logique, complexité descriptive et théorie des bases de données

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : SEGOUFIN Luc

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.26.1

Ce cours peut-être vu sous trois angles différents. Le premier est de le voir comme une introduction à la théorie des bases de données, et plus particulièrement à l'étude des langages de requêtes pour les bases de données. On donne les bases de ce qu'est l'étude de la complexité d'un langage de requêtes. On donne aussi les outils élémentaires permettant l'étude du pouvoir d'expression d'un langage de requêtes. Le deuxième est de le voir comme une introduction à la théorie de la complexité descriptive. On montre que la difficulté nécessaire à énoncer une

propriété est intimement liée aux ressources nécessaires pour la calculer. On montre que les problèmes ouverts de séparation des classes de complexité peuvent se formuler sans aucune référence à un modèle de calcul (comme les machines de Turing par exemple). Le troisième est de le voir comme une introduction à la théorie des modèles finis. On présente des concepts comme la localité, les lois 0-1 ou les Jeux de Ehrenfeucht-Fraïssé. Bien sur l'objectif du cours est de montrer que tout cela correspond en fait à une seule et même histoire liant la logique, la complexité et les langages de requêtes de façon élégante.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-26-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2262-S1**

## Gestion de données sur le web

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ABITEBOUL Serge

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.26.2

Le but de ce cours est d'étudier la structure de l'information du Web et d'expliquer comment cette information peut être facilement représentée, décrite et interrogée. Il s'agit de comprendre les arcanes de la modélisation de données sur le Web et, plus fondamentalement, de la gestion de données dans des environnements massivement distribués et hétérogènes. L'accent sera mis sur le lien entre d'une part modèles, langages, algorithmes utilisés en pratique pour la gestion de données sur le Web, et d'autre part les aspects formels (logique, automates, algèbre linéaire, etc.) correspondants. On trouvera sur le site Web qui accompagne ce cours le PDF du livre de référence, des transparents, des exercices, et de la documentation sur les logiciels qui soutiennent les exercices pratiques et des projets.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-26-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-26-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2271-S1**

## Structures informatiques et logiques pour la modélisation linguistique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : SCHMITZ Sylvain

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.27.1

Computational linguistics employs mathematical models to represent morphological, syntactic, and semantic structures in natural languages. The course introduces several such models while insisting on their underlying logical structure and algorithmics. Quite often these models will be

related to mathematical objects studied in other MPRI courses, for which this course provides an original set of applications and problems.

The course is not a substitute for a full cursus in computational linguistics; it rather aims at providing students with a rigorous formal background in the spirit of MPRI. Most of the emphasis is put on the symbolic treatment of words, sentences, and discourse. Several fields within computational linguistics are not covered, prominently speech processing and pragmatics. Machine learning techniques are only very sparsely treated; for instance we focus on the mathematical objects obtained through statistical and corpus-based methods and their use rather than on automated learning techniques (which could be the subject of an artificial intelligence course).

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-27-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-27-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2291-S1**

## Algorithmique des graphes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : HABIB Michel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.29.1

Ces dernières années plusieurs applications basées sur les graphes ont bouleversé notre environnement : Google avec son algorithme de graphe PageRank, Facebook avec son réseau social à base de graphe. Par ailleurs les modèles basés sur les graphes sont classiquement utilisés en recherche dans de nombreux domaines, tels que la chimie, la biologie, les réseaux de télécommunications ou encore les réseaux sociaux. Bien évidemment, les graphes constituent un des outils de modélisation les plus importants et les plus utilisés en informatique.

Cependant malgré la simplicité apparente de leur définition, les graphes capturent une large part de la complexité algorithmique. Ainsi, les classes de complexité telles P, NP et bien d'autres peuvent se définir comme l'ensemble des problèmes de graphes exprimables dans un certain fragment de la logique. Il est donc très important de comprendre en profondeur les différentes structures de graphes afin d'utiliser des modélisations pertinentes, c'est-à-dire des modélisations pour lesquelles les algorithmes de résolution sont efficaces.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-29-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-29-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2292-S1**

## Fouille de graphes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : SOZIO Mauro

Type d'enseignement : cours /TD  
Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.29.2

Graphs provide a powerful abstraction for representing a wide variety of real-world information, such as social networks, knowledge and information networks, biological networks, etc. The main objective of the course is to present the models and algorithms for discovering structures in large graphs, while covering the main theoretical and practical aspects of graph mining. In particular, algorithms with theoretical guarantees as well as algorithms that are proven to work well in practice will be discussed.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-29-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-29-2>

---

**Code: INFO-M2-MPRI230-S1**

## Protocoles cryptographique: preuves formelles et calculatoires

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : BLANCHET Bruno

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.30

Les protocoles cryptographiques sont des programmes distribués qui visent à sécuriser des communications et transactions en utilisant des primitives cryptographiques. La conception des protocoles cryptographiques est difficile: de nombreuses erreurs ont été découvertes dans des protocoles après leur publication. Il est donc particulièrement important de pouvoir obtenir des preuves que ces protocoles sont sûrs.

Deux modèles des protocoles ont été considérés: le modèle symbolique et le modèle calculatoire. Nous présenterons ces deux modèles, les techniques de preuves associées, et des résultats qui font le lien entre eux. Nous considérerons aussi leur mise en œuvre, en montrant un outil de preuve automatique pour chaque modèle, et en les appliquant à la vérification de programmes qui implémentent des protocoles cryptographiques.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-30>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-30>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2331-S1**

## Théorie des calculs

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : BOURNEZ Olivier

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.33.1

A course presenting a set of computability and complexity results, with different methods and tools, about a same theme: computations over the reals or over the continuum.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-33-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-33-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2341-S1**

## Informatique quantique et applications

Niveau : M2

Semestre : S1, ETCS: 3

Responsable : LAPLANTE Sophie

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.34.1

Each year computing machines become faster and faster, but they use still use at their base the same Newtonian physics. Feynman in 1982 already asked about the necessity of this restriction to classical physics. The idea behind quantum computation is to use quantum phenomena to solve tasks that conventional machines cannot achieve.

Historically the first result that showed the superiority of the quantum model was in cryptography. Bennett and Brassard in 1984 gave a first quantum protocol for perfectly secure key distribution. Such an unconditional security does not exist in the classical world.

At present many important concepts of theoretical computer science have been extended to quantum computation, from communication to algorithms and error correcting codes.

The aim of this course is to present the bases of several concepts about quantum computation.

The emphasis will be on quantum algorithms and communication. We will describe the basics of Quantum Computation and its applications in algorithms, communication complexity and nonlocality.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-34-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-34-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2361-S1**

## Preuve de programmes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : MARCHE Claude

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.36.1

Introduction to the various concepts and formalisms towards the proof that a program respects a given formal specification.

Basics of deductive program verification  
More advanced topics in program verification  
Handling of data structures  
Aliasing issues  
Separation Logic  
Representation predicates

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-36-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-36-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2371-S1**

## Sémantique, langages et algorithmes pour la programmation multicore

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : COHEN Albert

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.37.1

In the recent years multicore and multiprocessors systems have become ubiquitous. However, despite 40 years of research on concurrency and programming languages, programming and reasoning about concurrent systems remains very challenging. Both hardware and high-level programming languages incorporate many performance optimisations: these are typically unobservable by single-threaded programs, but, as illustrated by the examples above, some have observable consequences for the behaviour of concurrent code.

The aim of this module is to introduce some of the theory and the practice of concurrent programming, from hardware memory models and the design of high-level programming languages to the correctness of concurrent algorithms.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-37-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-37-1>

---

**Code: INFO-M2-MPRI2381-S1**

## Algorithmique et combinatoire des graphes géométriques

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : COLIN DE VERDIERE Eric

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.38.1

Algorithms and combinatorics for graphs are a major theme in computer science. In this course, we study various aspects of this theme in the case of graphs arising in geometric settings. Examples include planar graphs (of course), graphs drawn without crossings on topological surfaces, and graphs of polytopes and other combinatorial structures. The course is therefore at the frontier of graph algorithms, combinatorics, and computational geometry.

Voir le descriptif détaillé du cours sur sa page sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-38-1>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-38-1>

---

**Code: INFO-M2-MVA1-S1**

## Méthodes mathématiques pour les neurosciences

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 5

Responsable : VELTZ Romain

Autres enseignants : TANRE Etienne

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 32h cours/TD

Cours M2 MVA (Mathématiques / Vision / Apprentissage), de ENS Cachan, enseigné à Ulm.

Nous présentons dans ce cours quelques outils mathématiques qui interviennent de manière systématique dans de nombreux problèmes de modélisation en neurosciences. Les prérequis sont une bonne connaissance du calcul différentiel et du calcul des probabilités dans le cadre de la théorie de la mesure. Sans trahir la rigueur mathématique, le cours s'efforcera de mettre en valeur l'applicabilité aux neurosciences des concepts présentés. Le cours sera complété par des séances d'exercices.

Descriptif détaillé du cours sur :

<http://diplome.di.ens.fr/#MethodesMathematiquesNeurosciences>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Voir la page du Master MVA :

<http://www.math.ens-cachan.fr/version-francaise/formations/master-mva/>

Bibliographie sur : <http://diplome.di.ens.fr/#MethodesMathematiquesNeurosciences>

---

**Code: INFO-M2-MVA2-S1**

## Reconnaissance d'objets et vision artificielle

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 5

Responsable : LAPTEV Ivan

Autres enseignants : SIVIC Josef, PONCE Jean, SCHMID Cordelia

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 32h cours/TD

Cours M2 MVA (Mathématiques / Vision / Apprentissage), de ENS Cachan, enseigné à Ulm.

La reconnaissance automatique des objets --et de manière plus générale, l'interprétation de la scène figurant dans une photographie ou une vidéo est le plus grand défi de la vision artificielle.

Ce cours présente les modèles d'images, d'objets, et de scènes, ainsi que les méthodes et algorithmes utilisés aujourd'hui pour affronter ce défi.

Plan du cours :

- Caractéristiques visuelles : points d'intérêt, régions affines, invariants, descripteurs Sift.
- Détection d'objets et de classes spécifiques : alignement 2D et 3D, méthodes de votes, détection de visages et Adaboost.
- Classification d'images : sacs de caractéristiques visuelles et machines à vecteurs de support, grilles et pyramides, réseaux convolutionnels.
- Détection de catégories d'objets : constellations de caractéristiques visuelles, assemblages de fragments, méthodes de fenêtre glissantes, apprentissage faiblement supervisé de modèles.
- Aller plus loin : analyse de scène, analyse des activités dans les vidéos.

Descriptif du cours sur :

<http://diplome.di.ens.fr/#ReconnaissanceObjetsVisionArtificielle>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Voir la page du Master MVA :

<http://www.math.ens-cachan.fr/version-francaise/formations/master-mva/>

Bibliographie :

<http://www.math.ens-cachan.fr/version-francaise/formations/master-mva/contenus-/object-recognition-and-computer-vision-221990.kjsp?RH=1242430202531>

---

**Code: INFO-M2-MVA3-S1**

## Représentations parcimonieuses par ondelettes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 5

Responsable : MALLAT Stéphane

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : Environ 32h cours/TD

Cours M2 MVA (Mathématiques / Vision / Apprentissage), de ENS Cachan, enseigné à Ulm.

Objective of the course:

The course introduces sparse wavelet representation techniques, for compression, noise removal and for audio and image classification.

Topics:

Fourier transform, linear approximations and sampling theorems

Time-frequency representations

Wavelet orthogonal bases

Adaptive and non-linear wavelet approximations

Information theory for image and audio compression

Linear and non-linear noise removal

Linear classifiers and curse of dimensionality

Invariants for classification

Deep Neural Networks

Image and audio signal recognition

Descriptif du cours sur :

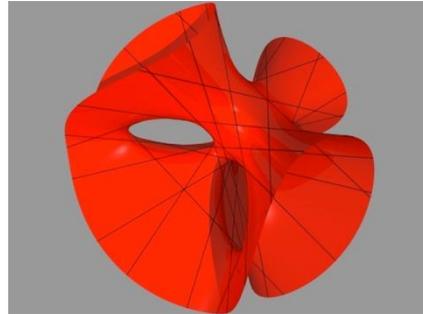
<http://diplome.di.ens.fr/#wavelet>

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie: <http://diplome.di.ens.fr/#wavelet>

# Département des Mathématiques et Applications DMA

Site Web: <http://www.math.ens.fr/>  
Adresse: 45 rue d'Ulm, 75005 Paris



Le Département de mathématiques et applications de l'École normale supérieure propose une formation interuniversitaire de haut niveau scientifique dans un cadre favorable aux interactions transdisciplinaires.

En association avec les universités Pierre et Marie Curie, Paris Diderot, Paris Dauphine, Paris Sud 11, Paris 13 Nord, elle comprend la validation de deux diplômes nationaux : la licence et le master. Elle permet aussi la validation d'un diplôme d'établissement : le diplôme de l'École normale supérieure ès Mathématiques.

**| Directeur de l'enseignement des mathématiques: Olivier Biquard**

**| Directeur des études des mathématiques : Raphaël Cerf**

**| Secrétariat de l'enseignement : Albane Trémeau**

45 rue d'Ulm 75230 Paris cedex 05 |  
Tél : 01 44 32 31 72 | Fax : 01 44 32 20 80 |

Page d'accueil : <http://www.math.ens.fr/enseignement/>

Mél : [albane.tremeau@ens.fr](mailto:albane.tremeau@ens.fr) | [education@math.ens.fr](mailto:education@math.ens.fr) |

# LES ENSEIGNEMENTS

---

**Code : DMA-L3-A01-S1**

## **Algèbre I**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Ariane Mézard

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

### 1) Groupes

Morphismes. Groupe quotient. Structure des groupes abéliens de type fini. Présentation par générateurs et relations. Structure des groupes. Groupe linéaire.

### 2) Action de groupes

Groupes opérant sur un ensemble. Théorèmes de Sylow. Groupe symétrique. Groupe linéaire projectif.

### 3) Représentations des groupes finis

Représentations irréductibles, Lemme de Schur, décomposition en somme de représentations irréductibles. Tenseurs. Caractères des représentations. Tables de caractères complexes. Représentations induites. Représentations du groupe symétriques.

### 4) Groupes classiques

Formes sesquilinéaires. Orthogonalité. Théorème de Witt. Groupe Symplectique. Groupe unitaire. Groupe orthogonal. Groupes simples.

Cours : Le lundi de 10h15 à 11h45 et le mercredi de 8h30 à 10h.

---

**Code : DMA-L3-A02-S1**

## **Intégration et probabilités de base**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Raphaël Cerf

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

Nous présenterons tout d'abord la théorie de l'intégration construite à l'aide de la théorie de la mesure. Nous introduirons les concepts de base et nous démontrerons les théorèmes classiques d'intégration.

Nous présenterons ensuite le cadre moderne de la théorie des probabilités. Nous introduirons les objets et outils fondamentaux pour construire les modèles probabilistes et nous démontrerons les théorèmes limites classiques de la théorie des variables indépendantes.

Cours : Le lundi de 13h à 14h30 et le mardi de 8h30 à 10h.

---

**Code: DMA-L3-A04-S1**

## **Topologie et calcul différentiel**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Laurent Charles

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

1/ Topologie générale et espaces métriques :

Espaces métriques et espaces topologiques.

Complétude, compacité, connexité.

Théorèmes d'Ascoli, de Stone-Weierstrass.

2/ Espaces de Banach :

Théorèmes de Banach-Steinhaus, de l'application ouverte, du graphe fermé.

Théorème de Hahn-Banach.

Espaces de Hilbert, projection sur un convexe fermé.

3/ Calcul différentiel :

Différentielle de Fréchet, différentielles d'ordre supérieur, formules de Taylor.

Formes normales d'applications différentielles, théorème d'inversion locale, théorème des fonctions implicites.

4) Équations différentielles ordinaires :

Existence et unicité des solutions, régularité du flot, Lemme de Gronwall et estimations.

Cours : Le lundi de 14h45 à 16h15 et le mercredi de 13h15 à 14h45.

---

**Code : DMA-M1-B05-S1**

## **Logique**

Niveau : M1 accessible dès la 1<sup>ère</sup> année

Semestre: S1, ECTS : 12

Responsable: Todor Tsankov

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

Ce cours est accessible aux élèves de première année. Il couvre les bases de la théorie des ensembles, de la théorie des modèles et de la calculabilité.

1) Théorie des ensembles

Ordinaux et récurrence transfinie

Cardinaux et arithmétique

Les axiomes de ZF et les différentes formes de l'axiome du choix

L'hypothèse du continu pour les fermés de  $\mathbb{R}$

2) Théorie des modèles

Langages, structures, formules, théories, modèles

Théorèmes de complétude et de compacité

Théorèmes de Löwenheim--Skolem

Élimination des quantificateurs  
Ultrafiltres et ultraproducts  
3) Récursivité, indécidabilité, incomplétude  
Fonctions récursives  
Arithmétique de Peano, indécidabilité de l'arithmétique  
Théorèmes d'incomplétude de Gödel.

Cours : Le lundi de 8h30 à 10h et le mardi de 10h15 à 11h45.

---

**Code: DMA-L3-A05-S2**

## Analyse complexe

Niveau : L3 ou M1

Semestre: S2, ECTS: 12

Responsable: Julien Barral

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

I. Fonctions holomorphes: (1) Définitions, exemples, équations de Cauchy-Riemann; (2) Caractère holomorphe des sommes de séries entières (3) Opérations; (4) Déterminations holomorphe du logarithme.

II. Théorème de Cauchy-Goursat dans un domaine étoilé, formule de Cauchy et applications: (1) Problème des primitives, intégrale curviligne, théorème de Cauchy-Goursat; (2) Premières conséquences de la formule de Cauchy; (3) Exemples d'utilisations de primitives; (4) Intégrales dépendant d'un paramètre complexe et problème de Dirichlet (5) Limites uniformes de fonctions holomorphes; (6) Une application de l'analyse complexe en analyse fonctionnelle: le théorème de Hausdorff-Young.

III. Singularités isolées. Première forme de la formule des résidus et applications. Séries et produits infinis de fonctions méromorphes: (1) Développement en série de Laurent et singularités isolées; (2) Formule des résidus pour un compact à bord  $C^1$  par morceaux et applications; (3) Séries de fonctions méromorphes; (4) Produits infinis de fonctions méromorphes; (5) Théorème de factorisation d'Hadamard.

IV. Le théorème des nombres premiers: (1) Quelques repères historiques; (2) Propriétés basiques de la fonction  $\zeta$  de Riemann; (3) Preuve du théorème modulo un lemme d'analyse; (4) Preuve du lemme.

V. Formule de Cauchy homologique, ouverts simplement connexes et théorème de représentation conforme: (1) Indice d'un lacet par rapport à un point; (2) Formules de Cauchy et des résidus homologiques. (3) Caractérisation des ouverts homologiquement triviaux. Ouverts simplement connexes et théorème de représentation conforme.

Bibliographie:

Y. Katznelson: An introduction to harmonic analysis. Cambridge Mathematical Library, 3rd edition, 2002.

S. Land: Complex Analysis. Springer, 1985.

W. Rudin: Analyse réelle et complexe. Dunod, 1998.

Stein & Shakarchi: Complex analysis. Princeton Lectures in Analysis II. Princeton University Press, 2002.

Cours : Le lundi de 8h30 à 10h00 et le mardi 14h à 15h30.

---

---

**Code: DMA-M1-D02-S2**

## **Modélisation mathématique et numérique**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Bertrand Maury

Volume horaire : 35h cours / 28h TD

Ce cours propose une introduction à la modélisation mathématique. Il s'agit plus précisément de pratiquer des concepts et résultats a priori abstraits en situation, pour mieux appréhender des phénomènes réels.

En termes d'applications, nous nous intéresserons en particulier à la modélisation de mouvements (individuels et collectifs) d'entités (passives ou actives): particules dans un fluide, trafic routier, mouvements de foules, de cellules (par reptation ou nage), chimiotactisme ...

Cette démarche nous amènera à visiter (ou revisiter) un certain nombre d'objets et outils mathématiques :

- équations différentielles ordinaires (existence et unicité de solutions, stabilité, comportement asymptotique),
- équations aux dérivées partielles, en particulier de transport et de diffusion (existence et unicité de solutions, régularité, propriétés qualitatives des solutions, valeurs propres d'opérateurs, décomposition spectrale),
- optimisation sous contrainte (formulation duale, multiplicateurs de Lagrange)
- une partie significative du cours sera aussi dédiée à des développements plus récents en transport optimal de mesures (formulation originale de Monge, et reformulation de Kantorovich, notion de flot gradient dans l'espace de Wasserstein).

Les cours théoriques seront complétés par des séances sur ordinateur (langage Python), qui nous permettront d'effectuer la résolution effective (et approchée) de certains des problèmes abordés. Cette partie numérique portera notamment sur les méthodologies suivantes:

- méthodes numériques de résolution des EDO,
- résolution de (grands) systèmes linéaires, calcul de valeurs propres
- méthodes de résolution des équations aux dérivées partielles (différences finies, éléments finis)
- méthodes numériques en optimisation sous contraintes.

Au delà de ces différents ingrédients, ce cours se veut formation à la démarche de modélisation elle-même, qui consiste, à partir d'une réalité observée, à induire des problèmes de nature mathématiques qui encodent une partie des phénomènes sous-jacents, à développer des outils abstraits pour étudier ces modèles, ainsi que des stratégies numériques permettant de « tester » l'adéquation des modèles à la réalité observée.

Cours : Le lundi de 13h00 à 17h15.

---

**Code: DMA-L3-D04-S2**

## **Dynamique et Modélisation**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsables : Claude Viterbo / Emmanuel Dormy

Volume horaire : 52h cours

Les problèmes simples de mécanique, impliquant peu de degrés de liberté, peuvent généralement être modélisés à l'aide de systèmes couplés d'équations différentielles ordinaires. Bien que simples, ces systèmes mènent à une dynamique particulièrement riche et à des situations parfois imprédictibles ; c'est le chaos déterministe.

De manière plus surprenante, la dynamique des systèmes complexes (comme les écoulements atmosphériques ou océaniques, la circulation des courants électriques dans les planètes et les étoiles, et bien d'autres encore) peut également être décrite en termes de systèmes dynamiques. Ce cours introductif se concentrera sur les aspects mathématiques de ces modèles dynamiques, les problèmes physiques qui les motivent et les difficultés introduites par la construction de solutions numériques approchées.

Cours : Le vendredi de 14h00 à 18h00.

---

**Code: DMA-M1-D03cours-S2 / DMA-M1-D03GT-S2**

## **Combinatoire géométrique et algébrique**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6 (cours) + 6 (groupe de travail)

Responsable : Omid Amini

Volume horaire : 18h cours

Ce cours donne une introduction aux aspects géométriques des objets combinatoires, en mettant l'accent sur les interactions entre la combinatoire et la topologie et la géométrie algébriques.

Les thèmes abordés dans le cours et le groupe de travail qui suivra couvrent :

- Introduction à la théorie de graphes et hypergraphes
- Matroïdes et leur universalité mathématique
- Théorie de Morse discrète
- Géométrie algébrique des objets combinatoires
- Géométrie différentielle des espaces affines par morceaux
- Théorie de Hodge combinatoire
- Applications

Les prérequis sont des notions de bases en algèbre et en géométrie différentielle. Il est recommandé de suivre le cours de topologie algébrique en parallèle.

Cours : Le vendredi de 14h à 17h.

---

**Code: DMA-M1-D07cours-S2 / DMA-M1-D07GT-S2**

## **Géométrie Lorentzienne et EDP hyperboliques**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6 (cours) + 6 (groupe de travail)

Responsable : Jacques Smulevici

Volume horaire : 18h cours

Le but du cours est d'introduire suffisamment d'éléments d'analyse et de géométrie pour pouvoir appréhender l'étude des équations de la relativité générale: les équations d'Einstein. Ces équations fondamentales font l'objet d'une intense activité de recherche, que ce soit en

mathématique, en physique théorique, ou même en physique expérimentale avec la récente détection des ondes gravitationnelles. L'étude de ces équations nécessite un mélange d'analyse et de géométrie. Comme application des outils introduits dans le cours, nous verrons comment formuler le problème d'évolution pour les équations d'Einstein et en particulier, nous expliquerons le caractère hyperbolique de ces équations.

Les thèmes abordés dans le cours et les groupes de travail qui suivront couvrent:

1. Éléments de géométrie Riemannienne et Lorentzienne.
2. Introduction à l'analyse sur les variétés
3. Analyse géométrique de l'équation des ondes
4. Relativité restreinte et générale pour mathématiciens.
5. Introduction aux équations d'Einstein.
6. La géométrie des trous noirs.
7. Le problème de Cauchy en relativité générale.
8. Analyse des équations d'onde non-linéaires.
9. La géométrie des équations cinétiques.
10. Le théorème d'incomplétude géodésique de Penrose.

Prérequis: Notions de bases en théorie des équations aux dérivées partielles et en géométrie différentielle (notions de variétés, sous-variétés, espace-tangent)

Cours : Le mercredi de 15h à 16h30 et le vendredi de 11h30 à 13h.

---

**Code: DMA-M1-D08cours-S2 / DMA-M1-D08GT-S2**

## **Mouvement Brownien, intégrale stochastique, chemins rugueux**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6 (cours) + 6 (groupe de travail)

Responsable : Michel Bauer

Volume horaire : 18h cours

Même si les mathématiciens de l'antiquité avaient développé des idées remarquablement modernes pour calculer longueurs, surfaces et volumes, la première construction rigoureuse de l'intégrale, due à Bernhard Riemann, date du milieu du XIX siècle. Sa définition de  $\int_a^b f(x) dx$  tient en quelques lignes, et il caractérise complètement la classe des fonctions  $f$  pour lesquelles l'intégrale existe. Depuis cette date, motivés par des considérations abstraites mais aussi par des questions pratiques, les mathématiciens n'ont pas cessé de rechercher des généralisations de la notion d'intégrale. Même en restant dans le cadre d'une variable, donner un sens à  $\int_a^b f dg$  pour des classes de plus en plus vastes d'intégrandes  $f$  et d'intégrateurs  $g$  reste d'actualité.

Pour citer la direction la plus connue, la théorie de la mesure a permis de traiter dans un cadre général le cas où  $f$  est mesurable et  $g$  est à variation bornée (i.e. la différence de deux fonctions croissantes) ; c'est la théorie de Lebesgue-Stieltjes.

Traiter des intégrandes et des intégrateurs aléatoires est un autre développement qui a conduit au calcul stochastique. Dans ce cadre les intégrateurs sont souvent à variation non-bornée, une autre extension qui a motivé des travaux jusqu'à nos jours. Le cours proposé est une introduction à ces aspects, illustrée à chaque étape par l'exemple du mouvement Brownien. Nous définirons l'intégrale d'Itô, dont le cadre est probabiliste, donnerons ses propriétés élémentaires et quelques applications. Nous construirons aussi, dans le cadre déterministe, l'intégrale de Young et montrerons comment elle échoue, mais de peu, à traiter le cas Brownien. Nous traiterons enfin sa récente et fructueuse généralisation au cas des intégrales de chemins rugueux.

La littérature sur le calcul stochastique est immense. Nous recommandons [Øks03] et [Kuo06] dont les chapitres pertinents pour ce cours sont d'un niveau adapté. Parmi les livres plus avancés, on peut citer [RY05] ou [KS00] par exemple. La littérature sur les chemins rugueux est bien moins étendue. Nous recommandons [FH14] dont les chapitres pertinents pour ce cours sont très lisibles. À un niveau plus avancé, on pourra consulter [FV10].

#### Références

- [FH14] Peter K. Friz and Martin Hairer, *A Course on Rough Paths*, Universitext, Springer, 2014.  
[FV10] Peter K. Friz and Nicolas B. Victoir, *Multidimensional stochastic processes as rough paths*, Cambridge Studies in Advanced Mathematics, Cambridge University Press, 2010.  
[KS00] Ioannis Karatsas and Steven E. Shreve, *Brownian Motion and Stochastic Calculus*, Graduate Texts in Mathematics, no. 113, Springer, 2000.  
[Kuo06] Hui-Hsiung Kuo, *Introduction to stochastic integration*, 1 ed., Universitext, Springer, 2006.  
[Øks03] Bernt Øksendal, *Stochastic Differential Equations : An Introduction with Applications*, 6 ed., Universitext, Springer, 2003.  
[RY05] Daniel Revuz and Marc Yor, *Continuous Martingales and Brownian Motion*, 3 ed., Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, vol. 293, Springer, 2005.

Cours : Le lundi de 8h30 à 10h00 et le jeudi de 8h30 à 10h.

---

**Code: DMA-M1-B01-S1**

## Algèbre II

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Jean-François Dat

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

Ce cours a pour but de fournir les bases d'algèbre commutative nécessaires à tout étudiant désirant poursuivre en théorie algébrique des nombres ou en géométrie algébrique. Nous aborderons donc les notions suivantes :

- Principaux exemples d'anneaux commutatifs : anneaux de polynômes, de séries formelles, anneaux d'entiers algébriques.
- Divisibilité, factorisation et idéaux dans les anneaux commutatifs. Applications arithmétiques.
- Opérations sur les anneaux commutatifs et leurs modules : localisation, produit tensoriel. Interprétation géométrique.
- Structure des modules sur un anneau principal. Application à la réduction des endomorphismes.
- Extensions de corps. Théorie de Galois. Application à la résolubilité d'équations polynomiales. Selon le temps, on introduira un peu de langage des catégories, très pratique pour formuler des "propriétés universelles" et définir des objets "canoniques", voire un peu d'algèbre homologique.

Cours : Le lundi de 15h30 à 17h et le mercredi de 10h45 à 12h15.

---

**Code: DMA-M1-B02-S2**

## **Analyse fonctionnelle**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Isabelle Gallagher

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

### I Compléments de topologie

- Espaces de Baire
- Opérateurs linéaires et théorème de Banach-Steinhaus
- Théorèmes de l'application ouverte et du graphe fermé.

### II. Dualité, distributions

- Théorème de Hahn-Banach
- Dualité et topologies faibles
- Distributions

### III. Analyse de Fourier, espaces de Sobolev

- Rappels sur les séries de Fourier et définition de la transformée de Fourier continue
- Espaces de Sobolev, injections compactes

### IV. Quelques méthodes de résolution d'équations aux dérivées partielles

Cours : Le mardi de 16h15 à 17h45 et le mercredi de 13h15 à 14h45.

---

**Code: DMA-M1-B03-S2**

## **Géométrie différentielle**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Olivier Biquard

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

### Variétés différentielles :

Définitions, applications différentiables entre variétés, sous-variétés, produits et revêtements de variétés, fibré tangent, application tangente. Exemples : sphères, tores, espaces projectifs, grassmanniennes. Théorème de Whitney. Immersions, submersions, fibrations, théorème de Sard. Champs de vecteurs, flots, commutation des flots, crochet.

Introduction aux groupes et algèbres de Lie. Espaces homogènes.

### Formes différentielles :

Définitions, produit extérieur, dérivation extérieure. Cohomologie de de Rham. Intégration des formes différentielles, théorème de Stokes.

### Topologie différentielle :

Théorie du degré, indice de champs de vecteurs.

Surfaces :

Seconde forme fondamentale. Courbure de Gauss. Theorema egregium. Théorème de Gauss-Bonnet.

Bibliographie:

J. Lafontaine, Introduction aux variétés différentielles, Press. Univ. Grenoble, 1996.

J. Lee, Introduction to smooth manifolds, 2nd edition, Graduate Text in Mathematics 214, Springer, 2013. Accès électronique depuis l'ENS : <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9982-5>

J. W. Milnor, Topology from the differentiable viewpoint, Univ. Press Virginia, 1965.

M. Spivak, Differential geometry, Publish or Perish, 1979.

Cours : le lundi de 10h15 à 11h45 et le mercredi de 8h30 à 10h00.

---

**Code: DMA-M1-B04-S1**

## Processus stochastiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Dmitry Chelkak

Volume horaire : 42h cours / 28h TD

Ce cours est donné en anglais.

Révisions sur le cadre probabiliste: théorème de la limite centrale, vecteurs gaussiens.

Mouvement brownien: définition, quelques propriétés de base.

Marches aléatoires : récurrence/transience, théorème de Donsker.

Espérance conditionnelle : définition, propriétés.

Martingales à temps discret : temps d'arrêt, inégalités de Doob, convergence.

Chaînes de Markov : exemples, classification des états, mesures invariantes.

Quelques exemples des modèles de la physique statistique.

Cours : Le mardi de 8h30 à 10h00 et le vendredi de 13h00 à 14h30.

---

**Code: DMA-M1-C07-S1**

## Approches numériques pour les EDP

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Emmanuel Dormy

Volume horaire : 45h cours

On introduira dans ce cours les difficultés mathématiques associées à la modélisation numérique et à la construction de solutions approchées d'EDP sur ordinateur. Il s'agit d'une branche en pleine expansion des mathématiques appliquées. Le travail sur ordinateur implique la construction d'un problème approché impliquant un nombre fini de degrés de liberté. Il en

résulte une modification de l'équation originale qui peut entraîner des changements significatifs de la nature du problème considéré.

Le cours est ouvert en Mathématiques et en Physique. La première partie (cours) sera donc très appliquée, complétée par des DM, pour les élèves en Mathématiques, permettant d'approfondir les notions introduites en cours.

La seconde partie (projet) impliquera une mise en œuvre sur un cas concret et impliquera, pour les élèves en Mathématiques, un volet pratique (numérique) et un volet théorique (analytique).

Cours : Le mardi de 13h45 à 16h45.

---

**Code: DMA-M1-C08-S1**

## Statistique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Stéphane Boucheron

Volume horaire : 35h cours/28h TD

### # Bibliographie

- S. Boucheron et R. Ryder. \*Notes de cours\*
- V. Rivoirard et G. Stoltz. \*Statistique en action\* Dunod
- P. Bickel and K. Doksum \*Mathematical Statistics, Basic Ideas and Selected Topics\* Pearson
- J. A. Rice. \*Mathematical Statistics and Data Analysis\* Wadsworth
- D. Freedman. \*Statistical models\*. Cambridge University Press
- A. van der Vaart. \*Asymptotic statistics\*. Cambridge University Press
- L. Devroye et G. Lugosi. \*Combinatorial methods in density estimation\* Springer

### # Sommaire

Le cours est formé de douze séances.

1. La modélisation et les problèmes de statistique inférentielle : estimation, régions de confiance, tests.

1. Vecteurs gaussiens. Conditionnement. Concentration.

1. Modèles linéaires gaussiens. Régression. Analyse de variance.

1. Méthodes d'estimation. Moments. Minimisation de contraste. Méthodes de vraisemblance.

1. Modèles exponentiels. Estimation au maximum de vraisemblance. Inégalités d'information.

1. Tests. Lemme fondamental. Tests Uniformément les plus puissants.

1. Tests de type chi-deux.

1. Tests non-paramétriques. Fonction de répartition empirique. Inégalités de déviations fonctionnelles. Tests de rang.

1. Méthodes bayésiennes.

1. Risque et efficacité. Minimaxité.

1. Modèles non-paramétriques : estimation de densité. Méthodes de noyau (2 séances).

### # Résumé

La statistique dite inférentielle s'appuie d'abord sur un effort de modélisation : elle postule que les données analysées par la statistique exploratoire sont produites par un mécanisme aléatoire dont les paramètres sont à estimer.

Le mécanisme aléatoire, le modèle, peut être paramétré par un ensemble de dimension fini ou non. Dans ce cours d'introduction, la plupart des modèles sera de dimension finie.

Schématiquement, la statistique inférentielle se pose trois grandes questions :

- la construction d'estimateurs dits ponctuels des paramètres ;
- la construction de régions de confiance pour les paramètres à estimer ;
- décider si un modèle est plus ou moins convenable qu'un autre (les tests).

Ces trois questions sont en fait intimement liées.

Nous illustrerons et étudierons d'abord ces problèmes sur des modèles gaussiens. Ces modèles permettent des calculs exacts et transparents. Ils forment par ailleurs les limites de nombreuses expériences statistiques.

Nous développerons ensuite une approche systématique des techniques d'estimation, illustrée en priorité sur les modèles dits exponentiels, les plus simples des modèles dits réguliers.

L'étude systématique des tests s'appuiera sur le lemme fondamental de Neyman et Pearson qui porte sur les tests binaires mais permet d'aborder des situations bien plus compliquées.

Nous consacrerons une séance aux tests de type chi-deux. Très pratiques et utiles, ils illustrent des phénomènes importants dans les modèles réguliers. Quoique leur justification soit asymptotique, ils se prêtent très bien aux petits échantillons et mettent en valeur les résultats connus sur les vitesses de convergence vers les lois limites en calcul des probabilités.

Les tests dits non-paramétriques comme le test de Kolmogorov-Smirnov donnent un avant-goût des techniques utilisées en statistique non-paramétrique et en théorie de l'apprentissage. Ils permettent de tester des hypothèses qualitatives, trop riches pour s'intégrer dans des modèles paramétriques.

Les méthodes bayésiennes peuvent s'aborder de deux façons :

- on peut supposer que la nature choisit elle-même au hasard, selon un schéma connu, un mécanisme de génération aléatoire des données, et exploiter la connaissance de ce schéma pour concevoir des méthodes d'estimation ou de test.
- on peut faire \*comme si\* la nature choisissait au hasard le mécanisme de génération aléatoire des données, et construire des méthodes d'estimation, de tests adaptées. C'est l'analyse des performances qui change dans ce cas.

La théorie de la décision fournit un cadre pour l'étude systématique des performances des méthodes d'estimation ou de test. Elle nous enseigne, entre autres choses, que toute méthode dite minimax est limitée de méthodes bayésiennes.

Le cours se terminera par une introduction à l'estimation non-paramétrique. Celle-ci sera étudiée au travers de l'estimation de densité par méthode de noyaux.

Cours : le mercredi de 13h30 à 16h15.

---

**Code: DMA-M1-C09-S2**

## Topologie algébrique

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Ilia Itenberg

Volume horaire : 35h cours/28h TD

L'objectif du cours est de présenter plusieurs notions et résultats importants de la topologie algébrique en se basant sur de nombreux exemples et en évoquant des applications de résultats

considérés.

Programme

(1) Exemples importants d'espaces topologiques.

Complexes simpliciaux et CW-complexes.

Introduction à la théorie de l'homotopie.

Groupe fondamental d'un espace topologique. Revêtements.

Groupes d'homotopie supérieurs. Fibrations.

(2) Homologie singulière. Homologie simpliciale.

Groupes d'homologie de CW-complexes.

Cours : Le vendredi de 8h30 à 11h00.

---

**Code: DMA-M1-C10-S1**

## Analyse des équations aux dérivées partielles

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Cyril Imbert

Volume horaire : 35h cours/28h TD

Ce cours constitue une introduction à un domaine très large des mathématiques qui est celui des équations aux dérivées partielles.

--- Plan de cours (provisoire)

Partie I. Analyse convexe et équations de Hamilton-Jacobi

\* Equations de Hamilton-Jacobi. Solutions de viscosité. Principe de comparaison. Formule de Oleinik-Lax. Lois de conservation scalaires.

\* Analyse convexe. Notion d'inf-convolution, fonctions semi-convexes, théorème d'Alexandroff.

Partie II. Equations elliptiques complètement non-linéaires

\* Estimée d'Alexandroff-Bakelman-Pucci.

\* Inégalité de Harnack.

\* Solutions régulières pour les équations elliptiques linéaires à coefficients  $h^{\alpha}$  (théorie de Schauder)

Partie III. Explosion dans les équations d'évolution

\* Existence locale de solutions pour une classe d'équations d'évolution

\* Quelques exemples de phénomènes d'explosion (par exemple dans le cas des équations de la chaleur et de Schrödinger non-linéaire, ou bien en mécanique des fluides).

--- Bibliographie (provisoire)

\* Evans, Lawrence C. Partial differential equations. Second

edition. Graduate Studies in Mathematics, 19. American Mathematical Society, Providence, RI, 2010. xxii+749 pp. ISBN: 978-0-8218-4974-3

\* Barles, Guy Solutions de viscosité des équations de Hamilton-Jacobi. (French) [Viscosity solutions of Hamilton-Jacobi equations] Mathématiques & Applications (Berlin) [Mathematics & Applications], 17. Springer-Verlag, Paris, 1994. x+194 pp. ISBN: 3-540-58422-6

\* Caffarelli, Luis A.; Cabré, Xavier Fully nonlinear elliptic equations. (English summary) American Mathematical Society Colloquium Publications, 43. American Mathematical Society, Providence, RI, 1995. vi+104 pp. ISBN: 0-8218-0437-5

\* Tao, Terence Nonlinear dispersive equations. Local and global analysis. CBMS Regional Conference Series in Mathematics, 106. Published for the Conference Board of the Mathematical Sciences, Washington, DC; by the American Mathematical Society, Providence, RI, 2006. xvi+373 pp. ISBN: 0-8218-4143-2

Cours : Le jeudi de 9h à 11h30.

---

**Code: DMA-M1-C12-S1**

## **Systèmes dynamiques**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Patrick Bernard

Volume horaire : 35h cours/28h TD

Nous commencerons par des notions sur la stabilité, points fixes et compacts attractifs, fonctions de Lyapounov.

Nous poursuivrons en étudiant les dynamiques expansives, au travers de quelques exemples.

Nous introduirons les concepts de base de théorie ergodique et montrerons qu'ils permettent de décrire les dynamiques expansives.

Finalement, nous introduirons la notion d'hyperbolicité.

Références :

Hasselblatt Katok : Introduction to the modern theory of dynamical systems.

Milnor, Dynamics: Introductory lectures

(<http://www.math.stonybrook.edu/~jack/DYNOTES/>)

Yves Coudène : Théorie ergodique et systèmes dynamiques

(la version anglaise Ergodic Theory and Dynamical Systems peut être téléchargée sur le site de l'éditeur Springer).

Cours : Le jeudi de 13h à 15h30.

---

**Code : DMA-M1-D09-S1**

## **Méthodes mathématiques pour la science des données**

Niveau: M1

Semestre: S1, ECTS: 12

Responsable : Gabriel Peyré

Volume horaire : 35h cours/ 28h TD

Ce cours présente un tour d'horizon de méthodes mathématiques et numériques pour la science des données, avec des applications en imagerie, apprentissage statistique, vision par ordinateurs et informatique graphique. La présentation du cours alterne entre l'exposition de la théorie et l'implémentation sur machine des algorithmes. Les aspects théoriques couvrent le calcul des variations, l'analyse convexe, les problèmes inverses et le transport optimal. Ces éléments théoriques seront présentés conjointement à leurs applications à des problèmes tels que la super-résolution en imagerie médicale, la classification en apprentissage supervisé, et l'échantillonnage compressé pour la conversion analogique-numérique des signaux. La

validation se fera par un mini-projet (avec lecture d'un article, tests numériques et un rapport), ainsi qu'un examen écrit. Le support pour les parties numériques et informatiques du cours est le site [www.numerical-tours.com](http://www.numerical-tours.com), qui présente des implémentations Matlab/Python/Julia des méthodes numériques.

Bibliographie :

- \* A Wavelet Tour of Signal Processing (3rd ed.), Stéphane Mallat, Academic Press, 2010.
- \* The Numerical Tours of Signal Processing, Gabriel Peyré, see [www.numerical-tours.com](http://www.numerical-tours.com)
- \* Optimal Transport for Applied Mathematicians, Filippo Santambrogio, Springer, 2016
- \* Computational Optimal Transport, Gabriel Peyré, Marco Cuturi, Justin Solomon, to appear, 2017.

Cours : le lundi de 10h à 12h30

---

**Code: DMA-M2-A03-S2**

## Invariants géométriques des groupes infinis

Niveau: M2

Semestre: S2, ECTS: 9

Responsable : Anna Erschler

Volume horaire : 24h cours

Étant donné une action d'un groupe  $G$  sur un espace métrique  $X$ , on peut étudier la relation entre les propriétés de  $G$  et la métrique de  $X$ . Le cas important est la situation où  $G$  est un groupe de type fini et  $X$  est un graphe de Cayley de  $G$ . Quelques observations sont immédiates ou faciles à démontrer: par exemple, si  $G$  est un produit direct de deux groupes, alors le graphe de Cayley est un produit direct de deux graphes de Cayley associés; si  $G$  est un produit libre de deux groupes (de cardinalité au moins 2 et 3), alors "l'espace des bouts" de  $G$  est infini; si  $G$  possède un sous-groupe libre, alors le graphe de Cayley de  $G$  contient un sous-arbre régulier, et sa croissance est exponentielle.

Il est souvent difficile de caractériser les propriétés algébriques en termes de la métrique. La preuve de telles caractérisations peut révéler les liens profonds entre l'algèbre et la géométrie.

La métrique d'un graphe de Cayley dépend du choix de générateurs de  $G$ , mais pas beaucoup: les graphes de Cayley de  $(G, S)$  and  $(G, S')$  sont « quasi-isométriques ».

Un groupe est rigide par rapport aux quasi-isométries si chaque groupe qui est quasi-isométrique à  $G$  est commensurable avec  $G$ . Une propriété  $P$  de groupes est géométrique si chaque groupe qui est quasi-isométrique à un groupe avec la propriété  $P$  satisfait aussi cette propriété. Par exemple, on peut démontrer, en utilisant un théorème de Stallings, que les groupes libres sont rigides. C'est un corollaire du théorème de Gromov sur la croissance polynomiale que la propriété d'être nilpotent est géométrique et que les groupes abéliens sont rigides par rapport aux quasi-isométries. Par contre, il y a des propriétés qui ne sont pas géométriques. Par exemple, les groupes de Burger et Mozes montrent qu'un groupe simple peut être quasi-isométrique à un produit direct de deux groupes libres.

Pour d'autres propriétés de groupes, même très basiques, les questions de la géométrie et de la rigidité restent ouvertes. Par exemple, il n'est pas connu si chaque groupe nilpotent est rigide.

Nous allons étudier des invariants quasi-isométriques des groupes : la croissance, l'isopérimétrie, l'hyperbolicité, ainsi que des propriétés asymptotiques de diverses classes de groupes: de groupes nilpotents, de groupes résolubles, de groupes agissant sur des arbres, de groupes à petite simplification et de groupes hyperboliques.

[1] Pierre de la Harpe, Topics in geometric group theory, University of Chicago Press, Chicago, IL, 2000.

[2] John Meier, Groups, graphs and trees.

An introduction to the geometry of infinite groups. London Mathematical Society Student Texts, 73. Cambridge University Press, Cambridge, 2008

3] Etienne Ghys, Pierre de la Harpe, Sur les groupes hyperboliques d'après Mikhael Gromov, Papers from the Swiss Seminar on Hyperbolic Groups held in Bern, 1988, Progress in Mathematics, 83.

Birkhäuser Boston, Inc., Boston, MA, 1990.

Cours : Le mercredi de 10h15 à 12h15 et le jeudi de 10h15 à 12h15.

---

**Code: DMA-M2-A04-S2**

## **Chaos multiplicatif gaussien et gravité de Liouville**

Niveau: M2

Semestre: S2, ECTS: 9

Responsable : Vincent Vargas

Volume horaire : 24h cours

La théorie des champs de Liouville fut introduite en physique théorique par Polyakov en 1981 dans sa théorie de sommation des métriques sur une surface de Riemann (appelé "Quantum geometry of bosonic strings"). Par conséquent, la théorie de Liouville peut être considérée comme une version aléatoire des surfaces de Riemann. En physique, cette théorie est définie formellement par une version 2d des intégrales de chemin à la Feynman. Le but de ce cours est de donner une construction probabiliste rigoureuse de la théorie, en utilisant le champ libre gaussien (GFF) et l'exponentiel du champ libre appelé le chaos multiplicatif gaussien (d'après J.P. Kahane). On verra que la théorie possède des symétries qui en font une théorie conforme. On énoncera également des conjectures précises reliant la théorie de Liouville à la limite d'échelle des grandes cartes planaires plongées de façon conforme dans la sphère.

### Résumé

-introduction au GFF et au chaos multiplicatif gaussien

-construction des corrélations et de la forme volume associées à la théorie de Liouville. Propriétés de base de la théorie: invariance conforme, anomalie de Weyl, etc...

-relation KPZ: relation (conjecturelle) entre les corrélations de la théorie de Liouville et certaines observables des grandes cartes planaires plongées dans la sphère (forme volume, champ de spin, etc...)

### Références:

Berestycki: An elementary approach to Gaussian multiplicative chaos, arXiv:1506.09113

Gawedzki: Lectures on Conformal Field Theory, disponible sur le site de l'IAS

Rhodes, Vargas: Lecture notes on Gaussian multiplicative chaos and

Liouville Quantum Gravity, arXiv:1602.07323

Sheffield: Gaussian free fields for mathematicians, arXiv:math/0312099

Cours : le lundi de 13h à 16h.

---

**Code: DMA-M2-A05-S2**

## **Introduction à la combinatoire additive**

Niveau: M2

Semestre: S2, ECTS: 9

Responsable : Timothy Gowers

Volume horaire : 48h cours

Additive Combinatorics is a branch of mathematics with roots in combinatorics, additive number theory, harmonic analysis, and ergodic theory. This course will cover some of the most important results in the area, such as Roth's theorem on arithmetic progressions, Szemerédi's regularity lemma, and Ruzsa's proof of Freiman's theorem. However, the emphasis will be more on the techniques of proof than on the results themselves.

Cours : Le mardi de 14h à 16h et le jeudi de 14h à 16h

---

**Code: DMA-M2-A06-S2**

## **Les surfaces K3**

Niveau: M2

Semestre: S2, ECTS: 9

Responsable : Olivier Debarre

Volume horaire : 32h cours

La géométrie algébrique est l'étude des ensembles définis des équations polynomiales à plusieurs variables à coefficients dans un corps, appelés variétés affines. On considère aussi les sous-ensembles des espaces projectifs définis par des équations polynomiales homogènes, de façon à obtenir des objets « compacts », les variétés projectives. Dès qu'on a défini les concepts de dimension et de lissité, on peut entamer un travail de classification (à isomorphisme près) des variétés projectives lisses connexes de dimension donnée, sur un corps fixé qui sera pour nous le corps des complexes. En dimension 1, on appelle ces variétés des courbes et un élément essentiel de leur classification est leur genre, un entier positif. Dès la dimension 2, la classification demande plus de travail mais est maintenant bien comprise depuis des décennies.

Nous nous intéressons dans ce cours à un type de surfaces bien particulier, appelées surfaces K3 (ainsi nommées par André Weil « à cause de Kummer, Kähler, Kodaira et de la belle montagne K2 au Cachemire »). Elles occupent une place bien particulière dans la classification : assez spéciales pour qu'on puisse les décrire précisément (classification de Mukai en petits degrés), mais suffisamment diverses pour garder suffisamment de propriétés (géométriques, dynamiques, arithmétiques) importantes pas encore toutes élucidées.

Travailler sur le corps des nombres complexes nous permettra d'utiliser les outils de la géométrie complexe, comme la théorie de Hodge et l'application des périodes, qui sont fondamentaux pour l'étude des surfaces K3.

Une certaine familiarité avec les concepts de base de la géométrie algébrique ou complexe sera nécessaire mais je m'adapterai à l'auditoire. Les surfaces K3 seront le fil conducteur du cours mais j'en profiterai bien entendu pour introduire les divers outils classiques utilisés dans l'étude des surfaces algébriques. Enfin, ce cours constituera une introduction au cours qui sera donné par Claire Voisin au Collège de France sur les variétés hyperkählériennes, une généralisation des surfaces K3 en toute dimension paire.

Barth, Wolf; Hulek, Klaus; Peters, Chris; Van de Ven, Antonius; *Compact complex surfaces*, Second edition, *Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete* 4, Springer-Verlag, Berlin, 2004.

Beauville, Arnaud, *Surfaces algébriques complexes*, Astérisque **54**, Société Mathématique de France, Paris, 1978.

Beauville, Arnaud, *Complex algebraic surfaces*, translated from the French by R. Barlow, N. I. Shepherd-Barron and M. Reid, London Mathematical Society Lecture Note Series **68**, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Beauville, Arnaud, Surfaces K3, *séminaire Bourbaki*, 217–229, Astérisque **105-106**, Société Mathématique de France, Paris, 1983.

*Géométrie des surfaces K3: modules et périodes*, séminaire Palaiseau, octobre 1981–janvier 1982, Astérisque **126**, Société Mathématique de France, Paris, 1985.

Huybrechts, Daniel, *Lectures on K3 surfaces*, Cambridge Studies in Advanced Mathematics 158, Cambridge University Press, Cambridge, 2016.

Voisin, Claire, *Théorie de Hodge et géométrie algébrique complexe*, Cours Spécialisés **10**, Société Mathématique de France, Paris, 2002.

Voisin, Claire, *Hodge theory and complex algebraic geometry. I and II*, Translated from the French original by Leila Schneps, Cambridge Studies in Advanced Mathematics **76** and **77**, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

Cours : Le lundi de 10h15 à 12h15 et le mercredi de 13h à 15h

---

**Code: DMA-IN-E01-S1**

## **Mathématiques pour littéraires et philosophes**

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable : Jean Feydy

Volume horaire : 24h cours

« Culture mathématique »

Ce cours est destiné aux élèves de l'école désireux de se forger une "culture" de ce que sont les mathématiques. Plutôt que de donner un panorama des thèmes étudiés par les mathématiciens d'hier et d'aujourd'hui, on s'attachera à mettre en valeur les qualités essentielles à cette science : rigueur bien sûr, mais aussi capacité à "abstraire", c'est à dire à identifier dans des problèmes apparemment étrangers une structure commune.

Le cours conviendra aussi bien aux élèves des départements littéraires qu'aux élèves des départements de sciences sociales et de sciences dures, avec comme prérequis les fondamentaux d'une terminale S : raisonnement par récurrence, dérivation, nombres complexes.

Une validation est possible (3 ECTS), en répondant chaque semaine à un questionnaire sur le contenu du cours - une assiduité d'au moins 8 séances sur 12 sera demandée.

Dans une première partie, on répondra de manière rigoureuse (pour les standards actuels) aux questions suivantes :

Qu'est-ce qu'une preuve ? Qu'est-ce qu'un nombre ?

Ensuite, on se concentrera sur deux grands sujets : l'analyse et la géométrie "lisse". En présentant pour chacun d'eux motivations historiques, résultats fondamentaux et applications concrètes, on donnera à voir "les mathématiciens en action" dans un effort de structuration des problèmes et des idées.

Le photocopié du cours de l'année dernière est accessible à l'adresse suivante :

[www.math.ens.fr/~feydy/Teaching/culture\\_mathematique.pdf](http://www.math.ens.fr/~feydy/Teaching/culture_mathematique.pdf)

Il sera réécrit tout au long du semestre, avec l'ajout d'exercices et de paragraphes explicatifs visant à en permettre une lecture autonome.

Le cours commencera début octobre, et son horaire sera choisi via un "mail à tous" et un Doodle. D'ici là, n'hésitez pas à m'écrire pour me faire part de vos interrogations.

Plan du cours (12\*2h):

Introduction (2h) :

Formalisation et étude mathématique d'un problème simple : le jeu de taquin

Chapitre I : Fondements des mathématiques

A - 4h) Preuves formelles, axiomatiques et théorie des ensembles

B - 2h) Constructions classiques des ensembles de nombres :  $\mathbb{N}$ ,  $\mathbb{Z}$ ,  $\mathbb{Q}$  et  $\mathbb{R}$

C - 2h) Le corps des nombres complexes : algèbre polynomiale et théorie des nombres

Chapitre II : Analyse

A - à la maison) Histoire du calcul infinitésimal : intégrales et dérivées, d'Archimède à Leibniz

B - à la maison) Dérivées et dualité, de Schwarz à Galerkin; Méthode des éléments finis, espaces de dimension infinie.

C - 4h) Analyse de Fourier, l'ubiquité d'une représentation : Ptolémée et ses épicycles, harmoniques et chaleur, musique et échantillonnage, le format ".jpg"

Chapitre III : Géométrie Riemannienne

A - 3h) "Une" manière de faire de la géométrie aujourd'hui : géodésiques du disque de Poincaré

B - 3h) Un espace étonnant : la "sphère des formes de triangles" de Kendall (1984); applications en archéologie et écologie.

C - 4h) Un sujet de recherche actuel : l'étude des espaces de formes, avec applications à l'imagerie médicale (en anatomie).

---

**Code: DMA-IN-E01-S2**

## **Mathématiques pour littéraires et philosophes**

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable : Tristan Ozuch-Meersseman

Volume horaire : 24h cours

« Culture mathématique »

Ce cours s'adresse aux élèves de tous les départements voulant se forger une culture mathématique ou prendre du recul par rapport à la discipline. Les objectifs sont de donner une introduction à la rigueur et au formalisme modernes des mathématiques, de comprendre les

concepts fondamentaux du domaine à travers des exemples, et enfin de définir rigoureusement des termes mathématiques utilisés dans le langage commun.

Nous commencerons par introduire le langage mathématique et les bases de la logique afin de présenter des raisonnements classiques et les avantages de l'abstraction mathématique.

Nous aborderons ensuite une liste de thèmes théoriques et/ou appliqués afin d'illustrer des grands principes de la discipline comme identifier des structures communes entre différents problèmes. On présentera donc quelques grands théorèmes ayant une influence sur le monde mathématique mais surtout sur nos vies quotidiennes.

Des exercices facultatifs seront proposés à chaque chapitre.

Il n'y a aucun prérequis pour ce cours.

Validation : exposé ou travail écrit en rapport avec le contenu du cours ou son lien avec une autre discipline.

---

**Code: DMA-IN-E02-S1 / DMA-IN-E02-S2**

## **Mathématiques pour économistes**

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 6 / S2, ECTS : 6

Responsables : Guillaume Rémy et Aymeric Baradat

Volume horaire : 36h cours + TD

Le cours s'adresse aux élèves issus du concours B/L qui souhaitent approfondir leurs connaissances en mathématiques dans l'optique d'un cursus d'économie. Le cours leur fournit les principaux outils leur permettant de suivre aisément les cours formalisés d'économie ainsi que les enseignements de statistiques/économétrie.

En analyse, on s'intéressera au comportement local des fonctions de plusieurs variables au travers des outils du calcul différentiel. On abordera ensuite les notions géométriques nécessaires à la compréhension de la méthode des multiplicateurs de Lagrange et des conditions de Kuhn-Tucker. Ces techniques nous permettront de résoudre des problèmes d'optimisation sous contraintes.

En probabilité, les notions élémentaires (variables aléatoires, lois, indépendance) seront rappelées afin de pouvoir utiliser le théorème central-limite. Ces outils permettront d'introduire différents outils statistiques : estimateurs, intervalles de confiance, tests.

Une participation active de la part des élèves est nécessaire. Chaque semaine aura lieu une séance d'analyse et une séance de proba/stats, avec une alternance entre cours et travaux dirigés d'une semaine sur l'autre.

Cours S1 : Mardi 10h45-12h45 à Jourdan et Jeudi 14h-16h à Ulm

Cours S2 : Mardi 16h30-18h30 à Ulm et Jeudi 10h45-12h45 à Jourdan

---

---

**Code: DMA-IN-E03-S1**

## **Outils statistiques pour littéraires**

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsable : Claire Zalc / Mathilde Mougeot

Volume horaire : 24h cours

Ce cours a pour but de présenter les principales notions statistiques utilisées dans les sciences humaines et sociales afin de permettre à tous de lire des articles et travaux utilisant la quantification. Il s'agit aussi de promouvoir une utilisation de ces outils dans la recherche, notamment historique, en rappelant les règles élémentaires de prudence et de bon sens.

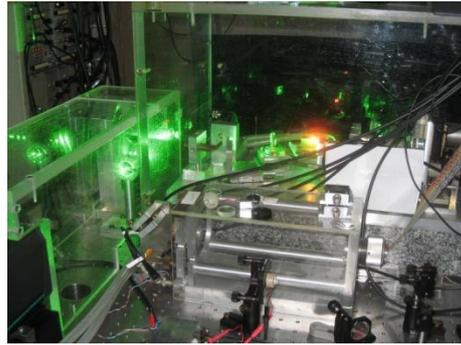
On privilégiera une approche pratique fondée sur des allers retours entre manipulation de données, lecture de textes et discussions sur les différentes méthodes. Une initiation au logiciel R est prévue. Ce cours est ouvert à tous et ne nécessite aucun pré-requis en mathématiques !!

VALIDATION à partir de lectures d'articles et d'analyses quantitatives sur un sujet au choix à discuter avec les enseignantes.

Cours : Le lundi de 10h30 à 12h30, salle à préciser, début des cours le 25 septembre.

# Département de Physique

Site web: <http://www.phys.ens.fr/>  
Adresse: 24 rue Lhomond, 75005 Paris.



Centrée sur la physique statistique, la mécanique quantique et la relativité restreinte, la première année d'enseignement a pour but essentiel de présenter aux normaliens entrants les bases des théories modernes nécessaires à la compréhension des avancées les plus récentes en physique. La physique macroscopique est abordée par le biais de l'hydrodynamique et d'autres compléments (mathématiques pour physiciens, mécanique analytique, optique quantique, astrophysique...) viennent parachever cette formation générale.

Le Master ICFP (International Center for Fundamental Physics) couvre les deux années suivantes de la formation. Ce master international dont l'essentiel des cours est en anglais accompagne la spécialisation progressive des étudiants jusqu'à la thèse.

La première année du master a pour but de compléter la formation générale en physique avec un cours de physique du solide. Par le biais d'options, elle propose par ailleurs des cours avancés dans des domaines plus pointus (physique quantique, biophysique, physique théorique...) de manière à permettre aux étudiants d'affiner leurs choix de spécialisation avant l'entrée en seconde année de master. Ces cours sont complétés par un stage d'un semestre complet en laboratoire, très souvent à l'étranger, parfois en entreprise dans un service de recherche et développement. Ce stage permet d'appréhender la vie d'un laboratoire et de mener une réelle activité de chercheur. Ce stage est régulièrement suivi d'une publication dans une revue scientifique internationale. Au premier semestre, un étudiant intéressé par d'autres disciplines (chimie, biologie, mathématiques...) peut également inclure, dans une limite de 9 ECTS, des cours de ces disciplines dans son cursus de physicien.

La deuxième année de master ICFP se scinde en quatre spécialités larges (physique théorique, physique quantique, physique de la matière condensée ou Matières molles et physique biologique). Le premier semestre est centré sur l'enseignement des compétences spécifiques de la spécialité choisie. Il est suivi d'un stage en laboratoire de deux mois qui traditionnellement constitue un prélude à la thèse qu'effectuent la grande majorité des étudiants. Enfin le deuxième semestre présente un vaste choix d'options pouvant être choisies librement par les étudiants.

# LES ENSEIGNEMENTS

**Code: PHYS-IN-A00-S2**

## Physique pour tous

Niveau : tous niveaux

Semestre : S1

Responsable : Mathias Casiulis, Alexandre Krajenbrink, Tony Jin, Olivier Peltre et Louis Garrigue

Durée : voir programme <http://www.ens.fr/agenda/physique-pour-tous/2017-03-24t130000>

Le cours de physique pour tous a pour objectif de présenter la physique moderne, i.e. principalement la relativité restreinte et la mécanique quantique, à de bons élèves qui ne disposent pas du bagage mathématique et physique généralement requis. On utilisera le minimum de formalisme tout en restant aussi rigoureux que possible dans la présentation : il ne s'agit pas d'un cours de vulgarisation. On insistera d'avantage sur les concepts que sur la technique calculatoire qui consomme généralement une grande partie du temps de l'étudiant en physique.

À l'issue du cours, un élève assidu aura une bonne compréhension de la relativité restreinte, une compréhension heuristique de la mécanique quantique et une idée de la physique statistique et de la cosmologie. Il saura ainsi calculer les variations de l'écoulement du temps dans des situations simples à l'aide de la relativité restreinte, il comprendra pourquoi la mécanique quantique change l'intuition que l'on a de la réalité à l'échelle microscopique, il comprendra pourquoi l'inégalité de Bell prouve que le monde est fondamentalement non local, il comprendra l'origine de certaines des autres bizarreries quantiques notamment le fait que les particules peuvent "traverser les murs", il saura ce que signifie le Big Bang et ce qu'est un trou noir, il saura enfin quelle est la définition précise de l'entropie et à quoi elle sert.

---

**Code: PHYS-L3-A01-S1**

## Physique statistique des systèmes en équilibre

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : Jean-François Allemand

Autres enseignants : Marc Durand, Francesco Ferri et Andrea Invernizzi

Type d'enseignement : cours /TD.

Volume horaire : 30h cours/30h TD

0 - Objectifs de la description statistique, probabilités, Mouvement Brownien : modèle de la force de Langevin

1 - Dynamique microscopique et postulats

- >Notion d'ensemble de Gibbs
- > Dynamique
- > Postulats

2 - Ensemble microcanonique

- > Entropie et fonction de partition microcanonique
- > Équilibre thermodynamique
- > Le gaz parfait classique - 1ère version
- > Le gaz parfait classique – 2ème version
- > Systèmes sans extensivité

3 - Ensemble canonique

- >Systèmes en contact avec un thermostat
- >Le gaz parfait

- > Magnétisme
- 4 - Ensemble grand-canonique
  - > Systèmes thermostatés en contact avec un réservoir de particules
  - > Le gaz parfait
  - > Autres ensembles de Gibbs
- 5 - Statistiques quantiques pour les particules libres
  - > Postulats
  - > Ensemble canonique
  - > Ensemble grand-canonique
- 6 - Fermions
  - > Propriétés thermodynamiques
  - > Fermions libres à basse température (application aux métaux)
  - > Semi-conducteurs
  - > Fermions relativistes (naines blanches)
- 7 - Rayonnement
  - > Des équations de Maxwell aux photons
  - > Gaz de photons dans l'ensemble canonique
- 8 - Bosons
  - > Statistique de Bose-Einstein
  - > Condensation de Bose-Einstein
- 9 - Systèmes de particules en interaction
  - > Equation de Van der Waals, transition liquide/gaz, point critique
  - > Modèle d'Ising, champ moyen

**Code: PHYS-L3-A02-S1**

## **Introduction à la mécanique quantique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : Frédéric Chevy

Autres enseignants : Jérôme Tubiana, Chayma Bouazza et Sébastien Laurent

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/30h TD

- > Introduction : un monde quantique
  - > Les postulats et les outils de la physique quantique
  - > Intrication et complémentarité
  - > Position et impulsion, puits et barrières
  - > Oscillateur harmonique
  - > Le problème à deux corps et le moment cinétique
  - > Méthodes d'approximations
-

---

**Code: PHYS-L3-A03-S1**

## **Mathématiques pour physiciens**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : Michela Petrini

Autres enseignants : Francesco Zamponi, Emmanuel Baudin.

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 30h cours/30h TD*

- Fonction de variable complexe. Holomorphie, intégration. Résidus
  - Distributions
  - Transformée de Fourier et Laplace
  - Équations différentielles ordinaires. Fonctions de Green
  - Probabilités
- 

**Code: PHYS-A05-S1**

## **Éléments de mécanique analytique**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3 6

Responsable : Stephan Fauve

Autres enseignants : Aurélie FRAGETTE et Arnaud Raoux

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 14h cours/ 14h TD*

Ce cours présente une introduction à la mécanique analytique. Loin de se cantonner à la mécanique, les principes variationnels sont présents dans tous les domaines de la physique (optique, hydrodynamique, mécanique quantique, etc...), ce que nous illustrerons lors des travaux dirigés.

Ce cours aborde des notions fondamentales nécessaires pour le cours de mécanique quantique (formulation hamiltonienne), et des outils utiles pour le cours de relativité et électromagnétisme.

---

**Code: PHYS-L3-A16-S1**

## **Mécanique des milieux continus**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : François Petrelis

Autres enseignants :

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 18h cours / 18h TD*

Ce cours propose une introduction à la mécanique des milieux continus.

Nous débuterons par une présentation des notions de base permettant de décrire un milieu continu (déformation, contrainte, lois de comportement).

Nous verrons ensuite comment se décrit l'équilibre d'un milieu solide soumis à des contraintes, en particulier dans le cas des objets uni ou bidimensionnels (poutres et plaques). La notion d'instabilité d'un état d'équilibre et de bifurcation sera alors présentée dans le cas du flambage.

Dans une troisième partie nous nous intéresserons à la dynamique de perturbations et notamment à la propagation d'ondes. En considérant des exemples d'ondes dans les solides et dans les fluides, nous étudierons comment se propage une onde dans différents types de milieux : dispersif, inhomogène, anisotrope...

Ce cours sera l'occasion de présenter plusieurs concepts, tels que phénomènes ondulatoires, instabilités et méthodes variationnelles, qui ont été développés dans le cadre de la mécanique, et sont aujourd'hui largement utilisés dans les différentes branches de la physique.

---

**Code: PHYS-L3- A15-S1**

## **Informatique et physique expérimentale**

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pierre Cladé

*Type d'enseignement : Cours + TD + TP*

Volume horaire : 40 heures (environ 15h de cours et 25h de TP sur machines) + 8 heures pour les étudiants ne connaissant pas Python.

Que ce soit pour acquérir ou traiter des données, l'outil informatique est devenu indispensable à la physique expérimentale.

L'objectif du cours est double : maîtriser l'outil informatique et connaître quelques méthodes d'analyse de données permettant de comprendre et quantifier le bruit.

Le langage informatique retenu pour ce cours sera Python. Il s'agit d'un langage qui est de plus en plus populaire parmi les physiciens (physique expérimentale et théorique). L'objectif de la première partie du cours sera d'acquérir une bonne connaissance de ce langage et en particulier de la programmation orientée objet. La deuxième partie du cours est centrée sur l'analyse de données. Cette partie du cours contiendra une formation théorique et numérique. On y abordera d'une part le calcul et la mesure des incertitudes et d'autre part l'analyse et la compréhension du bruit à travers l'analyse spectrale.

Les étudiants effectueront un projet qui servira pour l'évaluation. Le langage Python – 24 heures (+ 8 heures)

0 Mise à niveau pour les étudiants ne connaissant pas Python - 2 séances de 4 heures (cours et TP machine).

1 Prise en main des machines. Description détaillée des différents types de données en Python et des fonctions avancées. TP sous forme de petits exercices.

2 Manipulation des tableaux numériques. Lecture/écriture de fichiers. Tracer des graphiques en Python. TP sous forme de petits exercices.

3 Les bonnes pratiques de programmation (tests unitaires, création de bibliothèques, gestion des erreurs). Introduction à la programmation orientée objet. TP sous forme de petits exercices.

4 TP de 4 heures : réalisation d'un traceur de rayon permettant de visualiser les aberrations sphériques.

5 Pilotage d'instruments. TP interfaçage d'un oscilloscope.

6 Analyse d'image. TP interférométrie des tavelures

Analyse de données – 16 heures

7 Incertitudes : introduction à la statistique (estimateur, théorème de la limite centrale). Propagation des incertitudes. Cours et TD.

8 Ajustement des données (fit). Méthode des moindres carrés. Évaluer les incertitudes et les corrélations entre les paramètres. Méthode de bootstrap.

TP ajustement des franges d'un interféromètre.

9 et 10 Analyse spectrale. On introduira l'analyse spectrale en partant de l'instrument (analyseur de spectre) plutôt que des modèles mathématiques. Fonctionnement d'un analyseur de spectre analogique. Densité spectrale de bruit. Analyse spectrale numérique (transformée de Fourier numérique, repliement du spectre et utilisation d'une fenêtre d'apodisation). TP mesure de la fréquence d'un son noyé dans le bruit.

---

**Code: PHYS-A04-S1/ PHYS-B04-S1/ PHYS-A04-S2/PHYS-B04-S2**

## **Projet de physique expérimentale/International Physicist Tournament**

Niveau: L3

Semestre: S1, S2 ECTS : 3

Responsable : Christophe GISSINGER

*Type d'enseignement : Projet expérimental*

Volume horaire : 32h projet

La physique expérimentale, composante essentielle des études prédoctorales de physique à l'ENS, se présente sous la forme de projets menés par binômes sur quatre journées complètes. Ceux-ci se veulent une initiation pratique aux techniques et méthodes de la recherche expérimentale en proposant de concevoir et d'exploiter des expériences en vraie grandeur ; une certaine initiative est laissée aux prédoctorants qui sont responsables du choix des montages expérimentaux et des mesures. Selon leurs thèmes, ils se déroulent à l'ENS ou dans les locaux des universités partenaires. Les binômes disposent de trois semaines, au terme de chaque projet, pour rédiger et remettre un rapport écrit.

Au cours de leurs études prédoctorales, les physiciens sont amenés à effectuer plusieurs projets expérimentaux.

Deux projets sont imposés aux prédoctorants dans le cadre de leur cursus universitaire de licence ; ils s'inscrivent dans le calendrier de l'année de licence, pour l'un, au premier semestre, pour l'autre, au second semestre;

La possibilité est également offerte aux prédoctorants de réaliser un ou plusieurs autres projets, soit en année de licence, soit en première année du master, dans le cadre des enseignements supplémentaires du Prédoctorat de l'ENS.

Les deux meilleurs projets effectués au cours de l'année de licence sont validés comme module expérimental de licence.

Les étudiants le souhaitant peuvent profiter des projets expérimentaux pour préparer l'[International Physicist Tournament \(IPT\)](#), une compétition internationale de physique opposant chaque année des équipes venues d'universités de la Terre entière et s'affrontant sur une liste de problèmes définis à l'avance.

---

**Code: PHYS-L3-B10-S2**

## **Physique du solide**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Jean-Noël AQUA

Autres enseignants : Gabriel Hetet, Kris Van Houcke, Leonardo Mazza

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 30h cours / 30h TD*

Ce cours sera une introduction à la physique du solide, des propriétés électroniques à la structure de la matière cristalline. Il présentera à la fois des aspects d'équilibre et de hors-équilibre. Les cours présenteront des exemples de la recherche récente sur ce sujet afin de souligner le rapide développement de ce domaine, en particulier dans les nanosciences.

1. Modèle des électrons libres
2. Structure cristalline et réseau réciproque
3. Excitations du réseau : phonons et propriétés thermiques
4. Structure électronique : potential cristallin, symétries et théorème de Bloch, niveau de Fermi, bandes d'énergie
5. Transport dans le gaz électronique

6. Semiconducteurs et métaux : structure de bandes et propriétés.
7. Excitations élémentaires : plasmons, polaritons, excitons
8. Superconductivité et magnétisme : phénoménologie et concepts.
9. Croissance cristalline : physique statistique aux échelles nanométriques

---

**Code: PHYS-L3-B03-S2**

## **Relativité et électromagnétisme**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Jihad Mourad

Autres enseignants : Gabriel Hetet, Matthieu Dartiailh, Tigrane Cantrat-Moltrecht

Type d'enseignement : cours /TD.

Volume horaire : 30h cours/30h TD

Ce cours présente un approfondissement de l'électromagnétisme classique. Il introduit les notions essentielles de la relativité restreinte et la formulation covariante des équations de Maxwell. Il traite du rayonnement des sources classiques. Le cours se termine par une présentation sommaire de l'électromagnétisme dans la matière. Des techniques utiles dans d'autres champs de la physique sont introduites en cours d'exposé : fonctions de Green, rôle de l'analyticité, principes variationnels.

### 2 Principe de relativité

#### 2.1 Relativité Galiléenne.

#### 2.2 Relativité restreinte.

##### 2.2.1 Principe de relativité et transformations de Lorentz.

##### 2.2.2 Simultanéité.

##### 2.2.3 Dilatation des temps.

##### 2.2.4 Contraction des longueurs.

##### 2.2.5 Intervalle d'espace-temps et causalité.

#### 2.3 Transformation spéciale de Lorentz et groupe de Lorentz.

##### 2.3.1 Propriétés du groupe de Lorentz.

### 3 Tenseurs et champs de tenseurs

#### 3.1 Quadrivecteur contra variant.

#### 3.2 Quadrivecteur covariant.

#### 3.3 Tenseurs.

#### 3.4 Champs de tenseurs.

#### 3.5 Tenseurs invariants et dualité.

##### 3.5.1 Exemples d'équations covariantes.

#### 3.6 Équation du mouvement d'une particule classique.

##### 3.6.1 Principe de moindre action.

##### 3.6.2 Interaction avec un champ extérieur scalaire.

##### 3.6.3 Interaction vectorielle.

### 4 Le champ électromagnétique

#### 4.1 Les équations de Maxwell.

#### 4.2 Équation du mouvement d'une particule classique.

##### 4.2.1 Courant d'une particule ponctuelle.

#### 4.3 Transformation du champ électromagnétique.

##### 4.3.1 Invariants quadratiques.

#### 4.4 Action de Maxwell.

#### 4.5 Tenseur énergie-impulsion :

##### 4.5.1 Tenseur énergie-impulsion du champ électromagnétique

- 4.5.2 Ondes planes dans le vide.
- 5 Solutions des équations de Maxwell dans le vide
- 5.1 Équation d'onde.
- 5.2 Solutions des équations de Maxwell dans la jauge de Coulomb
- 6 Potentiels retardés
- 6.1 Fonctions de Green.
- 6.2 Solutions des équations d'onde.
- 6.3 Potentiels de Liénard-Wiechert .
- 6.4 Champ d'une particule ponctuelle I .
- 6.5 Champ d'une particule ponctuelle II .
- 6.5.1 Champ non-relativiste à grande distance.
- 6.5.2 Champ a petite distance.
- 7 Rayonnement et développement multipolaire
- 7.1 Force de réaction.
- 7.2 Source oscillatoire et localisée.
- 7.2.1 Zone proche.
- 7.2.2 Champs d'un dipôle électrique.
- 7.2.3 Champs d'un dipôle magnétique.
- 7.2.4 Champs d'un quadripôle électrique.
- 7.2.5 zone de rayonnement.
- 7.3 Puissance totale rayonnée.
- 8 Introduction à l'électrodynamique quantique
- 8.1 Quantification.
- 8.2 Oscillateur harmonique.
- 8.3 La champ électromagnétique comme un ensemble d'oscillateurs

---

**Code: PHYS-L3-B09-S2**

## **Hydrodynamique**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Frédéric Moisy

Autres enseignants : Christophe Gissinger et Benoît Semin

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/30h TD

- Description Lagrangienne et Eulerienne, théorème du transport, équations de conservation
- Fluides parfaits, conditions aux limites, équation de Bernoulli, paradoxe de d'Alembert
- Phénomènes capillaires : loi de Laplace, mouillage
- Ondes de surface : relation de dispersion, vitesse de groupe, sillages, énergie transportée
- Écoulements potentiels bidimensionnels : potentiel complexe des vitesses, portance sur une aile
- Dérivation de l'équation de Navier-Stokes : tenseur des contraintes, conditions aux limites, adimensionnement
- Écoulements visqueux : réversibilité, écoulements parallèles et quasi-parallèles, théorie de la lubrification
- Trainée visqueuse, hydrodynamique des micro-organismes
- Couches limites laminaire, phénomène de décollement
- Dynamique de la vorticité : théorème de Kelvin, quelques exemples de tourbillons

- Fluides en rotation, théorème de Taylor-Proudman, couches d'Ekman, écoulements géostrophiques
  - Instabilités : Kelvin-Helmholtz, Rayleigh-Taylor, critère de Rayleigh
  - Écoulements turbulents : contraintes de Reynolds, force de traînée, couche limite turbulente
- 

**Code: PHYS-L3-B07-S2**

## Stage expérimental en laboratoire

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Amir Kashani-Poor

*Type d'enseignement : Stage*

Volume horaire : 1 mois à temps plein

Ce stage de nature expérimentale s'inscrit parmi les suppléments de physique imposés dans le cadre du Diplôme de l'ENS. Il se déroule au terme du cursus de licence (L3), au cours de la période estivale, pendant une durée effective d'un mois entre début juillet et mi-septembre. L'étudiant effectue son stage, sous la responsabilité directe d'un chercheur, dans un laboratoire d'un organisme public de recherche ou d'une grande entreprise du secteur industriel.

Le travail est sanctionné, courant septembre, par la remise d'un rapport écrit présentant les résultats obtenus et une soutenance orale devant un jury auquel participe, si possible, le responsable du stage. L'évaluation prend en compte la présentation du mémoire et l'expression orale de l'étudiant aussi bien que la qualité du travail accompli.

Le laboratoire d'accueil peut se trouver en région parisienne ou en province. En revanche, la durée du stage n'est pas suffisante pour permettre à l'étudiant de s'adapter profitablement à un environnement scientifique et culturel étranger : c'est au second semestre de l'année suivante que chacun se voit offrir l'occasion concrète d'effectuer un stage de recherche dans un pays étranger.

---

**Code: PHYS-L3-A10-S2**

## Introduction à l'Astrophysique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3 6

Responsable : Nick Kaiser

Autres enseignants : François LEVRIER

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 15h cours / 15h TD*

Le cours abordera les grands domaines de l'astrophysique contemporaine. Après une introduction générale des principales échelles et processus physiques, les questions suivantes seront plus spécifiquement abordées :

Emission et transfert de rayonnement

Physique des intérieurs stellaires et évolution des étoiles

Objets compacts

Formation des étoiles et milieu interstellaire

Cosmologie

---

**Code: PHYS-L3-B08-S2**

## **Ordres de grandeur, lois d'échelles et méthodes perturbatives**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Frédéric Chevy

Autres enseignants : Thibaud Mainbourg

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 20h cours / 20h TD

Prérequis :

Physique de base (mécanique, thermodynamique, si possible physique quantique élémentaire aussi) et mathématique de base

La première partie du cours est destinée à familiariser les étudiants physiciens avec le raisonnement qualitatif et l'évaluation des ordres de grandeur en physique. L'analyse dimensionnelle, ses applications à la recherche de solutions auto-semblables et le lien avec les lois d'échelle en physique sont présentés de façon détaillée. Les différents exemples sont choisis de manière à aborder des thèmes aussi variés que possible. Divers exemples de méthodes perturbatives font l'objet de la seconde partie du cours.

---

**Code: PHYS-L3-C20-S2**

## **Optique**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Pierre-François COHADON

Autres enseignants : Davide Dreon

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 24hcours/24hTDs

Ce cours propose un panorama des développements modernes de l'optique, de ses fondements théoriques en lien avec l'électromagnétisme et la physique quantique, jusqu'à ses applications en physique fondamentale (interférométrie en astrophysique, spectroscopie, applications en biophysique...) ou en optoélectronique (sources laser, communications par fibre optique...).

1. Le photon, quantification du champ électromagnétique, fluctuations du vide.
2. Propagation dans le vide. Optique paraxiale. Pouvoir de résolution des instruments d'optique, microscopie. Limite de l'optique géométrique.
3. Interférométrie : interféromètres de Michelson et cavités Fabry-Perot
4. Description quantique de l'interaction atome-champ électromagnétique. Émission spontanée, émission stimulée, absorption, coefficients d'Einstein
5. Équations de Maxwell dans la matière. Optique des milieux
6. Modèles microscopiques de la polarisation pour les électrons atomiques
7. Principes des lasers
8. Optique des nano-objets : miroirs de Bragg, microcavités, cristaux photoniques et méta matériaux

---

**Code: PHYS-L3-A11-S2**

## **Dynamisme et modélisation (filière Mathématiques et Physique)**

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Claude Viterbo

Autre enseignant : Emmanuel Dormy

Type d'enseignement : cours /TD

*Volume horaire : 48h cours+TD*

Les problèmes simples de mécanique, impliquant peu de degrés de liberté, peuvent généralement être modélisés à l'aide de systèmes couplés d'équations différentielles ordinaires. Bien que simples, ces systèmes mènent à une dynamique particulièrement riche et à des situations parfois imprédictibles ; c'est le chaos déterministe.

De manière plus surprenante, la dynamique des systèmes complexes (comme les écoulements atmosphériques ou océaniques, la circulation des courants électriques dans les planètes et les étoiles, et bien d'autres encore) peut également être décrite en termes de systèmes dynamiques. Ce cours introductif se concentrera sur les aspects mathématiques de ces modèles dynamiques, les problèmes physiques qui les motivent et les difficultés introduites par la construction de solutions numériques approchées.

---

**Code: PHYS-S01-S1/ PHYS-S02-S2**

## **Séminaire du Prédoctorat 1**

Niveau : L3

Semestre: S1, S2, ECTS: 2 3

Responsable: Sylvain Nascimbène

*Type d'enseignement : séminaire*

*Volume horaire : 1h30 hebdomadaire*

L'assistance régulière à un séminaire de recherche est un élément fondamental du travail d'un chercheur. Elle est indispensable pour ne pas enfermer ses activités dans un sujet trop étroit, pour garder le contact avec la recherche menée au quotidien dans d'autres laboratoires et pour prendre connaissance des nouvelles thématiques développées par les collègues. Dans cette perspective, les études prédoctorales de physique organisent un séminaire hebdomadaire qui aborde divers domaines de la physique fondamentale et s'ouvre à un certain nombre de disciplines voisines.

Les séances ne sont pas des cours magistraux : leur objectif est de présenter un vaste éventail de thèmes scientifiques faisant l'objet de recherches actives, afin de permettre aux étudiants de compléter leur formation générale de physiciens dans la perspective de leur orientation future et de leur spécialisation. Les conférenciers sont des chercheurs qui exposent de façon pédagogique, à un niveau immédiatement accessible, la problématique générale de leur domaine de recherche et les enjeux des travaux qui sont menés actuellement sur le sujet. Le séminaire de la FIP est organisé sur une base hebdomadaire, tout au long de l'année universitaire.

Moment privilégié de dialogue et d'échanges entre promotions, ce séminaire est destiné : -

Au premier semestre, aux étudiants de licence (L3) et de première année de master (M1) ---

Au second semestre, aux seuls étudiants de licence (L3), leurs camarades effectuant alors leur stage de recherche.

Le séminaire de la FIP fait partie des enseignements imposés par les études prédoctorales de physique dans le cadre du Diplôme de l'ENS. Chacun des trois semestres, L3/S1, L3/S2, donne lieu à l'attribution de 3 unités ECTS (soit 6 unités ECTS au total). La validation s'effectue sur la base de l'assiduité (obligatoire) aux séances hebdomadaires et, en complément, sous la forme de comptes rendus de séances rédigés par plusieurs binômes d'étudiants.

---

**Code: PHYS-M1-C02-S1**

## **Mécanique quantique relativiste et introduction à la théorie quantique des champs**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Adel Bilal

Autre enseignant : Guilhem Semerjian

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 30h cours/30h TD*

Ce cours a pour but de donner un cadre et une formulation relativiste de la mécanique quantique.

Après un rappel des bases de la relativité restreinte et de la mécanique quantique, la première partie de ce cours traite de ce qu'on appelle communément « mécanique quantique relativiste ». Nous introduirons des généralisations relativistes de l'équation de Schrödinger, à savoir les équations de Klein-Gordon et de Dirac. Nous étudierons les propriétés et les problèmes de ces équations d'ondes relativistes quelque peu en détail. Comme exemple d'un calcul utile nous déterminerons le spectre relativiste de l'atome d'hydrogène.

La deuxième partie de ce cours donnera le cadre pour faire correctement une théorie quantique relativiste en introduisant la théorie quantique des champs. Nous étudierons les champs scalaires (de Klein-Gordon), spinoriels (de Dirac), ainsi que vectoriels. Un point central sera de décrire les interactions, ce qui nous conduira à la notion de matrice S et à l'introduction (et au calcul !) des diagrammes de Feynman.

Prérequis : Une bonne connaissance de la mécanique quantique (non-relativiste) et quelques notions de la relativité restreinte.

---

**Code: PHYS-M1-C06-S1**

## **Physique expérimentale**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Arnaud Raoux

Autres enseignants : Guillaume Michel et Alexis Brès

*Type d'enseignement :*

*Volume horaire : 1/2 jour hebdomadaire*

Cette option d'un semestre dédiée à la physique expérimentale consiste en deux parties.

Dans un premier temps (6 séances), les étudiants s'attaqueront en binômes à une série de travaux pratiques, dont le but est d'apprendre à mener une expérience quantitative simple, en analysant de manière critique les résultats pour vérifier une loi physique ou mesurer une grandeur pertinente, ainsi que de se familiariser avec des instruments de mesure de la recherche en physique. Afin de préparer à un stage long expérimental au second semestre, un soin particulier sera demandé sur le traitement des incertitudes capital en physique expérimentale. Les étudiants pourront choisir parmi trois cursus avec des thématiques différentes (détaillés ci-dessous) selon leurs affinités.

En seconde partie (4 séances), les étudiants mettront en pratique la rigueur expérimentale qu'ils auront acquise lors des travaux pratiques, et travailleront sur des projets expérimentaux "ouverts", projets dont la problématique aura été choisie en amont par les étudiants (avec l'accord avec des enseignants).

**Cursus 1 : Physique de la matière condensée**

Cette option est consacrée à l'étude des conséquences macroscopiques de la structure microscopique des solides. On s'intéressera ainsi spécifiquement aux propriétés des cristaux, métaux, matériaux piézoélectriques, semi-conducteurs et milieux magnétiques en abordant plusieurs applications. Parmi ces dernières se trouvent de nombreux objets de la vie quotidienne comme la diode laser et les cellules photovoltaïques mais aussi des méthodes d'investigation microscopique (diffraction d'électrons, mesure de gap, etc.).

**Cursus 2 : Physique macroscopique**

Sous l'appellation de physique macroscopique sont regroupés des thèmes de physique classique tels la mécanique des fluides ou la thermodynamique. Un effort est mis sur les méthodes de visualisation optique, permettant par exemple l'observation de contraintes mécaniques, ondes acoustiques, mouvements convectifs ou encore de diffusion d'un liquide dans un autre. Cette option est aussi l'occasion de découvrir expérimentalement des sujets de recherche actuels comme la physique non-linéaire.

Cursus 3 : Optique : aspects classique, ondulatoire et quantique

Un semestre entier est nécessaire pour aborder les différentes facettes de l'optique. Après des rappels d'optique classique sera développée l'optique ondulatoire au travers des problématiques usuelles de diffraction/interférences ainsi que de celles plus rarement abordées de biréfringence et de contrôle de la polarisation. L'optique quantique sera ensuite évoquée via l'étude de différents types de lasers et de photorécepteurs. Ces techniques seront mises en oeuvre pour remonter à des résultats de physique atomique comme la structure hyperfine ou la largeur des raies d'une lampe spectrale.

L'évaluation se fera par un contrôle continu, une présentation orale d'une expérience traitée au cours du semestre, et un court rapport écrit de leur projet.

Cette option peut également être vue comme une préparation anticipée à l'épreuve de montage de l'agrégation, l'ensemble des expériences proposées couvrant une partie notable du programme de ce concours.

---

**Code: PHYS-M1-C07-S1**

## Physique pour la biologie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Sylvie Hénon

Autres enseignants : Steve Donaldson

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Chapter I - Introduction : a few biological systems and some physics tools

Chapter II - Electrostatics and thermodynamics of salty solutions : Poisson-Boltzmann equation, DLVO theory. Osmotic pressure

Chapter III - Diffusion and brownian motion

Chapter IV - Biological macromolecules : statistical physics and micromanipulations

Chapter V - Molecular motors

---

**Code: PHYS-M1-C08-S1**

## Projet bibliographique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Werner Krauth

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 1/2 jour hebdomadaire

Le travail personnel occupe une place essentielle dans les études prédoctorales de physique à l'ENS. Le volume horaire (réduit) des enseignements invite les prédoctorants physiciens à prendre le temps de la réflexion et de l'approfondissement en s'appuyant sur des documents externes, monographies et recueils d'exercices, autant que sur les notes de cours et de travaux dirigés. Les projets bibliographiques s'inscrivent dans cette logique. Au terme d'un travail personnel qu'il effectue, sous la direction d'un chercheur du Département de physique de l'ENS, au rythme d'une demi-journée par semaine, le prédoctorant expose ses résultats au cours d'une soutenance orale. L'évaluation prend en compte la qualité de la présentation comme le travail accompli. Ce projet peut constituer une phase préparatoire du stage de recherche que le prédoctorant effectue au second semestre. Un aspect précis du stage, tel que défini en début d'année universitaire, peut en effet donner lieu à un travail bibliographique réaltable, en concertation entre son futur responsable et un chercheur de l'ENS.

Ce projet entend faire manipuler l'outil bibliographique par l'identification et l'exploitation d'un petit nombre d'articles portant sur un sujet de physique moderne. Le prédoctorant se livre ainsi à une démarche de recherche qui complète sa formation théorique ; on lui demande de préparer son travail de synthèse dans une perspective didactique.

---

**Code: PHYS-M1-C11-S1**

## **Introduction à la relativité générale**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Gilles Esposito Farèse

Autres enseignants : Erwan Allys

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 16h cours / 16h TD*

La relativité générale, théorie relativiste de la gravitation, est fondée sur deux hypothèses indépendantes : le principe d'équivalence, qui permet de décrire le mouvement de la matière dans un espace-temps courbe donné ; et les équations d'Einstein, qui prédisent cette courbure en fonction des sources matérielles. Après avoir introduit les outils de géométrie riemannienne nécessaires, nous étudierons les effets observables aussi bien dans le système solaire (avance du périhélie de Mercure, déflexion de la lumière, ...) que dans les pulsars binaires, avec notamment la perte d'énergie par émission d'ondes gravitationnelles. Toutes ces prédictions sont remarquablement confirmées par l'expérience. Nous terminerons par une brève introduction à la cosmologie relativiste, technique à cette théorie, qui sera suivie d'applications en astrophysique dans le domaine des ondes gravitationnelles et des trous noirs, et en cosmologie.

Place de la gravitation en astrophysique

Principe de relativité

Rappels de relativité restreinte

Principe d'équivalence

Notion de force gravitationnelle

Calcul tensoriel

Equations de la relativité générale

Tests classiques dans le système solaire

Ondes gravitationnelles

Effondrement gravitationnel et trous noirs

Introduction à la cosmologie

---

**Code: PHYS-M1-C16-S1**

## **Physique numérique et analyse numérique**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Dormy

Autre enseignant : Ludivine Oruba

Encadrement des projets : Emmanuel Dormy, Ludivine Oruba, Kris Van Houcke

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 30h cours/30h TD*

La modélisation numérique prend une importance croissante pour l'étude des phénomènes physiques en complément des études expérimentales. Les modèles numériques permettent de modifier facilement les conditions et les paramètres d'une expérience « virtuelle ». Ils permettent d'avoir accès à des grandeurs difficiles à mesurer expérimentalement. Ils permettent enfin de tester les descriptions théoriques sous forme d'équations aux dérivées partielles, en les confrontant à l'expérience. Pour autant les écueils sont nombreux et la réalisation hâtive d'une expérience numérique peut rapidement mener à l'étude d'artéfacts numériques plutôt qu'à celle de phénomènes physiques.

Les huit premières séances du de cours permettront d'introduire la physique numérique et d'illustrer les difficultés physiques et mathématiques associées à la modélisation numérique.

Enfin, pour les élèves du cursus physique, les sept dernières séances seront consacrées à des projets développés en binômes par les élèves.

Thèmes abordés :

Différences finies, volumes finis, éléments finis, méthodes spectrales. Convergence, stabilité, méthodes d'ordres élevés, complexité. Discontinuités, diffusion numérique, dispersion numérique, anisotropie numérique. Géométrie, conditions aux limites, adaptativité.

---

**Code: PHYS-M1-D01-S2**

## **Stage de recherche en laboratoire**

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : Jean-François Allemand

*Type d'enseignement : Stage*

*Volume horaire : 1 semestre à temps plein*

En première année de master (M1), le second semestre (entre février et juillet) est entièrement consacré à un stage de recherche en laboratoire que les étudiants effectuent le plus souvent à l'étranger. Ce stage se déroule à temps plein dans un laboratoire appartenant à un organisme public de recherche ou d'une grande entreprise du secteur industriel, de préférence dans les pays de l'Union européenne mais aussi en Amérique du nord ou dans d'autres pays. Il est mené sous la responsabilité d'un chercheur du laboratoire et doit laisser une certaine autonomie à l'étudiant afin que celui-ci tire le plus grand bénéfice de cette première immersion de longue durée dans un environnement de recherche professionnelle.

Le stage de recherche offre à chaque étudiant une occasion exceptionnelle d'élargir son horizon et sa culture scientifique.

Sa durée d'un semestre lui confère le statut d'un véritable travail de recherche : il n'est pas rare qu'il donne lieu à une première publication scientifique. Le travail est sanctionné par la remise d'un rapport écrit présentant les résultats obtenus et une soutenance orale devant un jury réunissant le directeur des études, le responsable du programme ainsi que des chercheurs extérieurs. L'évaluation prend en compte la présentation du mémoire et l'expression orale de l'étudiant aussi bien que la qualité du travail accompli.

---

**Code: PHYS-M1-A04-S1**

## **Transformation d'énergie**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Stephan Fauve

Autre enseignant : Guillaume Michel

*Type d'enseignement : cours /TD*

*Volume horaire : 16h cours / 16h TD*

1. Bilans énergétiques de la terre

- Energie solaire
- Cycle de l'eau, vents, courants, hydroélectricité
- Photosynthèse, énergies fossiles
- Géothermie

2. Machines thermiques

- Rendement de Carnot, sources d'irréversibilité

- Quelques exemples de machines thermiques
  - Machine de Stirling et rendement de Carnot
  - Rendement à puissance maximale (Curzon et Ahlborn)
  - Rendement de Curzon et Ahlborn dans la limite d'Onsager
  - Bornes sur le rendement de machines réelles
3. La thermoélectricité
- Effets Seebeck, Peltier, Thompson
  - Analyse simple de la génération thermoélectrique
  - Limitations du rendement
4. Transformations d'énergie par l'intermédiaire d'instabilités
- L'effet dynamo : génération d'électricité à partir de travail mécanique
  - Moteurs électriques
  - Instabilités thermoacoustiques
5. Quelques systèmes naturels fonctionnant comme des machines thermiques
- La convection
  - Dynamique à grande échelle de l'atmosphère des planètes
  - Les vortex comme réfrigérateurs
  - Amplification d'un cyclone
6. Les cellules solaires
- Rappels de thermodynamique du gaz de photons
  - Principe des cellules solaires
  - Transformation rayonnement-travail
  - La limite de concentration solaire
  - Effet du gap sur la limite du rendement des cellules solaires

---

**Code: PHYS-M1-A02-S1**

## **Fluides quantiques**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Alice Sinatra

Autres enseignants : Kris van Houcke

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 16h cours / 16h TD

The course concentrates on the fundamental concepts of degeneracy, long-range order and coherence, superfluidity and superconductivity. We analyze these phenomena and present their manifestations and consequences in different physical systems that are put into perspective. Bose-Einstein condensation, Cooper-pairing in a Fermi system, liquid helium-4, superfluid helium-3 and standard superconductivity will be treated, including:

- ▶ Basic theoretical tools: the nonlinear Schrödinger equation, the excitation spectrum, the two-fluid model, the Ginzburg-Landau theory
- ▶ Classical experiments and some recent developments

Physical examples will be developed in tutorials. Technicalities will be avoided as much as possible leaving a detailed microscopic study of these systems for the next year.

---

**Code : PHYS-M1-C10-S1**

## **Cosmologie et formation des galaxies primordiales**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Benoît Semelin

Autres enseignants : Jérémy Neveu

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16hcours/16hTD

Dans les 25 dernières années un certain nombre d'observation au sol et dans l'espace (Fond diffus cosmologique, supernovas lointaines, oscillations acoustiques baryoniques, lentillage gravitationnel) ont permis à la cosmologie de passer du stade de théorie prometteuse à de modèle largement testé dans lequel les paramètres principaux sont établis avec une précision de quelques pourcents. Bien que des trous béants demeure dans nos connaissance, tes que la nature de la matière noire et de l'énergie noire, le model standard  $\Lambda$ CDM est actuellement celui qui permet de concilier dans un même cadre le plus grand nombre d'observations.

Dans le cadre de cet enseignement nous présenterons d'abord la solution Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker (FLRW) des équations de la relativité générale dans le cadre d'une approche simple, et nous en déduirons les propriétés principales de l'expansion de l'univers. Nous étudierons ensuite la physique de la matière et du rayonnement dans un tel cadre en nous concentrant sur les conséquences observationnelles mesurables.

---

**Code : PHYS-M1-C03-S1**

## **Physique statistique : des concepts aux applications**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Werner Krauth

Autres enseignants : Jacopo de Nardis et Olga Petrova

Type d'enseignement : cours/TD

*Volume horaire : 30hcours/30hTD*

This lecture course on statistical mechanics will take students from the foundations of probability theory and statistical inference to the important models and the central concepts and techniques of statistical mechanics. The main focus will be on equilibrium and on classical systems, but we will also treat transport and dissipation, and discuss quantum statistical mechanics for Boson systems and quantum spin models.

Organization, grading

There will be 15 lectures and tutorial sessions, 8 graded homeworks (50% of the grade), and a written final exam (50%, also).

Planning

Lectures and tutorial sessions each Monday morning, from 4 September 2017 through 18

December 2017 (Lectures : 8:30 - 9:25 am, 9:35 - 10:30 am ; tutorials : 10:45 - 11:40 am, 11:50 am - 12:45 pm). Final exam : 15 January 2018 8:30 - 12:30

Prerequisites

This course will be self-contained. Some prior exposure to elementary statistical or thermal physics on the undergraduate level may be useful.

Computing requirements

Probability, statistics, and statistical physics are today closely linked to computing. Students should be able to download, run and modify elementary Python programs. Many such programs will be provided, and some will have to be written for the homework sessions.

#### Syllabus

1. Probability theory
  - Probabilities, probability distributions, sampling
  - Random variables
  - Expectations
  - Inequalities (Markov, Chebychev, Hoeffding)
  - Convergence of random variables (Laws of large numbers, CLT)
  - Lévy distributions
2. Statistics (statistical inference, estimation, learning)
  - Point estimation, confidence intervals
  - Bootstrap
  - Method of moments
  - Maximum likelihood, Fisher information
  - Parametric Bootstrap
  - Bayes statistics
3. Statistical mechanics and Thermodynamics
  - Rapid overview on the connection between statistical mechanics and thermodynamics
  - lightning review of ensembles and
  - lightning review of the main physical quantities (partition function, energy, free energy, entropy, chemical potential, correlation functions, etc).
4. Physics in one dimension
  - One-dimensional hard spheres, virial expansion, partition function
  - One-dimensional Ising model
  - Transfer matrix
  - Kittel model
  - Chui-Weeks model : Infinite-dimensional transfer matrix
  - One-dimensional Ising model with  $1/r^2$  interactions
5. Two-dimensional Ising model : From Ising to Onsager
  - Peierls argument, Kramers-Wannier relation
  - Two-dimensional transfer matrix (following Schultz et al)
  - Jordan-Wigner transformation
  - Free energy calculation
  - Spontaneous magnetization, zero-field susceptibility
  - Kaufman, Ferdinand-Fisher, Beale
6. Two-dimensional Ising model : From Kac and Ward to Saul and Kardar
  - Van der Waerden, low-temperature and high-temperature expansions
  - Duality
7. Physics in two dimensions ( Kosterlitz-Thouless physics) : XY (planar rotor) model
  - Peierls argument
  - Mermin-Wagner theorem
  - Non-universality
8. Physics in two dimensions ( Kosterlitz-Thouless physics) : Particle systems, superfluids
9. Physics in infinite dimensions : Mean-field theory, Scaling
10. Physics in infinite dimensions : Landau theory
11. Renormalization group
12. The Solid state : Order parameters, correlation functions
13. Quantum systems - bosons
14. Quantum systems - spin systems
15. Equilibrium and transport, Fluctuation-dissipation theorem.

1. L. Wasserman, "All of Statistics, A Concise Course in Statistical Inference" (Springer, 2005)
2. W. Krauth, "Statistical Mechanics : Algorithms and Computations" (Oxford, 2006)
3. M Plischke, B Bergersen, "Equilibrium Statistical Physics" (World Scientific)
4. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, "Statistical Physics" (Pergamon)

---

**Code : PHYS-M1-A05-S1**

## **Mathématiques avancées pour physiciens**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Amir Kashani-Poor

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16hcours/16hTD

---

**Code : PHYS-M1-A06-S1**

## **Matière molle et interfaces**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Lydéric Bocquet et David Quéré

Autre enseignant : Joshua McGraw

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16hcours/16hTD

Dans ce cours, nous introduirons les concepts clef de la matière dite 'molle' (soft matter), vus sous l'angle de ses interfaces. La matière molle pourrait être définie comme l'ensemble des problématiques qui s'intéressent aux 'formes complexes et à la structuration multiéchelle de la matière'. C'est un domaine où il s'agit de comprendre et mettre au point des matériaux aux propriétés paradoxales ou ambiguës : ainsi le mélange de deux phases aussi fluides que l'eau et l'air peut-il produire le quasi-solide qu'est, à certains égards, une mousse à raser.

De par sa nature interdisciplinaire, la matière molle est un domaine protéiforme qui explore les propriétés de matériaux très variés : depuis le cœur 'historique' de la matière molle - colloïdes, polymères, milieux granulaires, mousses, émulsions, ... -, en passant par la multitude de matériaux biologiques, jusqu'aux derniers développements sur la matière active, l'auto-assemblage, les origamis moléculaires. Elle se retrouve ainsi naturellement à l'interface entre plusieurs disciplines, physique, matériaux, chimie, ... et a donc un rôle essentiel à jouer dans le développement d'une physique fondamentale interdisciplinaire.

Nous mettrons l'accent tout particulièrement sur le rôle des interfaces en matière molle (ce sont elles, par exemple, qui "durcissent" la mousse à raser), partant de la définition d'une énergie d'une interface et en explorant quelques unes de ses innombrables conséquences. Le cours introduira ainsi les concepts élémentaires de la matière molle et de ses interfaces – adsorption, mouillage, forces entropiques, osmose, ... -, ainsi que la boîte à outils qui permet de la décrire, couplant physique des milieux continus (capillarité, mouillage, hydrodynamique, élasticité, électrodynamique des interfaces, ...) et physique statistique (transitions de phases, fluctuations, équation de Langevin, ...). L'objectif est de donner un panorama de la matière molle depuis les propriétés macroscopiques jusqu'à ses fondements microscopiques.

Cet enseignement se fondera sur un certain nombre d'expériences clés, et nous privilégierons souvent pour les analyser une approche en lois d'échelle.

Notez enfin qu'il n'est pas requis d'avoir lu "Babar sur la planète molle" (paru en 1974) pour suivre cet enseignement.

---

**Code : PHYS-M1-A07-S1**

## Équations aux dérivées partielles non-linéaires

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Stephan Fauve

Autre enseignant : Guillaume Michel

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16hcours/16hTD

### 1. Partial differential equations (PDEs) in physics

- Examples
- Why do we get PDEs of similar forms in different domains of physics ?
- What are the mechanisms that generate nonlinearities ?

### 2. The nonlinear advection equation

- Kinematic waves
- The method of characteristics
- Wave breaking
- Shock waves
- Examples from traffic flow, compressible gas dynamics, shallow water waves

### 3. Self-similar solutions of partial differential equations

- Dimensional analysis and relation with group theory
- Nonlinear diffusion and anomalous exponents
- Advection-diffusion and some problems related to mixing of a passive scalar in a turbulent flow

### 4. The nonlinear Schrödinger equation (NLS)

- Weakly nonlinear waves in a dispersive medium
- The method of multiple scales
- Side-band instability of a monochromatic wave
- Solitary waves ; continuous family of solutions from dilatation and Galilean invariances
- From NLS to the Korteweg-de Vries equation (KdV)

### 5. Some exact solutions of nonlinear PDEs

- Burgers equation and the Hopf-Cole transformation
- Hirota's method to solve KdV equation
- Collisions of solitons
- Other methods to find exact solutions in integrable systems

### 6. Ginzburg-Landau equations

- Examples from magnetism, supraconductivity and commensurate-incommensurate transitions
- Long wavelength instabilities and defects
- Dynamics of topological defects ; describing a system as a field or particles.

---

**Code : PHYS-M1-C18-S1**

## Optique quantique et nano-photonique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Christophe Voisin et Nicolas Treps

Autre Enseignant : Emmanuel Baudin

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16hcours/16hTD*

Ce cours présente les avancées majeures en nano-photonique au cours des dernières décennies. Il s'appuie sur les concepts de base sur l'interaction lumière-matière et explore à la fois les recherches fondamentales et les développements technologiques. Une large place est faite à la discussion de résultats expérimentaux fondateurs.

Liste indicative des domaines abordés :

- l'interaction lumière-matière en phase condensée (excitons, polaritons, plasmons...)
- les techniques spectroscopiques
- la plasmonique
- les nano-structures de semi-conducteurs : diodes, lasers, lasers à cascade quantique
- micro-résonateurs optiques et photonique quantique
- les nouveaux matériaux bi-dimensionnels (graphène, dichalcogénures,...)

---

**Code : PHYS-M1-C19-S1**

## **Introduction à la supraconductivité**

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Jérôme Lesueur

Autre enseignant : Kris Van Houcke

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16hcours/16hTD*

Dans ce cours introductif, nous commencerons par décrire les manifestations expérimentales de la supraconductivité, dans une perspective historique. Nous poursuivrons en décrivant l'électrodynamique propre aux supraconducteurs, et son interprétation dans le cadre des équations de London. Puis, nous aborderons la théorie microscopique BCS (Bardeen Cooper Schrieffer), qui décrit l'état supraconducteur comme un état quantique cohérent formé de paires de Cooper. L'énergie d'appariement se traduit par un gap dans le spectre des excitations des supraconducteurs, qui régit leurs propriétés électroniques. Pour décrire le comportement des supraconducteurs sous champ magnétique et l'apparition de vortex, nous ferons appel à la théorie phénoménologique de Ginzburg Landau. L'effet Josephson, qui se manifeste lors du couplage entre deux supraconducteurs, sera abordé, avant de terminer le cours par une description des principaux matériaux supraconducteurs et de leurs applications.

---

**Code: PHYS-M2-A0-S1**

## **Statistical physics**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Trizac

Autres enseignants : Frédéric Van Wijland, et Martin Lenz

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 18hcours/26hTD*

I Introduction to phase transitions and critical phenomena

1- The problems raised by phase transitions, from a statistical mechanics perspective

2- Classification of phase transitions

3- Ising model : why ?

4- Order parameter and symmetry breakdown

5- Local order and correlation functions : from magnets to liquids

II First order phase transitions

1- Unstable isotherms, double-tangent and Maxwell construction

- 2- Spinodal and binodal
  - 3- Changing ensembles
  - 4- van der Waals equation
  - 5- The case of mixtures
- III Critical phenomena : qualitative approaches
- 1- Weiss molecular field
  - 2- Variational mean-field
  - 3- Critical exponents
  - 4- Landau theory
  - 5- Correlation functions and Ginsburg-Landau functional
  - 6- Validity of mean-field
- IV Renormalisation group ideas
- 1- What are the problems ?
  - 2- Definition of a renormalisation group transformation
  - 3- Fixed points and universality
  - 4- Scale invariance, critical exponents, and finite size scaling
  - 5- Two-dimensional systems and conformal invariance

---

**Code: PHYS-M2-A1-S1**

## **Atoms and Photons**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Michel Raimond

Autres enseignants : Julien Laurat et Hélène Perrin

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 20h cours/20hTD*

Interaction matière-rayonnement classique, semi-classique et quantique, quantification du rayonnement, émission spontanée. Quelques phénomènes importants de l'optique quantique pour les systèmes à deux et trois niveaux.

---

**Code: PHYS-M2-A2-S1**

## **Biophysics**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre Sens

Autres enseignants : Sylvie Henon

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 36h cours/16hTD*

In this course, we will lay the physical basis for a quantitative description of biological cells.

After a general introduction on the structure of cells and the relevant molecular components and physical scales, we will show how the concepts developed to study soft matter, the mechanics of complex media, and in- and out-of-equilibrium statistical mechanics can be used to describe and understand living matter.

Topics covered:

- A short introduction to cell and tissues biology, structure/function, key molecules and orders of magnitude. Why a physical approach to cell biology
- Brownian motion. Langevin equation. Fluctuation-dissipation theorem.
- Out-of-equilibrium fluctuations in living systems.
- Reaction rates: Diffusion-limited reactions, enzyme kinetics, first passage time, physical limits to bacteria chemotaxis

- Physics of DNA: Bending and torsional elasticity, topological constraints. Single molecule experiments
- Cytoskeleton proteins: Single filament (Actin, microtubules): Rigidity, dynamics, polymerization force, Motor proteins: non-equilibrium thermodynamics
- Cell mechanics: Viscoelastic properties of cells and tissues. Force generation by cells. Mechanotransduction
- Physics of biological membranes: Elasticity and statistical mechanics of membranes. Physics of membrane proteins
- Low Reynolds number hydrodynamics. Stokes equation. Scallop Theorem. Bacteria motion.

---

**Code: PHYS-M2-A3-S1**

## Physics of fluids

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Frédéric Restagno

Autres enseignants : David Quéré, Christophe Clanet

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

---

**Code: PHYS-M2-A4-S1**

## Soft Matter Physics

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Marc Di Meglio

Autres enseignants : Thomas Salez

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

1. Introduction: soft/hard objects, time and length scales, interactions. 2. Polymers: a bit of chemistry, ideal chains.
3. Polymers: real chains, self-avoiding walks.
4. Polymers: solutions
5. Polymers: scaling laws, blobs and confinement
6. Polymers: interfaces, colloidal strategies and force measurements 7. Charge effects, polyelectrolytes
8. Copolymers, stars and exotic chains
9. Scattering methods
10. Dynamics of long objects

---

**Code: PHYS-M2-A5-S1**

## Invariances en physique et théorie des groupes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Paul Windey

Autres enseignants : Benjamin Basso

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Ce cours présente quelques éléments de base de la théorie des groupes appliquée à l'étude des Invariances en physique. Après quelques rappels sur les groupes de la Relativité et des rotations et sur l'équation de Dirac, qui seront donnés pendant la semaine de « prérentrée », on abordera l'étude des groupes et algèbres de Lie et de leurs représentations. La théorie de Cartan des racines et poids sera ensuite présentée. Les applications principales qui seront discutées dans ce

cours porteront sur les symétries du Modèle Standard de la physique des particules, symétries de saveur et de jauge.

---

**Code: PHYS-M2-A6-S1**

## **Magnétisme et supraconductivité**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Dimitri Roditchev

Autres enseignants : Vincent Repain, Marie-Aude Measson

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours/26h TD*

Abstract. Superconductivity and magnetism are among the most fascinating phenomena in physics, widely used in modern technology. Superconductivity and magnetism manifest themselves macroscopically, but they both have characteristic microscopic spatial and energy scales and deep microscopic quantum roots. An appropriate quantum mechanical description of both phenomena is therefore required to understand various quantum effects related to these two topics. This comprehension enables one to design superconducting, magnetic or hybrid systems in which the interplay between superconductivity and magnetism leads to novel quantum phenomena.

Lessons (28 hours) :

Part 1. Superconductivity, 14 hours:

1. Superconductivity and related phenomena : One century of major discoveries.
2. Manifestation of superconductivity. Phenomena and properties. First theoretical considerations.
3. Ginzburg-Landau theory. Order parameter. Characteristic length scales. Vortex.
4. Cooper pairs. BCS theory of superconductivity. Quasiparticle excitation spectrum. Tunneling. Josephson effect.
5. High-Tc superconductors. Unconventional superconductivity.
6. Superconductivity at nano-scale.
7. State of the art and challenges in superconductivity.

Part 2. Magnetism, 14 hours:

1. The story of spin : From thermodynamics to quantum mechanics.
2. From microscopic to macroscopic magnetism. Atomic magnetism. Localized versus itinerant magnetism. Phase transitions in magnetism
3. Low dimensional magnetism : From micromagnetism to nanomagnetism. Issues and opportunities in magnetic recording.
4. Few open questions in modern magnetism. New magnetic metamaterials. Quantum magnetism.

Tutorials (TD), 12 hours (6 x 2 hours)

Laboratory, 16 hours (2 works, 2 x half-day each) :

1. First project (8 hours): Growth and patterning of Josephson junctions. Transport measurements : 1-superconducting transition  $R(T, B, I)$ , 2-  $I(V)$  DC-characteristics of Josephson junctions,  $J_c(T, B)$ .
2. Second project (8 hours): Growth of magnetic layers. Characterization by magneto-optics, Magnetic Force Microscopy and SQUID. Magneto-resistance measurements.

---

**Code: PHYS-M2-A8-S1**

## **Advanced Quantum Mechanics**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Philippe Lecheminant

Autres enseignants : Edouard Boulat  
*Type d'enseignement : cours/TD*  
*Volume horaire : 26h cours/26h TD*

The goal of the lectures is to master the simple but necessary tools for the understanding of quantum systems under current investigation in low-energy physics (condensed matter or ultracold atoms physics), in general coupled quantum systems. The lectures are organized in two main parts: the second quantification approach and the quantum scattering theory. In the first part, we will investigate systems of identical quantum particles by means of the second quantification approach, a framework necessary to study interactions and low-energy excitations in ultracold atoms or condensed matter physics. Direct applications to these systems will be covered in these lectures, in particular, through quadratic Hamiltonians which occur in the context of supraconductivity (BCS) or superfluidity (Bogoliubov approach) phenomena. Finally, in the second part of the course, the emphasis will be laid on quantum scattering theory or two-body collision theory which is directly relevant to cold atoms physics. A formal description of scattering theory will be introduced together with applications in the low-energy limit with the study of the concept of scattering length.

The books to be mastered as a prerequisite to the lectures:

- \* Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloë, Quantum Mechanics.
- \* Albert Messiah, Quantum Mechanics (the non-relativistic part).

---

**Code: PHYS-M2-A9-S1**

## **Non linear Physics and morphogenesis**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Martine Ben Amar et Stephan Fauve

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours/26h TD*

Le but de ce cours est d'introduire les méthodes de la physique non linéaire à partir d'exemples pris en hydrodynamique, élasticité ou biophysique. Seront exposées la théorie des bifurcations, les équations de réaction-diffusion, la morphogenèse.

Ces outils théoriques seront appliqués à la modélisation de phénomènes physiques ou environnementaux comme la croissance des cristaux, les digitations visqueuses et les structures fractales. On donnera quelques caractéristiques de la croissance en biologie ou botanique.

---

**Code: PHYS-M2-A10-S1**

## **Numerical Physics : Algorithms and Computations**

Niveau: M2

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsable: Alberto Rosso

Autres enseignants : Marco Civelli et Guillaume Roux

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours/26h TD*

Ce cours introduira à la physique numérique, avec des applications en physique statistique, physique macroscopique et complexité (ex physique des liquides), et matière condensée. Le cours magistral sera accompagné de travaux dirigés, et les étudiants auront à faire des devoirs à la maison. On cherchera à trouver un équilibre entre une description du contenu physique, une introduction aux algorithmes et à la programmation, et une initiation aux mathématiques appliquées, qui font souvent défaut.

1. Modèles de la physique statistique

(phys :) Transitions de phase, Universalité (Ising, XY, ...), finite-size scaling, Transition de Kosterlitz-Thouless

(algorithmes :) Méthode de Monte Carlo, Algorithmes de cluster.

(math applis :) Variables aléatoires (indépendance, corrélations), statistique des extrêmes.

2. Liquides classiques, matière molle

(phys ) Liquides simples et complexes, mélanges, polymères, facteur de structure.

(algorithmes :) Dynamique moléculaire, méthode de Monte Carlo, Interactions à longue portée

(math applis :) Intégration d'eq. différentielles ordinaires, transformation de Fourier.

3. Systèmes quantiques simples, Problème à N corps bosonique

(phys :) Superfluidité, condensation de Bose-Einstein, ODLRO, Fluides quantiques, Atomes froids.

(Algorithmes :) Décomposition de Trotter, Path-Integral Monte Carlo, Diffusion and Green's function Monte Carlo. Projections.

(Math applis :) Intégrale de chemin, mouvement brownien, brownien fractionnaire.

4. Fermions.

(phys :) Fonctions d'onde de Bloch et de Wannier, fonctionnelle de densité, modèle de Hubbard, problème du signe, spins quantiques

(Algorithmes :) Diagonalisation exacte, Monte Carlo fermionique, Groupe de renormalisation numérique et density-matrix renormalisation group

(Math applis :) Principes de l'algèbre lineaire (numerical eigenvalue problem, Algorithmes d'Arnoldi et de Lanczos), Décomposition en valeurs singulières.

---

**Code: PHYS-M2-A11-S1**

## **Statistical Physics : advanced and new applications**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable :Giulio Biroli

Autres enseignants : Gregory Schehr

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Statistical physics is witnessing a revolution: understanding the dynamics of a very large number of interactive degrees of freedom, which has been from the beginning the main aim of statistical physics, has become now a central problem in many fields such as physics, biology, computer science, just to cite a few.

Now more than ever, statistical physics is both for its methods and its applications a very powerful discipline with a very broad range of theoretical methods and ramifications in many branches of science.

The aim of this series of lectures is facing the students with this very rich state of the art: on one hand by teaching fundamental notions and methods of statistical physics and at the same time by presenting its modern applications in physics and beyond.

The main topics of the lectures are:

- ▶ Stochastic dynamics and thermal noise.
- ▶ Field theory in statistical physics.
- ▶ Stochastic thermodynamics, Time-Reversal symmetry, Fluctuation-Dissipation relations.
- ▶ Selected topics in critical phenomena: The large dimensional limit (mean-field theory), the low dimensional limit (how long-range order is destroyed), basic notions of renormalization group, Finite Size Scaling.
- ▶ Topological defects and phase transitions.
- ▶ Dynamics and phase transitions.
- ▶ Information Theory, computer science and statistical physics.
- ▶ Equilibration and Thermalization.

---

**Code: PHYS-M2-A12-S1**

## **Structural and electronic properties of solids**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Marino Marsi

Autres enseignants : Fabrice Bert

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

>Ordres en matière condensée

>Intro rapide aux différents types d'ordre, symétries, groupes, ordres

périodiques, apériodiques, matière molle, Désordre et défauts

>Interaction photon/neutron/electron-matière

>Diffusion et absorption, cohérence, sources (synchrotron, pile neutrons, FEL), Spectroscopies d'absorption, Diffusion, Diffraction, Résolution de structure,

>Cristaux désordonnés, Transitions de phases ; Diffusion aux petits angles ;

>Dynamique ; Magnétisme : Diffusion magnétique des neutrons et des RX

>Propriétés électroniques des solides

>Théorie de la réponse linéaire ; réponse à un champ magnétique (RMN, magnétométrie, neutrons) ; réponse à un champ électrique ; mesure de surface de Fermi (ARPES, STM, Oscillations quantiques).

---

**Code: PHYS-M2-A13-S1**

## **Relativité générale**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Marios Petropoulos

Autres enseignants : Philippe Grandclément

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Après un rappel des fondements de la théorie d'Einstein de la gravitation (1 cours, 1 TD), une première partie (2 cours 1 TD) développe la théorie des trous noirs. (Notions de masse critique des objets compacts et d'effondrement gravitationnel ; résumé des observations astrophysiques. Obtention et propriétés de la métrique de Kerr. Énergétique et thermodynamique des trous noirs, etc).

Une deuxième partie (1 cours, 1 TD) est consacrée à la structure des équations d'Einstein (formalisme 3+1 et hamiltonien, invariances et grandeurs conservées,...)

Un cours est dévolu à la théorie des champs en espace-temps courbes et ses applications (superradiance, rayonnement de Hawking etc). Une dernière partie (1 cours, 2 TD) est consacrée à la mécanique céleste relativiste et aux ondes gravitationnelles avec un accent sur le problème du mouvement en RG et les confirmations observationnelles de la théorie (pulsars doubles, etc) Enfin deux cours seront consacrés à la Cosmologie et aux développements actuels de la théorie.

---

**Code: PHYS-M2-A15-S1**

## **Symmetries and quantum field theory**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Noël Fuchs

Autres enseignants : Giuliano Orso

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 20h cours/20h TD

Il s'agit d'un cours d'introduction à la théorie quantique des champs, formalisme indispensable pour décrire les particules élémentaires et leurs interactions, ainsi qu'un bon nombre de systèmes en matière condensée. La première partie introduit la théorie classique des champs invariante relativiste. L'accent est mis sur la relation entre symétries d'une part et nature possible des "particules" ainsi que leur dynamique d'autre part. De cette manière, les champs scalaires, vectoriels et spinoriels apparaissent naturellement. Leurs propriétés de transformation sous le groupe de Lorentz sont détaillées. Les équations dynamiques qui régissent ces champs (équation de Klein-Gordon, de Dirac, de Maxwell) sont présentées et motivées. En particulier, des applications à basse énergie en matière condensée, comme le graphène ou les isolants topologiques, sont abordés. Dans la deuxième partie de ce cours, les champs libres sont quantifiés. L'espace de Fock, et son interprétation en terme de particules, est introduit. Le théorème spin-statistique est présenté. Finalement, le cours se termine sur le concept de brisure spontanée de symétrie en théorie quantique des champs. En particulier, les deux points de vue (réalisations de Wigner-Weyl et Nambu-Goldstone) sur les symétries en théorie quantique des champs sont introduits et le théorème de Goldstone est démontré. Les conséquences physiques du phénomène de brisure spontanée de symétrie seront étudiées en détail dans le cours théorie quantique des champs avancé du second semestre.

Prérequis

Formalisme de la relativité restreinte (notion de quadrivecteur, calcul tensoriel, conventions d'Einstein). Bibliographie : tout ouvrage d'introduction à la relativité. Par exemple : M. Boratav et R. Kerner, Relativité, Ellipses, 1991.

---

**Code: PHYS-M2-A16-S1**

## **Condensed matter theory**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Benoit Douçot

Autres enseignants : Benoit Estienne, Laura Messio

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 40h cours/15h TD

The main goal of this course is to cover various examples where strong interactions strongly modify the low energy spectrum of electronic systems, even in absence of any spontaneous symmetry breaking mechanism. We shall therefore focus on strongly interacting electronic liquids.

As an introduction, we will begin to discuss the standard paradigm of Fermi liquids, with an emphasis on response functions and electronic spectral functions. Motivated by the example of high temperature superconductivity in cuprates, we will then address some features of strongly correlated electronic systems such as the Mott transition. The main challenge raised by these systems is that Fermi liquid theory no longer provides a good description of normal state properties, in particular in the pseudogap regime of cuprate superconductors.

We will review some of the theoretical tools, which have been developed to tackle such questions. Another route to witness strong departures from the Fermi liquid paradigm is to consider the case of one-dimensional systems, in which quantum fluctuations are so strong that they deeply modify the nature of electronic quasi-particles. Another striking consequence is the phenomenon of spin and charge separation. We will then discuss the Kondo problem, where a localized spin gets totally screened by a sea of conduction electrons. Besides its intrinsic interest for magnetic alloys, the Kondo problem is still at the heart of many active research themes, such as decoherence of quantum bits induced by their coupling to a macroscopic environment, or quantum transport through nano-systems.

Finally, we will present a brief introduction on quantum Hall effects, which manifest rather striking phenomena, such as a robust quantization of a response function (the Hall

conductance), or the emergence of fractional charges and exotic quantum statistics, which interpolate between fermions and bosons.

---

**Code: PHYS-M2-A17-S1**

## Quantum Field theory

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Amir Kashani Poor

Autres enseignants : Fedor Levkovich-Maslyuk

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 52h cours/26h TD

This course will provide an introduction to quantum field theory. We will discuss the observables of quantum field theory, canonical and path integral quantization of fields of different spin, perturbation theory and its infinities, abelian and, time permitting, non-abelian gauge symmetry. The course will follow the textbook "Quantum Field Theory and the Standard Model" by Matthew D. Schwartz.

Prerequisites

- quantum mechanics, including perturbation theory (Fermi's golden rule, ...)
- special relativity, in particular the Lorentz transformation and relativistic kinematics
- analytical mechanics (Lagrangian and Hamiltonian formalism)
- complex analysis, in particular the computation of residues, and a passing familiarity with distributions (roughly at the level of the corresponding Wikipedia page entry)

---

**Code: PHYS-M2-A18-S1**

## Statistical Field Theory and applications

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Denis Bernard

Autres enseignants : Jesper Jacobsen

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 39h cours/13h TD

- Mouvements Browniens et chemins aléatoires.
- Modèles discrets de physique statistique.
- Phénomènes critiques, théorie de Landau, fluctuations et critère de Ginzburg.
- Eléments structurels de la théorie statistique des champs : théorie libre et en interaction.
- Introduction aux théories des champs conformes.
- Le groupe de renormalisation : comportements en loi d'échelle, universalité, renormalisation.
- Relation avec la renormalisation en théorie perturbative des champs.
- Quelques applications en physique statistique, en géométrie aléatoire ou en matière condensée.

Pré-requis :

- Physique statistique à l'équilibre pour les systèmes classiques : ensembles statistiques, poids de Boltzmann, fonctions thermodynamiques, fonctions de corrélations, transitions de phases du second ordre, théorie du champ moyen.
- Outils mathématiques de base pour la physique : éléments de théorie des probabilités, mesures de probabilité, probabilités conditionnées, fonctions génératrices, intégration et distributions, transformée de Fourier, fonctions analytiques, fonctions de Green d'opérateurs différentiels.

---

**Code: PHYS-M2-A45-S1**

## **Advanced methods in biological physics and soft matter**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-François Allemand

Autres enseignants : V Croquette, A Siria, S Mangenot, B pansu, MC Jullien, M Dahan, S Descroix, B Hajj, C Ventalon

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16h cours / 16h TD*

Physics is an experimental science. Its progress is due to a constant exchange between theory and experiments.

A lot of conceptual progress in physics requires more and more precise and quantitative experiments used by theoreticians to produce new models or used to (in)validate models. This course will present some of the most recent and used advances in experimental physics used in soft matter and biological physics.

A few, typically 5, courses will be dedicated to provide a general theoretical background required to understand the basics of these techniques (Fourier optics, Superresolution, Fluorescence, Micromanipulation techniques (AFM, optical or magnetic tweezers), Xrays, Microfabrication and Microfluidics).

Then 4 courses will be dedicated to practical courses. Students will be asked to chose 2 practical courses and will spend 2 1/2 day courses in lab using some of those recent techniques (single molecule imaging and manipulation, advanced optical microscopy, AFM, X rays....).

The remaining courses will be based on inverted pedagogy. They will be directed by the students who will use those practical courses and recent scientific articles to present in a more detailed and applied way those techniques to the class. The goal of this course is to provide a modern experimental culture to students so that they know which techniques can be used in their future research projects.

Evaluation will be based on a brief final written exam and the courses students will construct. The number of students is limited to 16.

---

**Code: PHYS-M2-A39-S1**

## **Modern electronic structure methods**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Marco Saitta

Autres enseignants : Silke Biermann, Michele Lazzeri

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours / 26h TD*

The main goal of this course is to cover the modern methods of "ab initio" electronic structure theory, to investigate the ground-state, perturbative, and excited-state properties of condensed matter. This will be achieved by lectures and exercises (TD), including numerical ones. We will start with from the Fermi theory of the electron gas, to develop the fundamentals of Density-Functional Theory (DFT), the main framework and starting point of modern electronic structure methods. We will assess its extent, its main approximations, its operative development, and its main applications in determining the ground-state structural, electronic, and magnetic properties of matter.

We will then focus on the perturbative approach to DFT, which allows to describe, with remarkable accuracy, important properties of materials, such as phonons, effective charges, dielectric constants, electron-phonon coupling, BCS superconductivity.

Finally, we will progress further from the single-particle picture towards the excited-state and correlation electronic properties, by introducing the theory beyond the band picture, and the many-body perturbation theory, up to Mott insulators, correlated metals, and the modeling of full many-body behavior.

The second part of the semester will be devoted to “ab initio” projects, where each 2-student team will choose a specific topic, and develop it, under the guidance of the teachers, over 4 computer lab sessions. They will provide an “article-like” report of their study, and present it in a “conference-like” format for the final course evaluation.

---

**Code: PHYS-M2-A43-S1**

## **Fundamentals of nanostructures**

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jérôme TIGNON

Autres enseignants : Angela Vasanelli, Valia Voliotis, Mickael Rosticher, Maria Louisa Della Rocca

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 20h cours / 20h TD

Rappel/intro sur les semiconducteurs

Modèle k.p et fonctions enveloppes.

Nanostructures de semiconducteurs.

Absorption optique, émission stimulée

Excitations élémentaires : excitons, polaritons, plasmons.

Interaction électron-phonon.

Dispositifs opto-électroniques

EXPERIENCES (16h) : 4 séances sous forme de cours-TD

J. Tignon : 6h CM, 6h TD. V. Voliotis : 2h CM, 2h TD

Absorption

Photoluminescence

Pompe-sonde

Mélange à 4 ondes

Raman

Spectroscopie FTIR et TDS

Interférences à 1 ou 2 photons

Mesures de bruit quantique

PROJETS en salle blanche et laboratoire (16h)

- Une séance de 4h « salle blanche »

- 2h de présentation générale

- 2h de séminaire sur la croissance de nanostructures

- Les étudiants choisissent un des 3 projets suivants:

- 1) Absorption inter-sousbande de puits quantiques (UPD, ENS)

Préparation par lithographie et gravure d'un échantillon pour étudier l'absorption inter-sousbande par FTIR

- 2) Micro-Photoluminescence de boîtes quantiques isolées (UPD, ENS, UPMC)

Fabrication d'un masque par lithographie optique sur un échantillon pour étudier la microphotoluminescence à basse température

3) Expérience de Raman sur Nanotubes de Carbone (ENS)

Etapes de lithographie optique, spin-coating et caractérisation par AFM puis mesures en Raman

---

**Code: PHYS-M2-A8-S1**

## Advanced Quantum Mechanics

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Philippe Lecheminant

Autres enseignants : Edouard Boulat

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

L'objectif du cours est de se familiariser en profondeur avec les outils théoriques simples mais incontournables permettant de comprendre les systèmes quantiques actuellement étudiés en physique des basses énergies, en général des systèmes quantiques couplés. Le cours s'articule autour de deux thématiques importantes, les systèmes de particules indiscernables et les systèmes quantiques dont le spectre comporte un continuum d'états (ce qui inclut le cas d'un couplage à un réservoir). Parmi les résultats principaux exposés, se trouvent (i) le théorème de Wick, la diagonalisation de Hamiltoniens quadratiques comme le Hamiltonien BCS, le phénomène de Goldstone, la méthode de Bogoliubov, et la régularisation par renormalisation pour la première thématique, (ii) la méthode des projecteurs sur la résolvante, la théorie de la diffusion et les notions de longueur de diffusion en dimension quelconque, l'équation pilote et sa reformulation par fonctions d'onde Monte-Carlo pour la seconde thématique. Des exemples concrets sont donnés pendant le cours, et les travaux dirigés permettent d'appliquer les outils théoriques à des expériences récentes effectuées dans le domaine des atomes froids, de l'optique quantique, de la physique atomique.

Les livres (ou équivalents) qui doivent avoir été assimilés :

\* Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloë, Mécanique quantique \* Albert Messiah, Mécanique quantique (partie non relativiste)

---

**Code: PHYS-M2-A0-S2**

## Renormalization Group Theory and Applications

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Vincent Rivasseau

Autres enseignants : Adrian Tanasa

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 27h cours/12h TD

1-Graphs and Combinatorics for Quantum Field Theory: Euclidean Functional Integrals, Feynman graphs and amplitudes, Topological Polynomials, Tree-Matrix theorem, Parametric representation

2-Advanced Perturbative Renormalisation : Multiscale decomposition, Power Counting, Overlapping Divergences and Forest Formulas, Schwinger-Dyson Equations, Renormalisation Group, Beta Function, Asymptotic Freedom

3-Introduction to Random Matrices: Ribbon graphs,  $1/N$  Expansion, Wigner law

4-Introduction to Topological Field Theory: Instantons in Non Abelian Gauge Theories, Chern-Simons Theory, Magnetic Monopoles.

---

**Code: PHYS-M2-A1-S2**

## **Algebra, Integrability and Exactly Solvable Models**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jesper Lyke Jacobsen

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 36h cours/18h TD*

This course is an introduction to exactly solvable two-dimensional models, considered either in 2D statistical physics, or equivalently as 1D quantum spin chains. Several techniques of resolution will be presented (combinatorics, integrability, conformal invariance, representation theory) with the algebraic content as leitmotif.

Combinatorial methods and free fermions : dimer coverings and the Ising model.

Integrability: Yang-Baxter relation, commuting transfer matrices, coordinate and algebraic Bethe Ansatz.

Lattice algebras: Temperley-Lieb algebra and its representations (6-vertex model, RSOS model, loop model, supersymmetric spin chains), algebraic decomposition of the partition function, Markov trace and Jones-Wenzl projectors.

Conformal field theory: local conformal invariance, Virasoro algebra and its representations, minimal models, modular invariance, Coulomb gas, Liouville field theory.

If time allows, more specialised subjects will also be covered, such as : the Temperley-Lieb algebra with boundaries, supersymmetry, indecomposability at roots of unity, and logarithmic conformal field theories.

---

**Code: PHYS-M2-A2-S2**

## **Ultra Cold Atoms**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Frédéric Chevy

Autres enseignants : Fabrice Gerbier Jérôme Beugnon

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 15H cours/15h TD*

Since the 80's laser cooling has become a major tool in atomic physics. The very low temperatures achieved in dilute atomic gases has allowed the realization of Bose-Einstein condensates and degenerate Fermi gases. More recently the very high degree of control of these systems opens new perspectives in simulating the rich physics of electrons in condensed matter systems.

Program :

Radiative forces

Doppler cooling

Neutral particles trapping

Scattering length

Evaporative cooling

Bose-Einstein condensation

Atomic interferometry

Degenerate Fermi gases

---

**Code: PHYS-M2-A4-S2**

## **Superconductors and superconducting circuits**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Xavier Leyronnas

Autre enseignant : Julien Gabelli

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Ce cours vise à introduire la supraconductivité à travers des expériences historiques ou récentes et les concepts théoriques nécessaires.

L'examen consistera en une présentation de 20 ou 30 minutes d'un article de recherche.

Plan du cours

A – Introduction à la supraconductivité

- \* Introduction, phénoménologie, thermodynamique, effet Meissner
- \* Effet isotopique et hamiltonien BCS
- \* Le problème de Cooper, L'ansatz BCS
- \* Théorie BCS à  $T=0$  et  $T>0$
- \* Approche de champ moyen, transformation de Bogoliubov
- \* Equations de Bogoliubov de Gennes et effets de proximité

B – Supraconductivité mésoscopique

- \* Jonction Normal-Isolant-Supraconducteur (NIS), quasi-particules et courants d'Andreev
- \* Jonctions hybrides normal-supraconducteur (NS). Régimes ballistiques et diffusifs
- \* Jonctions supraconductrices et états liés d'Andreev : Jonctions SIS et SNS
- \* Grains supraconducteurs et petites jonctions. Effet de charge.

---

**Code: PHYS-M2-A5-S2**

## **Cosmologie (CFP)**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jérôme Martin

Autre enseignant : Sébastien Renaux Petel

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

L'objectif de ce cours est de fournir les bases théoriques de la cosmologie moderne. Dans un premier temps, nous discuterons les solutions cosmologiques de la relativité générale, les fondements théoriques et liés aux observations permettant de vérifier l'expansion, et par suite le modèle du big-bang, et enfin l'histoire thermique de l'Univers. Nous étudions ensuite les grandes structures de l'univers d'un point de vue théorique : théorie des perturbations et origine quantique des fluctuations pendant l'inflation et finissons par donner une image globale du modèle cosmologique contemporain en soulignant les limites et en indiquant les extensions vers les recherches actuellement en cours. Les aspects observationnels ne sont pas traités explicitement en détails, mais nous soulignerons le lien entre les prédictions et l'univers réel (nucléosynthèse primordiale, fond diffus cosmologique, spectre de puissance des grandes structures, diagramme de Hubble etc...)

Le cours traitera les thématiques suivantes :

- \* Espaces de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker
- \* Les trois tests fondamentaux de la cosmologie (expansion, nucléosynthèse & fond diffus)

- \* Histoire thermique de l'Univers
- \* Théorie des perturbations cosmologiques
- \* Anisotropies du CMB
- \* Inflation

---

**Code: PHYS-M2-A6-S2**

## **Geophysical fluid dynamics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Claude Jaupart

Autres enseignants : Julien Aubert

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 30h cours*

---

**Code: PHYS-M2-A7-S2**

## **Strongly correlated Fermions and Bosons**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pascal Simon

Autres enseignants : Michele Casula

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16h cours/16h TD*

---

**Code: PHYS-M2-A8-S2**

## **Quantum Information (CFP)**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jakob Reichel

Autres enseignants : Igor Dotsenko

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16h cours/16h TD*

Progress in experimental quantum physics has transformed thought experiments into reality, so that an exciting new question can now be asked : How can we harness the "strange" features of quantum mechanics - such as nonlocality, entanglement, and quantum measurement - in new applications ? In this new field, broadly called "quantum technologies", new ideas and concepts are being put forward.

Today, the most active ones are Quantum metrology, where multiparticle entangled quantum states are employed to improve high-resolution measurements, for example in an atomic clock. Quantum cryptography, where the use of quantum objects (typically photons) as information carriers makes it possible to detect eavesdroppers due to fundamental measurement back-action. Quantum computing, where qubits replace classical bits. For some specific algorithms, "quantum parallelism" can actually lead to a fundamentally faster performance than the best known classical algorithms. Quantum simulations, where a well-controlled quantum system is designed to obey the Hamiltonian of a fundamental problem, often from solid-state physics, which cannot be studied in its original system due to lack of control (impurities, small scale...), nor simulated on a classical computer due to its complexity.

In all of these subjects, the relation between quantum physics and information plays a profound role. The course will tackle fundamental concepts as well as examples. In each lecture, discussion of experiments from various fields (trapped ions, ultracold atoms, superconducting circuits, ...) will complement the theoretical description.

---

**Code: PHYS-M2-A10-S2**

## **Information, Inference, Networks : from statistical physics to big biological data**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Rémi Monasson

Autres enseignants : Francesco Zamponi, Simona Cocco

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 15h cours/15h TD

Today's science is characterized by an ever-increasing amount of available data, in particular in biology, but also in other fields closely related to physics, such as material science. How can we exploit those data to design accurate models of the underlying, complex, strongly non-homogeneous and interacting systems?

The objective of this course is two-fold:

- (1) provide statistical physics and inference concepts and methods to answer this question,
- (2) apply those tools concretely to various biological data, coming from neurobiology, genomics, ecology, ...

---

**Code: PHYS-M2-A11-S2**

## **Introduction to Quantum Chromodynamics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Damir Becirevic

Autres enseignants : Matteo Cacciari

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

- \* Théories de jauge : quantification et renormalisation.
- \* Modèle des quarks et chromodynamique quantique (QCD).
- \* QCD perturbative et applications (diffusion profondément inélastique électron-proton, annihilation électron-positron, production de jets).
- \* Diverses approches non perturbatives
- \* Théories de Jauge sur Réseaux
- \* Des fonctions de Green aux observables physiques
- \* Action de Pure Jauge avec Applications (critère de confinement, glueball...)
- \* Fermions sur Réseaux avec Applications.

---

**Code: PHYS-M2-A13-S2**

## **Physics of 2D materials**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : ?

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 26h cours/26h TD

En attente descriptif

---

**Code: PHYS-M2-A17-S2**

## **Quantum optics in condensed matter (CFP)**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Cristiano Ciuti

Autres enseignants : Sara Ducci

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 20h cours/10h TD

Main topics :

- Fundamentals of quantum optics (theory+experimental techniques)
- Paradigmatic models, solid-state quantum platforms and devices
- Collective phenomena and quantum optical circuits

---

**Code: PHYS-M2-A18-S2**

## **Nonlinear, ultrafast and quantum optics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Nicolas Treps

Autres enseignants : François Hache

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire: 16h cours/16h TD

Objective of this lecture is to study non-linear interaction between light and matter, from classical to quantum effects. The natural regime, even if non-exclusive, is the femtosecond regime, where effects are macroscopic and experiments are usually performed. Beyond giving the essential ingredients of non-linear and quantum optics, this lecture will focus on recent applications and experiments, spreading from microscopy and spectroscopy to non-classical state generation and quantum metrology.

---

**Code: PHYS-M2-A21-S2**

## **Particle Physics : the standard model (CFP)**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Frédéric Machefer

Autres enseignants : Nicolas Morange

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

We will study the standard model of particle physics and the most important experiments that have contributed to its development:

experimental issues : accelerators and detectors

particles, 4-vectors, particle interactions, description of an unstable particle

internal structure of the hadrons : deep inelastic scattering, scale invariance, parton model

hadron spectroscopy : isospin and SU(2), hypercharge and SU(3), quark model

strong interaction : the ratio R, color jets,  $\alpha_s$

weak interaction : parity violation, W and Z bosons

CP violation and the CKM matrix

the Higgs boson, its properties and the search for the Higgs boson

one example for physics beyond the standard model : supersymmetry

---

**Code: PHYS-M2-A23-S2**

## **Quantum machines : quantum physics with electrical circuits and mechanical resonators**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre-François Cohadon

Autres enseignants : Samuel Deléglise et Patrice Bertet

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 15h cours/15h TD

Although quantum physics is primarily applied to microscopic systems such as atoms or particles, it can also describe the behavior of much more macroscopic, “man-made” systems such as electrical circuits or mechanical oscillators. Once considered exclusively a subject of fundamental research, these artificial quantum systems are now also regarded as being among the most promising for quantum technologies, and in particular quantum-enhanced computing and sensing. The goal of these lectures is to give an introduction to their physics and applications

Electrical circuits

- Josephson junctions and Josephson quantum bits or qubits
- Circuit Quantum Electrodynamics : Josephson qubits and microwave resonators in strong coupling
- Josephson Parametric Amplifiers for measurements at the quantum limit
- Quantum computing with Josephson qubits
- Quantum sensing with Josephson circuits: applications in magnetic resonance

Mechanical resonators and Optomechanics

- Vibration modes in continuous media and microresonators
- Noise in physics experiments. Thermal noise
- Quantum sidebands. Quantum-limited position sensing
- Hamiltonian approach to optomechanics
- Quantum effects in optomechanics

---

**Code: PHYS-M2-A25-S2**

## **Stage ICFP**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 18

Responsable : Kris Van Houcke

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 64h

Le stage en laboratoire (expérimental ou théorique) de second semestre comporte une période de 8 semaines à temps plein suivie éventuellement par 8 semaines à mi-temps.

Le choix des stages est effectué au premier semestre. Celui-ci peut être effectué dans tout laboratoire en région parisienne, ou en province. Le travail est évalué sur la base d'un mémoire remis à la fin du stage, d'une présentation orale et de l'avis du directeur de stage.

---

**Code: PHYS-M2-A26-S2**

## **Statistical physics 2: disordered systems and interdisciplinary applications**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Guilhem Semerjian

Autres enseignants :

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16h cours/16h TD*

### Course contents

The topics of this course will be chosen among the following.

1. Ising model and quantum spin models. Kinetic Ising model. Master equations in operator language. Examples with fermion and boson operators.
2. The  $O(n)$  model. Lower critical dimension. Two-dimensional XY model. Topological phase transitions. Roughening transition. 4He layers. Two-dimensional melting.
3. Linear and nonlinear Langevin equations. Mapping master equations onto field theories. Nonequilibrium phase transitions.
4. Reaction–diffusion problems. Phase transitions to absorbing states. Heuristic methods.
5. Some mathematical models of molecular motors.
6. Neural networks as models of memory.

---

**Code: PHYS-M2-A29-S2**

## **String Theory**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Dan Israel

Autres enseignants :

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 30h cours*

---

**Code: PHYS-M2-A30-S2**

## **Gauge Theory of electro-weak interactions**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Stéphane Lavignac

Autres enseignants : Pierre Fayet, Brando Bellazzini

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours/14h TD*

Cet enseignement vise à donner une introduction aux théories de jauge des interactions électrofaibles et au Modèle Standard de la physique des particules, ainsi qu'à certaines de ses extensions. Les sujets couverts comprennent : fondements des théories de jauge ; brisure de symétrie, théorème de Goldstone et mécanisme de Higgs ; construction du Modèle Standard électrofaible ; renormalisation des théories de jauge non-abéliennes ; anomalies ; introduction à la Grande Unification et à la supersymétrie.

---

**Code: PHYS-M2-A31-S2**

## Turbulence (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Sergio Chibbaro

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 16h cours/16h TD

The course will focus on the fundamental aspects of fluid mechanics, notably at high Reynolds numbers, when Turbulence is important.

This will be a course in turbulence theory. The goal is to obtain a precise physical and mathematical understanding of turbulent phenomena (i.e. experiments!) based on the fluid equation of motion. This is not a course on modelling of turbulence, which is the focus of many excellent texts, e.g. Pope, Tennekes & Lumley. The subject is dealt with using tools from dynamical systems and statistical mechanics.

---

**Code: PHYS-M2-A33-S2**

## Matter far from equilibrium

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jean-François Joanny

Autres enseignants : Vincent Demery

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 20h cours/15h TD

### 1. Introduction to matter out of equilibrium

- Examples of Non-Equilibrium systems
- Criteria for non-equilibrium systems
- violation of the fluctuation-dissipation theorem
- cycles in phase space
- Microrheology
- Outline of the course

### 2. Molecular motors

- Introduction to molecular motors
- ASEP models, violation of Einstein relation
- Non-equilibrium thermodynamics of molecular motors
- Onsager relations
- Two-level systems, Fokker Planck equation
- Assemblies of molecular motors, spontaneous symmetry breaking and non-equilibrium phase transitions.
- Oscillations of assemblies of molecular motors

### 3. Bacterial suspensions

- Run and tumble and active Brownian particle model
- Chemotaxy
- Biased random walks of bacteria in non uniform media
- Stationary state

- Chemiotaxy
- Rectification
- Bacterial suspensions
- Phase transitions
- Non-homogeneous states
- Logistic growth and Fisher waves

#### 4. Active Matter

- Introduction to active matter, dry and wet active matter
- Viscek model of active Matter
- Dry active Matter
- Toner and Tu theory
- Polar and nematic systems
- Stability of dry active matter
- Giant fluctuations in active systems
- Wet active matter, active gel theory
- Experiments on active matter
- Biological systems
- Synthetic systems: Bartolo, Bocquet, Chaikin et al
- Spontaneous flow of active matter
- Defects in active matter.
- Pressure in active systems
- Mixture between active and non-active particles.
- Noise in active systems: Basu, Fodor

#### 5. Hydrodynamics at small Reynolds numbers

- Scallup theorem
- Cilia and flagella
- Swimmers

#### 6. Fluctuation and response in active systems

- Fluctuation theorems
- Hatano-Sasa relation
- Entropy production in active systems

#### 7. Mechanics and growth of tissues

- Continuous description of tissues
- Homeostatic state of tissues
- Fluctuations and noise in tissues

---

**Code: PHYS-M2-A35-S2**

### **Spin Physics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Florent Perez

Autres enseignants : Benoît Eble

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 20h cours/10h TD

This course aims at giving modern theoretical foundations and frame works of spin physics in low dimensional systems (<3D), both for individual and collective behaviours of spins, such as to be prepared for modern phenomena and studies at the research level. Experimental tools and mechanisms to excite, inject and probe spin degrees of freedom, will also be detailed.

---

**Code: PHYS-M2-A36-S2**

## **System biophysics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Philippe Nghe

Autres enseignants : Clément Nizak, Aleksandra Walczack

Type d'enseignement : cours/TD

Volume horaire : 25h cours/15h TD

1. Growth and Metabolism
2. Growth and Reproduction
3. Gene Regulation
4. Large Scale Networks
5. Self-Organization principles
6. Physical limitations and optimization principles in biology
7. Molecular noise.
8. The basics of evolution
9. Experimental evolution and evolutionary inference
10. Statistical mechanics of evolution

---

**Code: PHYS-M2-A37-S2**

## **Physics of perception**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Thierry Mora

Autres enseignants : Pascal Martin

Type d'enseignement : cours

Volume horaire : 30h cours

Sensory systems strike us by their exquisite sensitivity, which is often close to the limit set by physics. Our eyes are sensitive to single photons. Likewise, our ears can detect sound-evoked vibrations that can be smaller than the thermal motion of the ear's inner structures. In addition, our senses also show sharp selectivity. We can indeed visualize the position of objects with a higher precision than the distance between retinal photoreceptors, and tell the difference between sounds that differ only by 0.02% in frequency. Finally, the dynamical range of perception can be enormous, spanning up to 12 orders of magnitude of sound intensities in the case of hearing. These characteristics impose stringent physical constraints on transduction, filtering, noise rejection, and amplification of the input by receptor sensory cells of the body.

In this course, we will focus on the particular examples of vision and hearing to explore the physical mechanisms underlying the extraordinary performances of our senses. We will explore the various scales and stages of processing of sensory stimuli, from the cochlea and its cellular microphones in hearing, and from photo-receptors in vision, to basic neural processing. We will see that familiar concepts from non-linear dynamics and statistical mechanics (Hopf bifurcations, resonance, critical transitions,...) can shed light on the mechanisms of active amplification, compression, and efficient representation of sensory signals. In return, we will identify general physical principles of sensory detection.

---

**Code: PHYS-M2-A38-S2**

## **Brownian motion and stochastic processes**

Niveau : M2

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable: Olivier Benichou

Autres enseignants : Rémi Voituriez

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 30h cours / 15h TD*

---

**Code: PHYS-M2-A40-S2**

## **Rheology of complex fluids**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Annie Collin

Autres enseignants : Anke Lindner

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 16h cours / 16h TD*

---

Complex fluids are ubiquitous in nature and industrial applications, ranging from food processing, to biofluid flow or landslides. The complex macroscopic properties result from the nonlinear interaction between the microscopic structure of the fluids and the applied flow.

In this course we will introduce the most important non-Newtonian properties and discuss classical and more recent rheological methods (as microfluidics etc.) to experimentally access those properties. Specific examples of complex fluids, as polymer solutions, surfactants or emulsions are discussed in detail and their applications introduced. Simple non-Brownian as well as complex or even active suspension properties are introduced.

---

**Code: PHYS-M2-A41-S2**

## **Soft solids**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Mattéo Ciccotti

Autres enseignants : Benoit Roman

*Type d'enseignement : cours*

*Volume horaire : 30h cours*

---

Very much like fluids, many solids are capable of very large deformations, either because they are organized in slender shapes (rods, shells) or because they are constituted by soft materials (gels, rubbers).

Examples are widespread around us (cables, clothes, soda cans, ...), in biology (tissues, membranes, plants), food (spaghettis, jelly, cheese) and at many scales (graphene, nanotubes, flexible electronics or tectonics).

The objective of this course is to give a background on the mechanics of deformable solids (elasticity, plasticity, fracture, adhesion and friction) and to illustrate their coupling with other phenomena such as instabilities, fluid flow, tissue growth and collective behavior.

---

**Code: PHYS-M2-A42-S2**

## **Complex systems: from physics to social sciences**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jean-Philippe Bouchaud

*Type d'enseignement : cours*

*Volume horaire : 16h cours*

- 1) Hasard Benin et Hasard Sauvage : de Gauss à Pareto
- 2) Phénomènes Multiplicatifs et Lois de Zipf
- 3) Phénomènes critiques et transitions de phase
- 4) Réseaux, percolation, crises, epidémies
- 5) Rétroaction, avalanches, synchronisation
- 6) Systèmes complexes et modèles d'agents

---

**Code: PHYS-M2-A44-S2**

## **Novel functionalities in complex materials**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Marc Gabay

Autres enseignants : Marcello Civelli Marino Marsi

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours / 26h TD*

Ce cours vise l'étude des principales caractéristiques des solides structurés à l'échelle nanométrique. On s'intéressera à la réponse optique et aux propriétés de transport de systèmes à dimensionnalité réduite : modulables presque à volonté, ils sont au cœur d'énormes progrès technologiques. L'essentiel du cours sera dévoué aux aspects fondamentaux (description théorique et compréhension des phénomènes physiques), sans toutefois perdre de vue leurs multiples retombées pratiques (nouvelles structures et concepts, analyse des paramètres pertinents).

---

**Code: PHYS-M2-A43-S2**

## **Quantum Transport and Mesoscopic Physics**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Richard Deblock

Autres enseignants : Gwendal Feve, François Mallet

*Type d'enseignement : cours/TD*

*Volume horaire : 26h cours / 26h TD*

[https://www.phys.ens.fr/IMG/pdf/plan\\_cours\\_deblock\\_feve-1-2.pdf](https://www.phys.ens.fr/IMG/pdf/plan_cours_deblock_feve-1-2.pdf)

---

**Code: PHYS-M2-A45-S2**

## **An Introduction to topological order**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Nicolas Regnault

*Type d'enseignement : cours / TD*

*Volume horaire : 18h cours / 12H TD*

The Master ICFP 2nd year already has an introduction to topological phases "Dirac matter, topology and interactions in many-particle systems." These lectures provide the fundamental notions while mostly focusing on non-interacting systems. To give another perspective on this topic, we propose to organize lectures that would focus on their long range entanglement analogue where exotic excitations may emerge.

---

**Code: PHYS-M2-A46-S2**

## **Topics in strongly coupled quantum field theory**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Slava Rychkov

Type d'enseignement : cours

Volume horaire : 30H cours

*"I wanted to quit physics, but then I learned effective field theory and everything started to make sense"*

Nima Arkani-Hamed (speaking at the conference in honor of Joe Polchinski).

The main purpose of this course will be to teach, with examples, effective field theory - the single most powerful organizing principle in the zoo of quantum field theories. Whether you are a cosmologist, a stat-phys, cond-mat, high-energy theorist, or interested in quantum gravity (especially if you are interested in quantum gravity !) a thorough understanding of effective field theory is a must.

Time permitting, we will also discuss other organizing principles and no-go theorems, such as the Coleman-Mandula theorem, Weinberg-Witten and Vafa-Witten theorems, c- and a-theorem etc.

---

**Code: PHYS-M2-A34-S2**

## **Waves in disordered media and localization phenomena**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christophe Texier

Type d'enseignement : cours / TD

Volume horaire : 26H cours / 7hTD

We study the problem of transport and localization in disordered systems, when INTERFERENCE is present, as characteristic for waves. A wave propagates in some medium (be it vacuum), and interference occurs when different waves overlap, for example scattered from different positions with various wavevectors. We want to describe the propagation of the wave over long distances and for long times. Physical situations of this type cover the propagation of light in a turbid medium, electronic matter waves in conventional metals at low temperature, acoustic waves in a concert hall with complicated shape, seismic waves multiply scattered inside the earth, atomic matter waves in the presence of a disordered potential, etc. The emphasis is put on experimental situations met in solid state samples and (ultra-)cold atomic gases.

---

**Code: PHYS-M2-A47-S2**

## **Selected Topics in Statistical Field Theory**

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Kay Wiese

Type d'enseignement : cours / TD

Volume horaire : 24h cours / 24h TD

We discuss selected tools to deal with problems in field theory. Basic knowledge of the latter is required, either the course on "Statistical Field Theory", or "Relativistic Field Theory". While most applications are chosen for simplicity from Statistical Mechanics, the tools used to analyze them are more generally applicable. Topics are

- Large orders in perturbation theory, instantons, Padé and Borel resummation

- Operator product expansion; polymers and their mapping to  $\phi^4$ -theory, self-avoiding manifolds
- Langevin dynamics: Martin-Siggia-Rose formalism. Fluctuation-dissipation theorem. Barrier Crossing (Arrhenius law).
- Disordered elastic systems: metastability, non-analyticity of the effective action; functional RG and non-perturbative RG; avalanches and their resummation via instantons



## Centre de formation sur l'environnement et la société

### CERES

Site web: <http://www.environnement.ens.fr>

Adresse : 24 rue Lhomond, 75005 Paris

Le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la pollution ou, de façon plus générale, l'anthropisation croissante de la biosphère ont suscité depuis la fin des années 70 une prise de conscience de la gravité des questions environnementales. Cette prise de conscience, illustrée par différents sommets (Rio 1992, Kyoto 1997, Paris 2015...), s'est traduite, à l'échelle mondiale, par la mise en place d'un embryon de « gouvernance environnementale » s'appuyant sur la recherche pour établir les éléments d'un consensus planétaire. À toutes les échelles, du niveau mondial au niveau régional ou local, on cherche aujourd'hui, à travers le concept de **développement durable**, à concilier gestion de l'environnement et développement des territoires. Au sein de l'ENS, le CERES a pour vocation de fournir et de coordonner un **enseignement pluridisciplinaire** de haut niveau sur l'environnement.

Le CERES propose les enseignements suivants :

- **Ateliers (8 ECTS)**. Quatre ateliers indépendants par an, dont les thèmes changent chaque année. Ils sont construits de façon à provoquer la rencontre, sur une thématique environnementale, de plusieurs disciplines (biologie, géographie, philosophie, mathématiques, chimie, physique, économie, ...). Ces ateliers comportent en général des conférences ou des cours introductifs, des séances de discussion, et la réalisation en groupe d'élèves d'un projet, sur un sujet choisi par les élèves. Les élèves forment des équipes pluridisciplinaires lors des mini-projets. Chaque atelier peut être validé par 4 ECTS dans le cadre du diplôme de l'ENS (L3, M1, M2). Les ateliers se déroulent le mardi ou le jeudi de 17h30 à 19h.
- **Cours introductifs (6 ECTS)**. Ils portent sur des concepts fondamentaux en sciences et humanités de l'environnement.
- **Projet individuel (de 8 à 16 ECTS)**. La forme du projet est très libre ; recherche bibliographique et rédaction d'un rapport ou article ; ou stage de recherche au sein du CERES ; ou développement d'une exposition, ou autre. Les projets individuels ont lieu pendant tout un semestre.
- **Stage (de 8 à 16 ECTS)** effectué à l'extérieur du CERES (laboratoire de recherche ou administration), co-encadré par le CERES.

Les enseignements sont ouverts à tous les normaliens, de tous les départements, scientifiques ou littéraires.

#### Contact

24 rue Lhomond

75005 Paris

[www.environnement.ens.fr/](http://www.environnement.ens.fr/)

David Claessen (directeur du CERES) tel : 01 44 32 27 20, [david.claessen@ens.fr](mailto:david.claessen@ens.fr)

Magali Reghezza (directrice-adjointe du CERES) tel : 01 44 32 29 98, [magali.reghezza@ens.fr](mailto:magali.reghezza@ens.fr)

Nadine Razgallah (secrétariat) tel : 01 44 32 27 21, [nadine.razgallah@ens.fr](mailto:nadine.razgallah@ens.fr)

## **LES ENSEIGNEMENTS**

### **Excursion à Foljuif 22-23 septembre**

Une « retraite » sur le site de Foljuif est organisée par le CERES pendant la rentrée pour les élèves intéressés par les questions d'environnement. Durant 24 heures se succèdent exposés, discussions et visites de terrain dans une atmosphère conviviale. Le domaine de Foljuif est un site d'enseignement et de recherche de l'ENS, située en lisière de forêt près de Nemours. Il abrite une station expérimentale « CEREEP Ecotron Ile-de-France » - lieu d'expérimentations de terrain et laboratoire d'excellence en écologie -, et héberge de nombreux stages et séminaires.

### **Les ateliers du CERES**

Les sujets abordés par les quatre ateliers changent chaque année mais sont liés à des thèmes récurrents :

« Agroécologie et agriculture durable ». Les ateliers ont pour objectif d'aborder des questions autour de l'agriculture durable par un questionnement pluridisciplinaire.

« Méthodes quantitatives ». Comment détecter et prédire l'influence anthropique sur des systèmes dynamiques tels que le climat, les écosystèmes ou les économies ? Des ateliers de modélisation (ex : dynamique de populations exploitées) et d'analyse de données (séries temporelles climatiques, économiques et/ou écologiques) alternent.

« Territoires et environnement ». Gouvernance, pouvoirs, citoyenneté, échelles et subsidiarité.

« La pollution ». Exemple d'une question environnementale qui doit être abordée de façon pluridisciplinaire, à travers la connaissance de processus physico-chimiques complexes, mais aussi par la façon dont cette question est appréhendée et gérée par la société. Différents types de pollution sont abordés soit spécifiquement (la pollution atmosphérique par exemple), soit dans les différents sujets abordés au cours des ateliers (l'eau, les déchets, les questions de santé-environnement, les risques technologiques, etc.)

« Choix énergétiques ». Éclairer les choix énergétiques auxquels nos sociétés sont actuellement confrontées par l'analyse des contraintes physiques, géopolitiques et géoéconomiques, environnementales, sociales qui pèsent sur ces choix.

« Biodiversité ». Analyser la crise de la biodiversité et la problématique de sa conservation en intégrant aspects scientifiques, sociaux et politiques.

### **Les cours du CERES**

Les cours du CERES sont des cours introductifs sur des concepts fondamentaux en sciences de l'environnement.

### **Mineure environnement**

Au sein du Diplôme de l'école normale supérieure, la spécialité secondaire ou « mineure » Environnement valide un parcours interdisciplinaire à caractère « environnemental ». La mineure Environnement incite donc les normaliens intéressés à suivre les enseignements disciplinaires pertinents dans des départements autres que le département principal du normalien et à les compléter par les enseignements interdisciplinaires proposés par le CERES. La mineure Environnement, coordonnée par le CERES, est administrée par un comité de pilotage formé de représentants des départements – dont géosciences, biologie, chimie, physique, géographie – et centres de formations intéressés. Il est présidé par le directeur du CERES ou son représentant. Le comité de pilotage constitue la liste des UE valables pour l'obtention de la Mineure, valide les parcours des élèves et l'obtention de la Mineure Environnement lors du jury du Diplôme de l'école normale supérieure.

En pratique l'obtention de 24 ECTS en environnement au cours de la scolarité, dont la réalisation d'un stage ou un d'un projet personnel de recherche, permet d'obtenir la Mineure en environnement au sein du Diplôme de l'École normale supérieure.

## PREMIER SEMESTRE

---

**Code: CERES-AA-02-S1**

### **Atelier : Santé et environnement**

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 8

Responsable : LOÏE Marie-Dominique

Autres enseignants : KERGOMARD Claude

Type d'enseignement : *Cours et conférences + projet en groupes de 2 ou 3 étudiants*

Volume horaire : 40h.

Horaire : le jeudi de 17h30 à 19h30

Lieu : salle de cours du CERES (E045)

Validation : rapport écrit et soutenance orale

L'objectif pédagogique de cet atelier est d'engager et d'éclairer la réflexion concernant l'impact de l'environnement sur la santé. Thèmes abordés : Risques sanitaires environneentaux anciens et nouveaux ; Controverses scientifiques et sociales autour des questions santé-environnement ; Prise en compte des problèmes de santé environnementale par les institutions.

---

**Code: CERES-AA-01-S1**

### **Atelier : Modélisation en agroécologie**

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 8

Responsable : CLAESSEN David

Autres enseignants : ROBERT Corinne

Type d'enseignement : *Atelier*

Volume horaire : 40h

Horaire : Jeudi 12h00 à 14h00 (S1).

Lieu : salle de cours du CERES (E045)

Validation : rapport écrit et soutenance orale

Objectifs pédagogiques : notions de bases de la modélisation de systèmes dynamiques et de modèles agent-centrés ; application à un problème environnemental : quel est le rôle de la hétérogénéité, des réseaux d'influence pour la résilience et la production d'agro-écosystèmes ?. Mots clés : « *socio-ecological systems* », résilience, comportement émergent, agents interactifs, adaptation, coopération, « *the tragedy of the commons* ». Trois cours théoriques aborderont l'agroécologie et des théories de modélisation Dix séances de TD couvriront la réalisation d'un projet par petits groupes de 2 ou 3 étudiants : formulation d'une question de recherche ; formulation d'un modèle ; analyse du modèle ; interprétation des résultats ; présentation du travail.

---

**Code: CERES-AA-06-S1**

## **Atelier : Les grands débats de l'environnement**

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : METZGER Alexis

Type d'enseignement : *cours, dossier écrit*

Horaire : 10 séances le mercredi de 18 à 20h

Lieu : salle de cours du CERES (E045)

Validation : assiduité, participation aux débats et compte-rendu de séance étoffé autour d'un des débats.

Résolument pluridisciplinaire, cet atelier questionne plusieurs enjeux environnementaux actuels. Il vise à décortiquer les discours construits sur certains terrains, cas d'étude et concepts autour de trois grands thèmes : les risques naturels, le changement climatique et les énergies. Les séances sont construites sous la forme de discussions argumentées entre les élèves de l'atelier. Ces derniers s'appuient sur plusieurs sources de natures très différentes (images, articles de presse ou scientifiques, interviews, chapitres d'ouvrage...). En croisant les points de vue entre savoirs experts et non experts, selon les cas étudiés, des stratégies locales dans la gestion et l'adaptation seront mises en avant pour montrer la diversité des pratiques et regards socio-culturels sur l'environnement. Le but des séances est de montrer l'intérêt de comprendre chaque discours pour envisager leur critique.

---

**Code: GEOG-ENVGP-S1**

## **Cours : Géopolitique de l'environnement**

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : REGHEZZA Magali

Type d'enseignement : Séminaire

Validation : assiduité, exposé oral et dossier documentaire/partiel

Volume horaire : 21h.

Horaire : le mardi de 10h à 13h

Dates : 3 octobre, 17 octobre, 7 novembre, 14 novembre, 21 novembre, 28 novembre, 5 décembre, 12 décembre

*Ce cours du Master de Géopolitique compte pour la mineure environnement. Il est ouvert aux étudiants du Master Peace Studies (PSL)*

Ce séminaire propose d'aborder différentes questions environnementales sous un angle géopolitique. Qu'il s'agisse de l'appropriation et la mise en valeur des ressources, de la gouvernance des risques et des crises, de la protection de la nature, l'environnement met en jeu des rapports de forces et mobilise des acteurs multiples. Ceux-ci développent, à partir de ces questions environnementales, des stratégies particulières pour asseoir leur pouvoir sur un territoire. L'environnement est donc tout à la fois moteur et enjeu de conflits de nature variée, y compris de guerres, et ce à toutes les échelles, du local au global. L'objectif de ce séminaire est de comprendre en quoi l'analyse géopolitique permet de saisir les enjeux de questions

environnementales aussi diverses que la gestion des ressources naturelles, la protection des personnes face aux risques, la préservation des milieux dits « naturels », etc.

---

**Code: GEOG-RISQCATAS-S1**

### **Séminaire : Risques et catastrophes**

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : REGHEZZA Magali

Type d'enseignement : Cours

Validation : assiduité, exposé oral et dossier documentaire/partiel

Volume horaire : 21h.

Horaire : le mardi de 14h à 16h

Dates : 26 septembre, 3 octobre, 17 octobre, 7 novembre, 14 novembre, 21 novembre, 28 novembre, 5 décembre, 12 décembre, 19 décembre, 9 janvier, 16 janvier

*Ce cours compte pour la mineure environnement.*

Ce séminaire propose d'aborder la question des risques et des catastrophes en interrogeant leurs causes, leur prévention et leur gestion. On se focalisera sur de grandes catastrophes, y compris dans des temps anciens. On étudiera également des menaces globales dont l'occurrence est incertaine. On travaillera aussi bien à l'échelle locale que planétaire et insisteront sur les questions éthiques et politiques de ces objets, en insistant en particulier sur les questions d'inégalités face aux risques et de gouvernabilité. On consacra enfin des séances au questionnement des pratiques de recherche dans le domaine des « cindyniques ».

## **SECOND SEMESTRE**

---

**Code: CERES-AA-04-S2**

### **Atelier : Énergies et environnement**

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS :8

Responsable : WEISBUCH Gérard

Autre enseignant : WEISBUCH Claude

Type d'enseignement : *cours et conférences + projet bibliographique en groupes de 2 ou 3 étudiants*

Volume horaire : 24h

Horaire : le jeudi de 17h30 à 19h30 (S2).

Lieu : salle de cours du CERES (E045).

Validation : rapport écrit et soutenance orale

La production et la consommation de l'énergie sont au cœur de la problématique environnementale. D'abord par la « taille » du secteur de l'énergie, représentant forcément une emprise immense sur les ressources et les territoires. Ensuite, par les effets induits : pour la

combustion de fossiles, l'effet de serre ; pour les énergies renouvelables, des questions de disponibilité des matériaux, allant jusqu'au dilemme des terres rares, à la fois indispensables pour les ENR mais dont la production peut être source de pollutions importantes. Les besoins en énergie sont-ils incontournables ? La transition vers l'électricité indispensable ? Il importe de situer les ordres de grandeur et les unités en cause pour éclairer les débats sur une transition énergétique.

Pour rendre l'atelier accessible à tous - littéraires et scientifiques -, on n'exposera qu'une physique pour « poètes et décideurs » sans formalisme mathématique, mais non sans chiffres.

---

**Code: CERES-AA-03-S2**

### **Atelier : Les figures paysagères de l'environnement et du climat**

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 8

Responsable : METZGER Alexis

Type d'enseignement : *cours et conférences + projet bibliographique en groupes de 2 ou 3 étudiants*

Volume horaire : 24h

Horaire : le jeudi de 17h30 à 19h30 (S2).

Lieu : salle de cours du CERES (E045).

Validation : rapport écrit et soutenance orale

Notre société du spectacle est aujourd'hui envahie par les images. Cet atelier vise à analyser des images de paysage montrant différents enjeux environnementaux et des éléments climatiques. Nous interrogerons tant le contenu de l'image (ce qui est représenté) que son contexte (son auteur et ses destinataires). Toute image matérielle est cadrée et mise en scène selon son utilisation, et montre une palette réduite de l'environnement et du climat. Les séances de l'atelier viendront étudier plusieurs types d'images : photographies, peintures de paysages, cartes... qui seront étudiées *via* différents thèmes. Le parti pris de cet atelier est de questionner ces images dans la longue durée, en mêlant des regards historiques et géographiques, pour mieux intégrer la question des variabilités climatiques et des diachronies environnementales. Comme le propose F. Walter, ces images peuvent être des « figures paysagères » où le paysage figure et donne une forme sensible de nature esthétique à l'environnement et au climat. Une sortie de terrain au musée du Louvre est prévue pour étudier la place et le rôle de l'environnement dans les peintures de paysage. Ou dans un autre musée selon les expositions temporaires en Ile-de France !

---

**Code: CERES-AA-10-S2**

### **Atelier : Grands textes de la *Political Ecology***

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : REGHEZZA Magali

Volume horaire : 12 séances

Horaire : le mardi de 10h30 à 12h30.

Lieu : salle de cours du CERES (E045).

Validation : rapport écrit et soutenance orale

Cet atelier a pour but de faire découvrir les grands textes de la *political ecology*. La *political ecology* analyse essentiellement le pouvoir et les luttes pour le pouvoir en matière de gestion de l'environnement. Dans cet atelier, nous étudierons un certain nombre de textes fondateurs ou particulièrement représentatifs. Les textes seront lus avant et discutés au cours de l'atelier. Au fil de l'atelier, les participants proposeront à leur tour des textes afin d'enrichir les échanges et d'élargir le champ des débats.

---

**Code: CERES-AA-05-S2**

### **Cours : Introduction à l'écologie du développement durable**

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : CLAESSEN David

Type d'enseignement : *cours, dossier écrit*

Volume horaire : 21h

Horaire : le jeudi de 12h à 14h

Lieu : salle de cours du CERES.

Objectifs pédagogiques : Ce cours présente une introduction des concepts de base en sciences de l'environnement, focalisant sur l'histoire de l'écologie, le concept du développement durable, et celui des « planetary boundaries ». L'UE alterne des cours magistraux, des TP analyses d'articles, et des discussions. **Thèmes abordés** : Perspective historique de l'écologie et de l'environnement. Les concepts de « la tragédie de biens communs », de « *planetary boundaries* », de « *nature based solutions* ». Économie de l'environnement et « développement durable ».

---

**Code: CERES-AA-08-S2**

### **Séminaire : Fake news en environnement : intox et desintox**

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : METZGER Alexis

Horaire : le mercredi de 14h à 16h

Lieu : salle de cours du CERES

Dans les médias, chez certains acteurs experts ou non-experts, incertitudes, rumeurs et fausses vérités accompagnent parfois les discours sur tel événement ou tel enjeu environnemental. Ce séminaire veut montrer comment ces idées circulent, quelle place elles prennent dans les débats contemporains et sur quels fondements elles s'appuient. Chaque séance s'appuiera sur des événements précis ou des discours plus généraux. Les intervenants seront libres de dire ce qui relève pour eux de l'intox environnemental et de proposer avec leurs arguments une désintox. Remisons donc nos convictions au placard pour écouter différents points de vue des intervenants de plusieurs disciplines avant d'en discuter après chaque présentation !

**TOUTE L'ANNÉE**

---

**Code: CERES-AA-09-S2**

### **Création de « web-docu » sur l'environnement,**

#### **Projet PSL (avec Dauphine, Mines, Institut pratique du journalisme)**

Un nombre limité de normaliens (max 5, niveau L3, M1 ou M2) peuvent participer à un atelier pluridisciplinaire au niveau PSL avec comme objectif la création d'un web-docu ou autre « POM » (petit œuvre multimédia) sur une question environnementale. Le cours prend forme de 3 x 3 jours complets et intensifs (hébergé à Fontainebleau ou ailleurs), repartis sur le S1. Le cours inclut : des formations d'initiation à la création de « POM », du journalisme, les dossiers environnementaux, la gestion des projets ; des « labos de production », encadrés par des experts de la production, du journalisme, et de la science de l'environnement. Plus d'infos : contacter le CERES.

---

**Code: CERES-AA-ST2-A**

### **Projet individuel**

Niveau : AA

Semestre: S1 ou S2, ECTS: 8 à 16

Responsable : CLAESSEN David

Autres enseignants : tous les enseignants du CERES

Type d'enseignement : projet encadré

Volume horaire : 40h

Ce projet individuel est encadré par un enseignant du CERES. Le sujet du projet est à définir par l'étudiant en discussion avec l'enseignant. Comme pour les stages, il s'agit d'une approche interdisciplinaire d'une problématique environnementale. En fonction du sujet, le travail prend la forme d'une recherche bibliographique et la rédaction d'un rapport ou article ; ou encore la forme d'un stage de recherche au sein du CERES (modélisation ou analyse de données par exemple). Les projets individuels ont lieu pendant tout un semestre ; le planning est à fixer en concertation avec l'encadrant.

---

**Code: CERES-AA-ST1-A**

### **Stage à l'extérieur**

Niveau : AA

Semestre: S1 ou S2, ECTS: 8 à 16

Responsable : CLAESSEN David

Type d'enseignement : stage

Volume horaire : l'équivalent d'un mois en temps plein minimal

Il s'agit d'un stage effectué à l'extérieur du CERES (laboratoire de recherche ou administration), co-encadré par le CERES. Le sujet du stage doit être interdisciplinaire, idéalement touchant à la fois à des aspects scientifiques et sociétaux. La structure d'accueil peut être un laboratoire de recherche public ou privé, une administration ou un organisme de gestion de l'environnement : par exemple la Direction générale de l'énergie et du climat, ou la Direction du développement

durable et de l'environnement au Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, l'Office National des Forêts, le Parc national du Mercantour, Aéroports de Paris, des bureaux d'études en environnement, etc.

Des rapports de stages sont consultables sur le site web du CERES,  
<http://www.environnement.ens.fr/enseignement/travaux-des-etudiants/>

# Enseignements, Activités d'ouverture

Code: ACTD-AA-A02-S1 / ACTD-AA-A02-S2

**ASTEP: (Main à la pâte):** Accompagnement des enseignants en école primaire en sciences et technologies;

<http://www.fondation-lamap.org/page/9927/astep-le-kit-accompagnateurs>

Niveau : L-M ou D

Semestre : S1 ou S2

ECTS : S1=9 ECTS ; S2=9 ECTS , dans le cadre du diplôme de l'ENS; validation d'1 EC ACTF (« Diffusion des savoirs » ; voir ci-après)

**Responsable et contact :** MO Lafosse-Marin, Espace Pierre-Gilles de Gennes, ESPCI-Paris, [mo.lafossemarin@espci.fr](mailto:mo.lafossemarin@espci.fr); voir également direction des études sciences.

Type d'enseignement : stage

Volume horaire : 7 à 8 séances dans une classe primaire

Descriptif & Mode de validation:

Il s'agit d'une formation à la diffusion des savoirs et à la transmission des pratiques scientifiques dans le cadre de l'Accompagnement en Sciences et Technologie à l'École Primaire (ASTEP), initié par la « Main à la pâte », porté par les académies de sciences et des technologies et développé par le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Le but de cette EC est de développer l'enseignement des sciences et technologies dans le milieu scolaire. La formation ASTEP est assurée par un formateur de PSL en binôme avec le responsable de l'ASTEP à l'académie de Paris dans les locaux de l'ESPCI ou de l'ENS.

Mode de validation : Mémoire par l'élève/étudiant, remis à la Direction des études et transmis au formateur de PSL.

Extraits de la charte nationale de l'ASTEP.

L'ASTEP est destiné à seconder les enseignants dans la mise en œuvre et le déroulement d'une démarche scientifique conforme aux programmes de l'école primaire. Avec pour objectifs de rapprocher l'école et le monde des scientifiques à travers un échange de savoirs scientifiques et de pratiques expérimentales ; contribuer à rendre plus accessibles les sciences et les techniques au plus grand nombre ; valoriser les filières scientifiques et technologiques : stimuler la curiosité, éveiller les passions, créer des vocations dès le plus jeune âge...

[http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/astep/PDF/charte\\_accompagnement.pdf](http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/minisites/astep/PDF/charte_accompagnement.pdf)

---

Code: ARTS-IN-CINEW4

## Au cinéma cette semaine...

Niveau : IN

Semestre: S1

Responsable Sophie Walon

Réservé aux scientifiques, ce séminaire alternera séances de cinéma et ateliers de critiques de films. Une semaine sur deux, nous verrons ensemble un film récemment sorti au cinéma, puis nous en discuterons la semaine suivante afin de construire nos propres critiques du film. Cet

atelier s'adresse à tous les curieux, plus ou moins cinéphiles, qui souhaiteraient prolonger leur expérience du cinéma actuel, l'éclairer par des réflexions critiques et théoriques et l'enrichir en confrontant leur propre réception des films à celle des autres.

Ouvert à tous (inscription par mail nécessaire pour l'organisation de la première séance)

Mercredi 19h00-21h00, salle précisée a la rentrée.

Première séance : 09 novembre 2016.

Validation : participation a la réflexion critique et présentation (ou rédaction) d'une critique de film.

---

**Code: ACTD-AA-A05-S1 / ACTD-AA-A05-S2**

### **Mission de valorisation et de Diffusion des savoirs (organisation et/ou animation d'évènements).**

Niveau: L-M ou D

Semestre: S1 ou S2

ECTS: S1=3 ECTS; S2=3 ECTS

Responsable : Direction des études de département

Volume horaire: > 10h

EC semestrielle (S1 ou S2), donnant lieu à l'obtention de 9 ECTS, après validation par le directeur des études du département du normalien, sur présentation d'un document écrit (1 page, listant et détaillant le contenu et volume horaire estimé des activités d'organisation et/ou d'animation d'évènements (workshop, colloque, conférence, semaine culturelle, Nuit Normal'Sup, etc.), et précisant l'audience et l'effectif concerné (eg, tout public, 100 personnes). Le volume horaire estimé doit être supérieur à 10 heures, et l'effectif concerné doit être supérieur à 20 personnes pour donner lieu à validation, mais ceci reste flexible selon la nature de l'évènement doit être prise en compte (préparation/animation d'ateliers, démonstrations, etc.).

---

**Code: ACTD-AA-A01-A**

### **TALENS**

Semestre : Annuel

ECTS : 9 ECTS

Responsable : Olivier Abillon (PESU)

Volume horaire: 30h par semestre environ (30h de tutorat sur l'année, plus préparation, formation, sorties, ENT)

Ce programme est destiné à aider 250 à 300 élèves de lycées en zone difficile à entrer et à réussir dans l'enseignement supérieur. Lors des séances de tutorat, vous permettrez aux lycéens de découvrir les exigences et les méthodes de travail post-bac. Quelques sorties culturelles sont également organisées. Un weekend de formation est prévu en début d'année avec les anciens tuteurs et des enseignants du secondaire.

---

**Code: ACTD-Mathstous-S1**

## "Maths pour tous"

Responsable : M Le Trouit

Niveau: L-M ou D

Semestre: S1

Le séminaire Maths pour tous, organisé par les élèves du DMA, s'adresse à tous les élèves et étudiants d'autres disciplines désireux d'acquérir des éléments de culture générale en mathématiques, quel que soit leur niveau de départ : au rythme d'un exposé par semaine au premier semestre, nous essaierons de présenter quelques grands enjeux des mathématiques, des plus classiques aux plus contemporains, en mêlant preuves rigoureuses et développements plus libres. Nous espérons aussi pouvoir répondre aux questions posées par la salle pour faire naître un vrai dialogue.

Quelques thèmes abordés cette année : A quoi ressemblent les mathématiques de la mécanique quantique ? Comment décrire l'évolution des populations biologiques ? Qu'est-ce qu'une preuve ? Les nombres complexes sont-ils réels ? Quel est le point commun entre l'évolution des cours de la bourse et une partie de ping-pong en plein air ?

Informations pratiques : le séminaire aura lieu le lundi soir, de 18h30 à 19h45, du 26/09 au 12/12 (sauf le 31/10), en salle IFRAF (toits du DMA)

---

**Code: ACTD-Phystous-S2**

## "Physique pour tous"

Responsables : Mathias Casiulis, Alexandre Krajenbrink, Tony Jin, Louis Garrigue

Niveau : L-M ou D

Semestre : S2

Type d'enseignement : Cours

Volume horaire : 24h

Ce cours est avant tout destiné aux normaliens n'ayant pas reçu de formation scientifique.

Il vise à expliquer certains des concepts fondamentaux de la physique moderne aux non spécialistes, sans être cependant un cours de vulgarisation. Les sujets présentés proviendront typiquement de thèmes actuels dont les participants auront pu entendre parler dans la presse ou autre (relativité, trous noirs, informatique quantique, effet papillon, etc.). L'accent sera plus mis sur les concepts généraux et les idées fondamentales structurant les théories physiques, que sur leur aspects calculatoires. Toutefois, des exemples de calculs seront introduits tout au long du cours afin que les élèves puissent appréhender certaines méthodes de raisonnement propres à la physique. Les thèmes abordés seront les suivants (susceptibles de varier suivant la demande des élèves) :

- Physique classique et ses limites
- Mécanique quantique
- Relativité restreinte et générale ; applications aux trous noirs et à la cosmologie
- Physique statistique
- Théorie du chaos

## Autres

**Code:** ACTD-AA-A10-S1, ACTD-AA-A10-S2

### Activités sportives

Niveau : L-M ou D  
Semestre : S1 ou S2  
ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact :** Frédéric Barthes, Daniel Servais. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

**Code:** ACTD-AA-EPIND-S1

### Epopées Indiennes

Niveau : L-M ou D  
Semestre : S1  
ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact :** Daniel Petit, Paul Clavier, Béatrice Joyeux-Prunel, Marc Porée, Isabelle de Vendevre.

---

**Code:** ACTD-AA-JEUDI1-A

### Les jeudi de l'ENS : Actualité critique

Niveau : L-M ou D  
Semestre : Annuel  
ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact :** Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

**Code:** ACTD-AA-JEUDI2-A

### Les jeudi de l'ENS : Idées, Textes, Oeuvres

Niveau : L-M ou D  
Semestre : Annuel  
ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact :** Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

**Code:** ACTD-AA-JEUDI3-A

### Les jeudi de l'ENS : Le Local, Le Global et l'Europe

Niveau : L-M ou D  
Semestre : Annuel  
ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact :** Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

---

**Code: ACTD-AA-JEUDI4-A**

**Les jeudi de l'ENS : Sciences, Ethiques, Humanités**

Niveau : L-M ou D

Semestre : Annuel

ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact** : Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

**Code: ACTD-AA-JEUDI-S1**

**Les jeudi de l'ENS : Les jeudi de l'ENS (tous les séminaires)**

Niveau : L-M ou D

Semestre : S1

ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact** : Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

---

**Code: ACTD-AA-JEUDI-S2**

**Les jeudi de l'ENS : Les jeudi de l'ENS (tous les séminaires)**

Niveau : L-M ou D

Semestre : S2

ECTS : 3 ECTS

**Responsable et contact** : Frédéric Worms. Validation par le tuteur ou directeur des études de département

## CONTACTS UTILES

### **Direction des études :**

Secrétariat (informations générales et prise de rendez-vous) :

[direction.etudes@ens.fr](mailto:direction.etudes@ens.fr)

Adresse : Rez-de chaussée, (dans le hall à gauche)

45 rue d'Ulm, 75005 Paris

Tel : 01 44 32 30 27

Directeur des études Sciences :

Christian Lorenzi

[christian.lorenzi@ens.fr](mailto:christian.lorenzi@ens.fr)

01 44 32 31 13

Directrice des études Lettres

Françoise Zamour

[francoise.zamour@ens.fr](mailto:francoise.zamour@ens.fr)

01 44 32 32 31

### **Directeurs des études des départements scientifiques**

Biologie	Andréa Dumoulin	<a href="mailto:andrea.dumoulin@ens.fr">andrea.dumoulin@ens.fr</a>	01 44 32 23 06
Chimie	Clotilde Policar	<a href="mailto:clotilde.policar@ens.fr">clotilde.policar@ens.fr</a>	01 44 32 24 20
Études cognitives	Benjamin Spector	<a href="mailto:benjamin.spector@ens.fr">benjamin.spector@ens.fr</a>	01 44 32 26 63
Géosciences	Sabrina Speich	<a href="mailto:sabrina.speich@ens.fr">sabrina.speich@ens.fr</a>	01 44 32 22 48
Informatique	David Naccache	<a href="mailto:david.naccache@ens.fr">david.naccache@ens.fr</a>	01 44 32 20 82
Mathématiques	Raphael Cerf	<a href="mailto:raphael.cerf@ens.fr">raphael.cerf@ens.fr</a>	01 44 32 32 77
Physique	Frédéric Chevy	<a href="mailto:frederic.chevy@ens.fr">frederic.chevy@ens.fr</a>	01 44 32 20 19
CERES	David Claessen	<a href="mailto:david.claessen@ens.fr">david.claessen@ens.fr</a>	01 44 32 27 24

**Service des Admissions et des études :** [sae@ens.fr](mailto:sae@ens.fr)

Accueil 01 44 32 31 08

Site Web de l'École normale supérieure : <http://www.ens.fr/>

## ANNEXES



## VADEMECUM DU DIPLÔME DE L'ENS : SCIENCES

Sont diplômés de l'ENS (DENS) les normaliens (élèves et étudiants, français ou étrangers) qui auront satisfait aux exigences suivantes :

### *Obligations pédagogiques*

L'obtention d'un *Master 2 recherche ou formation d'un niveau équivalent* obtenue dans un établissement ne suivant pas le dispositif LMD (l'équivalence étant établie par la direction des études de département (dépt)) ET d'un minimum de *72 crédits européens (ECTS) en formation complémentaire*. La règle commune en la matière reste le Master 2 recherche. En formation complémentaire (et selon les dépts), 12 à 24 ECTS sont imposés par le dépt, 12 à 24 ECTS doivent être pris en dehors du dépt en accord avec le tuteur. Les ECTS restants sont choisis librement par le normalien.

### *Obligations administratives*

Pendant leur scolarité, tous les normaliens (élèves, étudiants) doivent être affiliés à un dépt de l'ENS et se voient attribuer un tuteur individuel. Tous les normaliens devront avoir cumulé **3 années successives d'inscription au DENS** au moins, et pour les normaliens élèves, avoir achevé leur scolarité.

Les boursiers sur critères sociaux sont exonérés de droits d'inscription. En cas de difficulté financière importante, les normaliens élèves en CST ou les normaliens étudiants peuvent être exonérés, sous réserve d'avoir obtenu auparavant l'accord écrit de la direction des études.

**À partir de la quatrième année, les inscriptions sont exonérées de frais.** Les inscriptions supplémentaires sans frais, dans la limite de la durée de la scolarité, permettent d'ajouter des validations pour le DENS.

Deux années de césure (avec inscription à l'établissement) sont autorisées.

L'inscription au DENS ouvre droit à la prise en compte des validations obtenues dans l'année, à condition que celles-ci soient reportées dans le *programme d'étude* du normalien. Ce programme d'étude doit être validé chaque année par le normalien, le tuteur et le directeur des études de dépt. La validation des enseignements ou stages effectués durant une année de congé est conditionnée à une inscription durant cette année, mais pourra également être reportée sur l'année suivante.

### **Peuvent être validés dans le cadre du diplôme :**

- la formation à l'ENS : cours classiques ou séminaires, indiqués dans les catalogues des enseignements de l'ENS;
- des enseignements suivis à l'extérieur avec des institutions partenaires en France et à l'étranger (e.g., Collège de France, 6 ECTS) ;

- des séminaires d'élèves (pour les organisateurs seulement, 6 ECTS) ;
- certaines écoles d'été ou séminaires de dépt (3 à 6 ECTS), sous réserve de l'accord du tuteur ou du directeur des études du dépt (selon les dépts) ;
- des activités de tutorat (TALENS, 9 ECTS), ou accompagnement dans l'enseignement primaire (ASTEP, 9 ECTS) ;
- la participation au programme PEI (avec participation annuelle, 6 ECTS) ;
- des stages d'enseignement dans des établissements d'enseignement secondaire (4 à 6 semaines d'observation et prise en charge de cours) et des stages non-académiques hors master (en administration, ONG, ou entreprise), à raison de 6 ECTS par mois (dans la limite de 24 ECTS pour les stages longs) sous réserve de l'accord du tuteur ou du directeur des études du dépt (selon les dépts) et sur remise d'un compte-rendu.
- Des cours de langue, pris au sein du dépt ECLA, ainsi que la préparation au Test de Cambridge (niveau advanced, CAE) également proposée par ECLA. La validation du CAE donne lieu à 12 ECTS pour le DENS.
- La pratique sportive dans le cadre d'une des équipes de l'ENS (3 ECTS par semestre, dans la limite de 6 ECTS durant la scolarité).
- L'engagement dans le vie de l'école (COF, BDS, BDA, DG : 3 ECTS).

Le candidat admis est diplômé dans la discipline correspondant à son Master 2. Le jury peut déroger à cette règle, en particulier pour certains M2 pluridisciplinaires. Si le candidat a obtenu deux M2, le jury décide de la spécialité principale en fonction du parcours du candidat. Dans le cas où le candidat est rattaché à un dépt différent de la discipline de son Master 2, le diplôme ne peut être obtenu qu'avec l'accord des directeurs des études des deux dépts concernés. Un minimum d'ECTS complémentaires, en tout état de cause de 12 sur les 72 requis, dans la discipline du Master 2, est exigé par le dépt de la discipline du M2.

Un candidat ayant obtenu un **minimum de 24 ECTS** dans une discipline distincte de celle du Master 2 pourra obtenir une **spécialité secondaire** sous réserve de l'accord des directeurs des études des dépts concernés.

Les candidatures des normaliens seront proposées au jury lettres ou sciences pendant l'**année universitaire qui suit la fin de la scolarité**. Aucune régularisation d'inscription ne peut être faite après la sortie de l'École.

Le DENS est un diplôme d'établissement conférant **grade Master**.

## **GLOSSAIRE :**

AA : Autre

ECTS : European Credits Transfer System

IN : Initiation (en particulier pour les non-spécialistes)

L3 : Licence Troisième année

MM : niveau Master

M1 : Master première année

M2 : Master deuxième année

RE : Recherche (master ou niveau doctoral, pour spécialistes)

### **Crédits photos :**

Couverture :

**Département de Biologie p 9 : © CNRS Photothèque - GERVAIS Virginie, UMR5089 - Institut de pharmacologie et de biologie structurale (IPBS) - TOULOUSE**

**Département de Chimie p 40 : © CNRS Photothèque - JARDILLIER Nicolas, GOURSOT Annick, BERTHOMIEU Dorothee, UMR5618 - Laboratoire de matériaux catalytiques et catalyse en chimie organique - MONTPELLIER**

**Département d'études cognitives p 64: © CNRS Photothèque / Valentin WYART, UPR640 - Neurosciences cognitives et imagerie cérébrale (LENA) - PARIS**

**Département des géosciences p 84: © D.R.**

**Département d'informatique p 114 D.R.**

**Département des mathématiques et applications p 155: DR**

**Département de physique p 174 : © École normale supérieure / Pôle communication de l'ENS**

**CERES p 220: © École normale Supérieure - Denis-Didier Rousseau - Ceres - Erti**