



ENS

ÉCOLE NORMALE
SUPÉRIEURE

2014-15

LIVRET D'ENSEIGNEMENT
SCIENCES

LE MOT DU DIRECTEUR

On trouvera dans cette brochure une présentation générale des cours, 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, élèves de première année, boursiers de la section internationale, étudiants admis à préparer le diplôme de l'ENS, 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 l'institution, et de la variété des parcours offerts.

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 étudiant de son parcours d'études individuel, alliant excellence académique et ouverture, 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 élèves 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 élèves 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 étudiants sont eux-mêmes placés en situation de jeunes chercheurs). L'encadrement pédagogique est assuré par un corps d'enseignants-chercheurs qui font bénéficier leurs élèves des avancées de leurs travaux et les y associent.

Enfin, de nombreux professeurs et chercheurs invités de renommée internationale participent à l'initiation des étudiants aux recherches de pointe dans leur domaine. C'est ainsi toute l'activité de l'École et de ses laboratoires qui contribue à faire de l'enseignement dispensé à l'École normale supérieure la meilleure des formations par la recherche.

Une École ouverte au monde

Les étudiants de l'École normale supérieure 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 élèves normaliens entrés par concours est de quatre ans, celle des étudiants préparant le diplôme de trois ans ou quatre 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.

Certains élèves de l'École normale supérieure préparent également l'agrégation. Enfin, 90% des normaliens scientifiques achèvent leur cursus par la préparation d'une thèse.

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

Le diplôme de l'ENS consiste en un master accompagné d'une formation complémentaire «maison». Cette formation correspond à un certain volume d'enseignements que l'élève ou l'étudiant doivent valider. Les élèves ont également la possibilité 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 plus du master, pour l'obtention du diplôme de l'ENS, un tiers au moins doit appartenir à un champ disciplinaire distinct de celui du master qu'il soit littéraire ou scientifique. Dans le cas où l'étudiant 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. Les élèves normaliens le reçoivent à l'issue de leur scolarité à l'École.

Notre École, votre École

L'École normale supérieure est l'un des établissements d'élite de l'enseignement supérieur français. 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 scientifiques conduits dans l'École. 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.

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. Apprenez à la connaître, elle incarne, dans toute sa singularité, une des formes de l'excellence contemporaine en matière d'enseignement et de recherche. Bienvenue à l'ENS.

Marc MÉZARD
Directeur de l'École normale supérieure

LE MOT DU DIRECTEUR ADJOINT SCIENCES

LE PROJET PEDAGOGIQUE

Grâce à une formation culturelle et scientifique de très haut niveau en contact étroit avec ses chercheurs, l'École prépare des élèves qui se destinent à une grande diversité de métiers : recherche scientifique fondamentale ou appliquée, enseignement supérieur et haute fonction publique, mais aussi postes de direction dans des établissements publics européens ou des entreprises.

C'est la liberté intellectuelle qui représente l'une des caractéristiques majeures de l'École. En effet, la formation par la recherche s'y appuie sur des projets individuels construits avec les directeurs des études, ainsi que sur l'interaction avec un tuteur personnel.

La recherche y est structurée en 14 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, la multidisciplinarité est fortement encouragée.

Au bout de deux années de formation, généralement dispensées à l'ENS qui comprennent un stage long à l'étranger l'étudiant fait le choix d'un M2 que ce soit à l'ENS ou dans les universités parisiennes voire au-delà. La quatrième année permet alors à l'étudiant 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. De nombreux partenariats en France ou à l'étranger permettent aux élèves qui le désirent de compléter leur formation.

Avec 4 années à l'ENS et le plus souvent 3 années supplémentaires en thèse, un concript 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.

Liberté intellectuelle, esprit d'initiative et tutorat individuel

L'ENS valorise l'autonomie de ses élèves grâce à un tutorat individuel : tout élève ou étudiant 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 étudiant 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.

L'interdisciplinarité

L'ENS privilégie les connaissances fondamentales et associe à l'approfondissement d'une discipline, la familiarité avec d'autres domaines. Plus précisément, l'ENS propose 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, 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 élèves 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 élèves des avancées de leurs travaux et les y associent.

Une formation ouverte sur le monde

Les élèves et étudiants de l'ENS 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.

Yves LASZLO
Directeur adjoint Sciences

SOMMAIRE

Département de Biologie	p. 7 à 41
Département de Chimie	p. 42 à 63
Département des études cognitives	P. 64 à 84
Département des Géosciences	p. 85 à 110
Département d'Informatique	p. 111 à 151
Département des Mathématiques et applications	p. 152 à 164
Département de Physique	p.165 à 210
Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environne ment et la Société	p. 211 à 213
Contacts utiles	p. 214
Glossaire	P.215

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 le travail personnel encadré par un tutorat individualisé assuré par des chercheurs du département.

L'ouverture aux autres disciplines scientifique est assurée de différentes manières: (1) sous forme de cours portant sur d'autres disciplines (mathématiques, physique, chimie), 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.

L'ouverture est également encouragée vers les sciences humaines et sociales, que ce soit dans le cadre du Diplôme de l'école, ou encore (mais plus rarement bien sûr) en construisant un parcours mixte. De nombreux cours de langue, à tous les niveaux, sont offerts aux étudiants.

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 est notamment caractérisée par des stages en laboratoire tout au long de la scolarité (deux semaines puis deux mois en licence; un semestre en M1, un semestre en M2). Elle se traduit aussi par des cours dont une partie est consacrée à des conférences adaptées au niveau des étudiants, données par des spécialistes de la question traitée, et discutées pendant le cours. Enfin cette initiation est faite sous la forme de séminaires de recherche, spécifiquement créés pour les étudiants de notre cursus par les doctorants et les post-doctorants du département réunis dans l'association SPIBENS.

Le corps enseignant est composé des enseignants-chercheurs statutaires du département, et d'un nombre supérieur 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)

Le premier semestre est organisé pour offrir les bases indispensables à une activité de recherche, incluant une partie importante de formation pratique, et un premier stage de découverte d'un laboratoire d'une durée de 2 semaines. Le second semestre a pour objectif de faire découvrir des champs de recherche en plein essor en sciences de la vie, avec la participation d'experts du domaine. S'y ajoutent des cours interdisciplinaires de mathématiques, de physique, de chimie intégrés dans le diplôme national, et les cours optionnels proposés par les départements de géosciences, d'informatique, ou d'études cognitives, et bien évidemment les cours proposés par les départements littéraires dans le cadre du diplôme de l'école. Les séminaires de recherche pour étudiants, préparés en amont avec les doctorants et post-doctorants du département, sont répartis sur l'année. Les cours et examens prennent fin en mai, pour laisser place au stage de recherche de 2 mois, comptant pour le Diplôme de l'ENS, et qui donne lieu à un rapport écrit et à une soutenance orale en septembre.

Première année de master (M1)

La première année de master offre une large panoplie d'enseignements variés 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 également 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 une question fondamentale 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 l'ENS). Le second semestre est consacré à un stage dans un laboratoire de recherche, en général à l'étranger (rapport écrit, et soutenance en juillet).

Deuxième année de master (M2)

Une partie des étudiants du département s'inscrit dans les parcours de M2 co-habilités avec l'école, mais majoritairement enseignés à l'extérieur (à l'Université Pierre et Marie Curie, ou à l'Université Paris-Sud). Les autres choisissent le master interdisciplinaire en sciences du vivant (IMaLiS, Interdisciplinary Master in Life Sciences), dispensé en anglais et entièrement enseigné à l'ENS, proposé 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 d'autres Grandes Écoles, ou des facultés de science, d'ingénierie et de médecine d'universités françaises et étrangères.

IMaLiS propose une formation interdisciplinaire sans équivalent en France, permettant aux étudiants de se former au carrefour de la biologie des systèmes, des neurosciences intégratives et computationnelles, ou de la modélisation en écologie et génétique évolutives.

LES ENSEIGNEMENTS

Code: BIO-L3-A01-S1

Pratique expérimentale

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : HERMANN Sylvie

Autres enseignants : LEPERE Gersende

Type d'enseignement : *TD – TP*

Volume horaire : 4 semaines

Pendant 3 semaines, plusieurs sessions de travaux pratiques en petits groupes, en collaboration avec l'ENS Cachan, permettront un premier contact avec la biochimie, la génétique, la biologie moléculaire et la physiologie animale et végétale :

- Travaux pratiques de biochimie (ENS Cachan)
- Travaux dirigés de biologie moléculaire et cellulaire végétale
- Travaux pratiques de génétique

Code: BIO-L3-A02-S1

Stage court en laboratoire

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : MICHEL Éric

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 2 semaines + 2 jours

Après un enseignement de Travaux pratiques, il s'agit d'une première immersion en laboratoire dont la majorité se trouve dans le département de Biologie à l'ENS Paris. Le laboratoire accueille et encadre le travail de recherche d'un ou deux élèves et renforce ainsi l'aspect formation par la recherche de la Licence de Biologie.

L'un des travaux réalisé en laboratoire fera l'objet d'une présentation par affiche au cours des journées de la Licence, journées qui marquent la fin du premier semestre. Il s'agit là d'une initiation à la communication scientifique sous la forme d'un mini-congrès. Au cours de ces journées, des conférences et des rencontres débats avec des chercheurs et des industriels sur le thème des biotechnologies et de leurs applications sont organisées.

Code: BIO-L3-A03-S1

Informatique et statistiques

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : VINCENS Pierre

Autres enseignants : THOMAS-CHOLLIER Morgane

Type d'enseignement : *Cours*
Volume horaire : 65h

L'objectif est de compléter ici les connaissances des étudiants sur l'usage de l'outil informatique acquises au préalable par l'étudiant ou lors des stages de rentrée. La première partie de cet enseignement introduira les fonctionnalités des systèmes d'exploitation et des réseaux. Le cours sera complété par des séances pratiques notamment sur l'utilisation d'Unix. Il y sera aussi présenté des notions de sécurité informatique.

La seconde partie sera constituée d'ateliers portant sur des thèmes évoluant chaque année en fonction des connaissances des étudiants et des besoins. Un atelier est constitué d'une introduction à la problématique considérée et de séances pratiques l'illustrant.

Code: BIO-L3-A04-S1

Ecologie, Génétique, Evolution

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FERRIERE Regis

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : 35h

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 Écologie & Évolution ».

Code: BIO-L3-A05-S1

Biologie cellulaire I : noyau, cycle cellulaire, apoptose

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : DUMOULIN Andréa

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : 35h

Le cours de Biologie Cellulaire I est organisé en 2 parties : d'un côté des sujets abordés lors des classes préparatoires sont approfondis et traités en partie par le biais de la recherche actuelle (cytosquelette, régulation du cycle cellulaire). D'autre part, des thématiques plus originales sont développées à travers des cours introductifs suivis d'exposés de recherche (organisation et fonctionnement du noyau, cytokinèse, apoptose). Les cours sont assurés par des chercheurs experts du domaine. Le module Biologie Cellulaire I prépare les étudiants au module Biologie Cellulaire II, en M1.

Code: BIO-L3-A06-S1

Neurosciences / Physiopathologie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : CASADO Mariano /

Autres enseignants : RIALLAND-LEFEVRE Pascale – Maître de Conférences ENS Cachan

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : 20h

Initiation à l'étude de la Physiologie à travers deux points de vue différents et complémentaires.

Cet enseignement est divisé en 2 volets :

- ▶ Introduction aux neurosciences
- ▶ Physiopathologie humaine focalisée notamment sur le cancer

Code: BIO-L3-A07-S1

Biologie et société

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 2

Responsable : CASADO Mariano

Autres enseignants : VINDIMIAN Eric

Type d'enseignement : (*cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : 20h

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

Code: BIO-L3-A08-S1

NOUVEAU

Biologie Moléculaire et Génétique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : CHARNAY Patrick

Autres enseignants : FELIX, Marie-Anne, HERMANN Sylvie, HYRIEN, Olivier, LEPERE Gersende, THIEFFRY Denis

Type d'enseignement : *Cours/TD*

Volume horaire : 35h

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 seront également abordées.

Code: BIO-L3-B01-S2

Ouverture à la recherche A (écologie, évolution)

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : LE GALLIARD Jean-François

Type d'enseignement : Cours, TP de terrain, TPE

Volume horaire : 25h + 28h TPE

Dans la première partie, des journées de cours mettant l'accent sur des thématiques d'écologie et d'évolution offriront des éclairages complémentaires au module de premier semestre en ouvrant à une large gamme d'approches utilisées en écologie (expérimentation, observation et modélisation).

Dans la deuxième partie, les étudiants effectueront en groupe un mini-projet de recherche dont les résultats seront analysés en TPE.

Le stage de terrain sera organisé par une équipe d'enseignants chercheurs au CEREEP-Ecotron Île-de-France sur le site de Foljuif de l'École normale supérieure.

Code: BIO-L3-B02-S2

Ouverture à la recherche B (biologie intégrative)

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 5

Responsable : COLLIN Olivier

Type d'enseignement : Cours, TPE

Volume horaire : 35h + 28h TPE

Programme :

- Biologie Cellulaire
- Développement
- Neurophysiologie

Code: BIO-L3-B03-S2

Ouverture à la recherche C (génétique, génomique, protéomique)

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 5

Responsable : HERMANN Sylvie

Autres enseignants :

Type d'enseignement : Cours, TPE

Volume horaire : 50h + 35h TPE

Programme

- Bioinformatique
- Génétique et microbiologie
- Génomique et protéomique
- Biochimie et structures des protéines

Code: BIO-L3-B04-S2

Ouverture à la recherche D (endocrinologie, immunologie, virologie)

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : GRESSET Aurélie

Type d'enseignement : Cours, TPE

Volume horaire : 25h + 28h TPE

- Endocrinologie
- Immunologie
- Virologie

Code: BIO-L3-B05-S2

Maths I :Ce qu'un biologiste ne doit pas ignorer

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : LAMBERT Amaury

Type d'enseignement : *Cours, TD*

Volume horaire : 45h cours/TD

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.

Code: BIO-L3-B12-S2

Introduction à la microscopie optique et à la physique statistique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : BOURDIEU Laurent

Autres enseignants : STRICK Terence

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : 39h (13 séances de 3 h)

Objectifs

Donner aux étudiants les connaissances de base en optique permettant d'utiliser un microscope dans ses différents modes. Introduire les techniques de micromanipulation de biomolécules uniques permettant d'étudier la dynamique d'enzymes.

- Optique, microscopies, applications récentes en Biologie
- Physique Statistique et micromanipulation

Code: CHIM-G02-S2

Chimie : liaisons intermoléculaires

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : BAIGL Damien

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : Département de chimie

Liaisons Intermoléculaires : Permettre aux étudiants de biologie de maîtriser les éléments de chimie indispensables à la compréhension des phénomènes biologiques à l'échelle moléculaire. Il s'agira, d'une part, de présenter les outils contemporains d'analyse des molécules d'intérêt biologique (RMN, spectrométrie de masse, fluorescence...). D'autre part, les bases nécessaires à l'analyse de différents systèmes seront posées, tant dans l'approche organique (molécules organiques rencontrées en biochimie, enzymologie...) qu'inorganique (rôles des métaux de la structure à la catalyse). Ces connaissances seront mises en perspective dans la présentation d'exemples parmi la recherche contemporaine (inhibiteurs analogues d'état de transition, abzymes, espèces réactives dérivées de l'oxygène (ROS) et protection contre le stress oxydant...).

Code :

Chimie : biosynthèse/bio-organique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : POLICAR Clotilde

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : Département de chimie

Le cours de Chimie des processus biologiques est animé par Marc Fontecave, encadré par Clotilde Policar, et il se déroule au collège de France.

Ce cours est donné sous forme de séminaires et évolue chaque année autour d'un thème liant la chimie à un processus biologique.

Code: ECLA

Module de langue vivante obligatoire

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : BUTIGIEG Dorothée

Type d'enseignement : *Cours*

Volume horaire : 1 semestre

La validation de la pratique de 2 cours de langue sont nécessaires 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 le responsable de la L3 (Olivier Collin) vous y a autorisé. Pour cela, merci de prendre rendez-vous pour un entretien.

Code: BIO-L3-B09-S2

Stage long en laboratoire

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : MICHEL Éric

Autres enseignants : CASADO Mariano, FERRIERE Régis, THIEFFRY Denis, KELLERMAN Odile

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 8 semaines

Les élèves continuent leur formation par la recherche au cours d'un stage en laboratoire de 8 semaines durant les mois de juin et juillet.

Ce stage est obligatoire et permet d'obtenir 6 ECTS dans le cadre de la validation du DENS.

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-IN-B10-S2

Idées et théories en biologie: analyse d'ouvrages

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 6

Responsable : DE ROSA Renaud

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 36h

Le module "idées et théories en biologie" vise à susciter la discussion à partir de la lecture d'un ouvrage de biologie classique ou récent. En prenant du recul par rapport à l'avalanche de connaissances nouvelles dont ils peuvent être bombardés par ailleurs, les étudiants réfléchissent à des questions fondamentales de la biologie. Les sujets abordés varient d'une année sur l'autre en fonction de l'ouvrage choisi.

Code: BIO-IN-B11-S2

Modélisation en biologie

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 6

Responsable : DE MONTE Silvia

Autres enseignants : COPPEY Matthieu

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 36h

Le cours de Modélisation présente les bases d'une approche mathématique des systèmes biologiques. Les étudiants acquièrent ainsi les compétences nécessaires pour :

- comprendre les fondements théoriques des travaux de biologie dans lesquels la modélisation tient une place importante et acquérir une culture de la modélisation en biologie,
- être capable de transcrire un problème biologique en un modèle simple,

- être en mesure d'interagir avec des spécialistes de modélisation, en présentant leurs problèmes et leurs données de manière à faciliter la construction et l'analyse de modèles, et en étant capable d'interpréter et de valoriser la démarche et les résultats des modélisateurs.

Le cours est organisé de façon à présenter une gamme d'outils mathématiques et computationnels variés (systèmes dynamiques, réseaux, modèles stochastiques) tout en présentant en parallèle leurs applications aux différents domaines de la biologie (réseaux génétiques, biologie des systèmes, biophysique cellulaire, biologie du développement, écologie). Il est fortement recommandé que les élèves n'ayant pas de bases en mathématique suivent le cours de mathématiques avant celui de modélisation.

Ouvrages de référence

Brown D, Rothery P (1993) *Models in Biology*. Wiley.

Ellner SP, Guckenheimer J (2006) *Dynamic Models in Biology*. Princeton University Press.

Eldestein-Keshet L (2005) *Mathematical Models in Biology*. SIAM.

Alon U (2007) *An Introduction to Systems Biology - Design Principles of Biological Circuits*. CRC.

Code: BIO-M1-S02-S1

Biologie cellulaire II : trafic, motilité, biophysique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Philippe CHAVRIER

Autres enseignants : Anne PAOLETTI et Olivier COLLIN

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

► *Molecular Biology of the Cell*, Alberts (Garland Science Ed); *Cell Biology*, Pollard & Earnshaw (Saunders Ed)

► *The Cell Cycle. Principles of control*, D. Morgan (NSP Ed)

► *Physical Biology of the Cell*; Phillips, Kondev & Theriot (Garland Science Ed)

► Optional: *The biology of cancer*, Weinberg (Garland Science Ed)

Code BIO-M1-S01-S1

Biologie du développement

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : HAVIS Emmanuelle

Autres enseignants : SCHNEIDER-MAUNOURY Sylvie

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

Les mécanismes génétiques et cellulaires qui sous-tendent le développement embryonnaire participent, tout au long de la vie, à la régulation des processus physiologiques des organismes pluricellulaires adultes. Cette UE a pour objectifs : de dresser un panorama de ces mécanismes et des concepts issus de la biologie du développement, de présenter les organismes modèles, leurs spécificités et leurs apports, de montrer les applications de la biologie du développement dans de nombreux domaines scientifiques et médicaux : évolution, cellules souches, cancer, etc...

Code: BIO-M1-S08-S1

Développement du système nerveux

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsable: CHARNEY Patrick

Autres enseignants : SPASSKY Nathalie

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,...

► Developmental Neurobiology (Mahendra and Jacobson)

Some chapters in:

► "Developmental Biology" (Scott Gilbert)

► and "Neuroscience" (Bear, Connors and Paradiso)

Code: BIO-M1-S05-S1

Génétique évolutive

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : HEYER Évelyne

Autres enseignants : AUSTERLITZ Frédéric

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.

► Henry, J. P. & Gouyon, P. H. (2008). Précis de génétique des populations. Dunod, Paris.

► Hartl, D. L. (2000). A primer of population genetics. 3rd edition. Sinauer Associates, Sunderland, Mass

Code: BIO-M1-S06-S1

Ecologie évolutive

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : CLAESSEN David Autres enseignants : FERRIERE Régis

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

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : FERRIERE Régis

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

L'objectif de ce module est d'établir les bases d'une connaissance empirique et théorique des mécanismes qui sous-tendent la dynamique de la diversité des communautés d'espèces en interaction, et le fonctionnement des écosystèmes. Programme :

1. Typologie des relations interspécifiques.
2. Structure et dynamique des réseaux d'interactions trophiques.
3. Systèmes d'interactions hôte-parasite.
4. Rôle des interactions mutualistes et symbiotiques dans le fonctionnement des écosystèmes.
5. Réponses écologiques et évolutives des écosystèmes aux perturbations anthropiques. Mécanismes de co-évolution.

Ce module de 2 semaines est organisé en cours magistraux, conférences et travaux dirigés basés sur l'analyse d'articles. Chaque intervenant fournira une base bibliographique (chapitres d'ouvrages et articles de synthèse mis à disposition des étudiants) et l'encadrement nécessaire au bon déroulement du travail personnel.

Code: BIO-M1-S04-S1

Génomes et phénotypes

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : FELIX Marie-Anne

Autres enseignants : ROEST-CROLLIUS Hugues

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.

Books :

- ▶ Génétique : Gènes et génomes, Rossignol, Berger, Deutsch, Fellous, Lamour-Isnard, Ozier-Kalogeropoulos, Picard, de Vienne (2000)
- ▶ An introduction to genetic analysis, Griffiths, Miller, Suzuki, Lewontin, Gelbart
- ▶ Genetics and analysis of quantitative traits, M. Lynch and B. Walsh (1998)
- ▶ The triple helix: gene, organism, environment, R. Lewontin (2000)

Articles:

- ▶ Huang, L.S. and Sternberg, P.W. 2006. Genetic dissection of developmental pathways Wormbook <http://www.wormbook.org/chapters/ww...>
- ▶ Phillips, P.C. 2008. Epistasis - the essential role of gene interactions in the structure and evolution of genetic systems Nature Reviews Genetics 9:855-867
- ▶ Debat, V. and David, P. 2001. Mapping phenotypes : canalization, plasticity and developmental stability. Trends in Ecology and Evolution, 16:555-561.
- ▶ Lewontin, R.C. 1974. The Analysis of Variance and the Analysis of Causes. Am. J. Hum. Genet. 26:400-411.
- ▶ Kruglyak, L. and Rockman, M.V. 2006. Genetics of global gene expression. Nature Reviews Genetics 7:862-872. ▶ Stern, D.L. and Orgogozo, V. 2009. Is genetic evolution predictable? Science 323:746-751.

Code: BIO-M1-S03-S1

Projet de Biologie computationnelle

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : VINCENS Pierre

Autres enseignants : Morgane Thomas-CHOLLIER

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

Course objectives and description : L'objectif de cet enseignement de 50h est d'introduire les étudiants à l'approche bioinformatique en leur présentant à la fois les principes fondamentaux et quelques aspects en cours de développement de ce domaine de recherche. Outre l'analyse des séquences nucléiques et protéiques (détermination des propriétés fonctionnelles et structurales sur la base de la séquence primaire, recherche de caractéristiques communes à un ensemble de séquences,...) mais aussi la problématique de la gestion de l'information génomique (annotation), les thèmes abordés couvriront une présentation de la phylogénie moléculaire (approches cladistiques et phénétiques) et les approches permettant de prédire la structure tertiaire d'une protéine (« threading », analogie,...) mais aussi les interactions entre molécules (interactions protéines-protéines, protéines-ADN, etc.) et la modélisation des réseaux biologiques (réseaux génétiques, réseaux de neurones, etc.).

Code: BIO-M1-S12-S1

Epigénétique

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: DESPRES Barbara

Autres enseignants : LEPERE Gersende

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 25h

The objective of this course is to discover the paradigms of epigenetics: from the epigenetic phenomons to the molecular mecanisms. 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.

The week is orchestrated by high-level scientific specialists. Each seminar (1h30-2h) enables great interactions between students and researchers. At the end of each seminar an analysis of articles concerning the topic will be presented by a pair of students for further study. A general discussion will be animated by the end of the week to debate around subjects account for impressions and questions from students.

- ▶ Epigenetics - Allis, Jenuwein, Reinberg, Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- ▶ A small-RNA perspective on gametogenesis, fertilization, and early zygotic development, Bourc'his D, Voinnet O, Science. 2010 Oct 29 ;330(6004):617-22
- ▶ The piRNA pathway : a fly's perspective on the guardian of the genome, KA Senti, J Brennecke, Volume 26, Issue 12, December 2010, Pages 499–509
- ▶ RNA-guided DNA rearrangements in ciliates : Is the best genome defence a good offence ? Coyne RS, Lhuillier-Akakpo M, Duharcourt S. Biol Cell. 2012 Feb 21
- ▶ Chromatin structure and nuclear organization dynamics during X-chromosome inactivation. Nora EP, Heard E, Cold Spring Harb Symp Quant Biol. 2010 ;75:333-44.

Code: BIO-M1-S09-S1

Physiologie du neurone

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : PAOLETTI Pierre

Autres enseignants : CASADO Mariano

Type d'enseignement : *cours /TD*

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.

- ▶ Ionic Channels of Excitable Membranes by Bertil Hille, 3rd edition, 2001, Sinauer Associates
- ▶ The Synapse edited by M. Sheng, B. Sabatini and T. Südhof, 2012, Cold Spring Harbor Press

- ▶ Principles of Neural Science by Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum & Hudspeth, 5th edition, 2012, McGraw Hill
- ▶ Neuroscience by Purves and coll., 5th edition, 2012, Sinauer Associates

Code: BIO-M1-S10-S1

Du neurone au système

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : BARBOUR Boris

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

Ce module s'inscrit dans la filière « Neurobiologie » du Master de l'École Normale Supérieure et a pour but de présenter aux étudiants les propriétés de la communication synaptique ainsi que des propriétés émergentes résultant de l'assemblage des neurones en réseau. A partir des bases acquises dans le module N1, on abordera l'étude d'un niveau supplémentaire de complexité.

Programme :

Cours conférences

1. Le neurone, la synapse : aspects structuraux (2h)
2. Transmission synaptique (10h)
3. Interactions glie-neurone (4h)
4. Intégration postsynaptique (6h)
5. Du neurone au réseau (6h)

Code: BIO-M1-S11-S1

Neurosciences intégratives

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : LENA Clément

Autres enseignants : POPA Daniela

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,...).

- ▶ Kandel, Schwartz and Jessel: Principles of Neural Science. Publisher: McGraw-Hill Professional
- ▶ Bear, Connors and Paradiso: Neuroscience: Exploring the Brain Publisher: Lippincott Williams & Wilkins
- ▶ Squire, Bloom, Spitzer, Berg, du Lac and Ghosh: Fundamental Neuroscience Publisher: Academic Press
- ▶ Purves, Augustine, Fitzpatrick and Hall : Neuroscience Publisher : Sinauer Associates

Code: BIO-M1-T101-S1

Rythmes biologiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : BLAIS Catherine

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 40h

Le but de ce module est d'illustrer la diversité des rythmes biologiques, de la cellule à l'organisme et la population, à des échelles de temps variées, pour différentes fonctions, et de montrer leur ubiquité et leur fonction adaptative vis à vis des variations de l'environnement.

Programme :

1. Rythmes circadiens

De l'existence des horloges biologiques : aspect historique

Les gènes d'horloge et les mécanismes moléculaires de la rythmicité circadienne

L'horloge des mammifères et son contrôle

Chronobiologie et thérapeutique

2. Rythmes saisonniers

Mélatonine et rythmes saisonniers

Rythmes circannuels et photopériodisme animal
Lumière et rythmes de développement chez les végétaux

Code: BIO-M1-T102-S1

Populations minuscules

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : MICHEL Éric

Type d'enseignement : *cours /TD*

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.

► Traité d'écologie microbienne, édité par Jean-Claude Bertrand, Pierre Caumette, Philippe Lebaron, Robert Matheron et Philippe Normand aux Presses Universitaires de Pau. (<http://www.presses-univ-pau.fr/cart...>)

Code: BIO-M1-T103-S1

Evolution

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : DE ROSA Renaud

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

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.

- ▶ S.B. Carroll et al., from DNA to diversity
- ▶ C. Darwin, the origin of species
- ▶ R. Dawkins, the selfish gene
- ▶ S. J. Gould, pretty much anything

Code: BIO-M1-T104-S1

Module interdisciplinaire: physique et biologie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : ALLEMAND Jean-François

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 40h

The course aims at providing basic elements of statistical physics which allows to make a link between microscopic and macroscopic world. A second part of the course is dedicated to some physical understanding of hearing and touch.

- ▶ Physical biology of the cell (Garland editions).
- ▶ Accompanying review in pdf (Texture sensation through the fingertips and the whiskers. M.E. Diamond ; Current Opinion in Neurobiology 2010, 20:319–327).

Code: BIO-M1-T105-S1

Maths II : ce qu'un biologiste peut ne pas ignorer

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : LAMBERT Amaury

Type d'enseignement *cours /TD*

Volume horaire: 40h

This course is a follow up to Mathematics I "what a biologist should not ignore" (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.

- ▶ Elements of Mathematical Ecology by Mark Kot
- ▶ Modelling Populations in Space and Time, by Eric Renshaw

- ▶ Mathematical Biology, by James Murray
- ▶ A Biologist's guide to mathematical modeling in ecology and evolution, by S. Otto and T. Day
- ▶ Theoretical Neuroscience, by P. Dayan and Abbott
- ▶ Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting, by E. Izhikevich
- ▶ Spiking Neuron Models, by W. Gerstner et W. M. Kistler

Code: BIO-M1-T106-S1

Statistiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : VAN DOOREN Tom

Autres enseignants :

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.

▶ Michael J. Crawley. Statistics : An Introduction using R. 2005. Pawitan Y. In All Likelihood : Statistical modeling and inference using likelihood. 2001.

▶ J. Daudin, S. Robin, and C. Vuillet. Statistique inférentielle : idées, démarche exemples, Presses Universitaires de Rennes ed., Société Française de Statistique, 1998.Code: ECLA

Module de langue vivante

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : BUTIGIEG Dorothée

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 1 semestre

Une UE d'anglais (3 ECTS) 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-D02-S2

Insertion professionnelle

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : LAHOUE Benoît

Type d'enseignement : *exposé, séminaire, groupe de travail*

Volume horaire : 5 x 1h30

L'association SPIBens, qui réunit les doctorants et les post-doctorants de l'Institut de Biologie de l'ENS, vous propose une série de séminaires.

Les intervenants sont volontaires et bénévoles. Ils ont choisi de vous présenter une de leur thématique de recherche (sous forme d'un séminaire d'une demi-heure) et de discuter de la science, de leurs parcours, vous donner des conseils et répondre à vos questions.

L'enseignement de cette UE, d'une valeur de 3 ECTS, est organisé sous forme de séminaires scientifiques donnés par les étudiants en thèse et les post-doctorants du département de biologie de l'ENS.

Ces séminaires se dérouleront le **lundi entre 12h15 et 13h45**.

La présentation (en français ou en anglais) faite par l'intervenant durera 1/2h environ, et l'ensemble de la session (questions et discussion incluses) ne dépassera pas 1h30.

Afin de valider l'UE, vous devrez assister à 5 séminaires qui vous seront assignés selon vos préférences dans la mesure du possible.

Code: BIO-M1-D03-S2

(i) Stage long (5 mois) à l'étranger

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 24

Responsable : MICHEL Éric

Autres enseignants : DUMOULIN Andréa, THOMAS-CHOLLIER Morgane, ROCHE Benjamin

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 5 mois

Il s'agit d'un stage en laboratoire leur permettant d'approfondir leur connaissance du fonctionnement d'un laboratoire de recherche. D'une durée de 4 mois minimum, il s'effectue à l'étranger de début février à début 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. Ce stage donne une vision de la recherche hors du système Français et donc un élément de comparaison avec le système qu'ils ont connu jusque là.

Code: BIO-M1-D04-S2

(ii) Stage court (3 mois) en France

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 18

Responsable : MICHEL Éric

Autres enseignants : DUMOULIN Andréa

Type d'enseignement : *Stage*

Volume horaire : 3 mois

Il s'agit d'un stage en laboratoire leur permettant d'approfondir leur connaissance du fonctionnement d'un laboratoire de recherche. D'une durée de 3 mois minimum, il s'effectue en France entre début février et début juin. Un rapport écrit de 20 pages et une soutenance orale ayant lieu dans la deuxième quinzaine de juin permettent la validation du stage c'est à dire 18 ECTS. Ce stage donne une vision de la recherche dans le système Français.

Code: BIO-M1-D05-S2

Module d'ouverture ou de spécialisation

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : DE ROSA Renaud

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire :

Module de 6 ECTS à suivre hors département de Biologie (à l'ENS ou dans un établissement partenaire). Au choix de l'étudiant, après concertation avec le responsable du M1.

Code: BIO-IN-D06-S1

Modélisation en neurophysiologie

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable : CASADO Mariano

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 20h

Code: BIO-M1-INV-S1

Protein Quality Control in Health and Disease

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : BENSUADE Olivier

Autres enseignants : MORIMOTO Richard

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 20h

In this course, we will cover topics on the underlying properties of the proteome including topics on : (1) the intrinsic physical biochemical characteristics of protein folding, (2) protein folding in the cell and the role of molecular chaperones to guide folding and prevent misfolding, (3) the role of the proteostasis network in determining the overall stability of the proteome and the balance of folding, function, and clearance, (4) the regulation of molecular chaperones by cell stress responses, and (5) protein conformational diseases and the role of misfolding and aggregation to cell pathology, disease, and therapeutics. The course will take the form of lectures and open discussion based on assignment of primary literature. This course will be exclusively in english.

Code: BIO-M1-D08-S2

Module de spécialisation ou de projet (à l'étranger)

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : DE ROSA Renaud
Autres enseignants :

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

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 info/maths / Training in mathematics and computer science

Niveau : M2
Semestre: S1, ECTS: 0
Responsable: THOMAS-CHOLLIER Morgane
Autres enseignants : moniteurs

Type d'enseignement : *cours /TD*
Volume horaire: 30h

This training 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 of the ENS, necessary for the newly arrived students.

Themes:

1. INFORMATICS:

We chose to make the students 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).

2. MATHEMATICS:

- For the course, it will be useful to revise basic notions in linear algebra (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.

- We recommend the book Numerical recipes : versions earlier than 2007 are in free access (http://www.nr.com/bookreader_choose...). The method of Euler, which you can program yourself in Python, will be enough for the course, although it is not the method recommended by Numerical recipes.

- For the most advanced or the bravest, you can test your knowledge and your understanding by trying to reproduce the simulations of figures 2 - 5 of the article Mangan & Alon (2003) Proc Natl Acad Sci USA 100(21):11980-5.

Organization:

The students are divided into 2 groups depending on their level: basic/advanced. The teaching unit is organised over the first week of the semester, with basic informatics/advanced maths tutorial classes during the mornings, advanced informatics/basic maths during the afternoons.

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 : LE CROM Stéphane

Autres enseignants : LELANDAIS Gaëlle

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 30h

The aims of this teaching unit are 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:

This course introduces the high throughput sequencing techniques and the various applications available in genomics. It focuses on the analysis of gene expression studies and covers the most important bioinformatic 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, read mapping 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 during the afternoon and free analysis workshop around datasets.

Code: BIO-M2-E03-S1

Réseaux génétiques : modélisation dynamique / Dynamical modelling of cellular regulatory networks

Niveau: M2

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: THIEFFRY Denis

Autres enseignants : HAKIM Vincent

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 30h

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 teaching unit is organized over one week, with classes during the mornings, computer tutorials during the afternoons..

Code: BIO-M2-E04-S1

De la molécule unique à la dynamique des ultrastructures cellulaires / From single molecule to the dynamics of cell ultrastructures

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : DARZACQ Xavier

Autres enseignants : COLLIN Olivier, DUMOULIN Andréa

Type d'enseignement : *cours /TP*

Volume horaire: 60h

Aims:

Visualize in real time the dynamics of macromolecules in their biological environment. Model their behavior to better understand the mechanisms controlling cellular processes.

The course is devoted to the analysis of biological questions, and the recent advances in microscopy allowing the analysis at different scales (spatial and temporal).

The lectures will be complemented by practical workshops embedded in research laboratories.

The course will be held at Ens Paris

Themes:

- Super resolution optical microscopy
- Single molecule detection
- Spatio-temporal dynamics of transcription factors
- Single molecule visualization in neurobiology
- Image analysis
- Recent developments in optical microscopy

Organization:

The course is organized over two weeks.

The first week is dedicated to lectures covering the recent advances in optical microscopy and their applications in systems biology. This week also starts with a practical work devoted to mounting a motorized inverted microscope.

The second week is dedicated to practical workshops embedded in research labs, directly related to the lectures of the first week (FRAP, FLIP, PALM, SPT-PALM)

Code: BIO-M2-E05-S1

Ecosystèmes cellulaires : de la modélisation aux traitements thérapeutiques / Cellular ecosystems: from modelling to medicine

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : DEVAUX Frédéric

Autres enseignants : ZINOVYEV Andrei, 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 the ENS Paris.

Code: BIO-M2-E06-S1

Machineries cellulaires et régulation de l'expression génomique et épigénomique / Cellular machineries

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : CARLES Christophe

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 30h

Aims:

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

Themes:

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

Organization:

The teaching unit will be organized over one week, with classes during the morning and the afternoon.

Code: BIO-M2-E08-S1

Neurophysiologie / Neurophysiology

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : CASADO Mariano

Autres enseignants : LAMBERT Régis

Type d'enseignement : *cours /TD*

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. Both aspects will be treated in this course.

Organization

During the course, students will use existing experimental facilities at the ENS and UPMC, but they will also assemble experimental setups adapted to the different planned experiments for themselves. They will perform pilot experiments and analyze data.

Code: BIO-M2-E15-S1

Tutorats interdisciplinaires de neurosciences / Interdisciplinary tutorials in neuroscience (TINS)

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : BARBOUR Boris

Autres enseignants : HAKIM Vincent, BRETTE Romain

Type d'enseignement :

Volume horaire: 60h (8 h lecture, 52 h personal work)

Presentation:

Aims:

In depth study of a research topic related to neuronal networks, based on literature analysis, optional 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: Supervised bibliographical analysis, discussion with mentors, possible data mining and analysis, and modeling.

Code: BIO-M2-E09-S1

Bases génétiques des variations phénotypiques / Genetic basis of phenotypic variation

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : FELIX Marie-Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire: 60h

Prerequisite: a basic course in quantitative genetics (for example "Genomes & Phenotypes" and/or "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, including experimental 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, plasticity, epistasis, mutational bias. Experimental evolution. Model and non-model organisms

Organization:

The course will run for two weeks, 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

NOUVEAU

Evolution expérimentale/ Experimental Evolution

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Henrique Teotonio

Type d'enseignement: *cours /TD*

Volume horaire: 0h

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 gene-gene interaction, epistasis and the notions of 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 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, with practical sessions in the afternoons. Students are expected to present the results of the computer work done during the week to the faculty. 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: THOMAS-CHOLLIER Morgane

Autres enseignants: THIEFFRY Denis

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 introduce 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, their location in sets of functionally related nucleic sequence, or yet the identification of composite cis-regulatory modules.

Computer tutorials will make use of free software, including the software suite: RSAT: Regulatory Sequence Analysis Tools, and the Galaxy platform.

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

Organization:

The teaching unit will be organised over one week, with classes during the mornings, computer tutorials during the afternoons.

Code: BIO-M2-E11-S1

Dynamiques adaptatives / Adaptive Dynamics Modeling

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FERRIERE Régis

Autres enseignants : CLAESSEN David

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 : CLAESSEN David

Autres enseignants : CAZELLES Bernard

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 and epidemics. Computer-

based sessions will provide an introduction to simulation tools such as the EBT software. 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 cellulaire / Stochastic analysis and applications to molecular dynamics in the cell nucleus

Niveau: M2

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsable : HOLCMAN David

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 / A multidisciplinary approach to plant and animal morphogenesis

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : LEMAIRE Patrick

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:

The teaching unit is 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: CHARNAY Patrick

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

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 (see the list):
- Internship in non-partner laboratories may be exceptionnally 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 : CHARNAY Patrick

Autres enseignants : THOMAS-CHOLLIER Morgane, FERRIERE Régis

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

Thèmes abordés :

Questions récurrentes en biologie : Unité et diversité ; organisation et reproduction ; échelles dans l'espace et dans le temps. Logique du vivant : chaînes causales multiples. Stabilité et changement : explorations, robustesse, évolutivité. Emission & réception d'informations, adaptations, cybernétique cellulaire.

Le déterminisme génétique : nature et limite. Macromolécules et hérédité : Génétique formelle ; relations entre génotype et phénotype : du simple au complexe (et à l'incompris) Code génétique ; structure, organisation fonctionnelle, et synthèse des protéines et des acides nucléiques

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 Mécanismes de contrôles cellulaires Exemples (métabolisme cellulaire, prolifération et mort programmée, diversité et plasticité cellulaires)

Mécanismes moléculaires de la signalisation cellulaire et du contrôle de l'expression génétique

Code: BIO-IN-G03-S2

Biologie moléculaire de la cellule

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 6

Responsable : BENSAUDE Olivier

Autres enseignants :

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

Volume horaire : 30h cours / 30h TD

Le cours d'Olivier Bensaude (12 heures) est suivi d'une quinzaine de cours/séminaires (de 1H30 à 3H) par des chercheurs de l'ENS, de l'Institut Curie, de l'Institut Pasteur, de la Faculté de Pharmacie ou du Centre de Génétique Moléculaire (Gif s/Yvette).

60h, dont : Enseignements présents (40 h) : Cours / Séminaires - Travaux personnels et auto-formation (20 h)

Les principaux objectifs pédagogiques sont les suivants :

- Se familiariser avec les concepts et l'interprétation des méthodes expérimentales utilisées Biologie Moléculaire et Cellulaire.
- Découvrir des travaux réalisés à l'interface entre chimie et biologie et des cas de recherches fondamentales débouchant sur des applications industrielles.
- Les étudiants doivent terminer l'année en étant capables de lire et comprendre un article rapportant des travaux originaux de biologie moléculaire.
- La diversité des enseignements peut favoriser la détermination d'étudiants vers un sujet ou un domaine.

L'acquisition du contenu des enseignements est essentielle pour les étudiants désirant acquérir les bases théoriques nécessaires pour poursuivre des études de biologie (en M1), ou pour ceux qui, tout en poursuivant des études de chimie, souhaitent être capable de collaborer efficacement avec des biologistes.

Documents d'accompagnement du cours pour les travaux personnels

1. « Biologie Moléculaire de la Cellule » édité par Bruce Alberts. Un excellent livre qui apporte une présentation complète de la Biologie Moléculaire et Cellulaire.
2. Il sera recommandé de lire régulièrement les éditoriaux, commentaires et tendances sur les thèmes à la mode et les questions de politique scientifique dans les revues « Science magazine » (<http://www.sciencemag.org/>), « Nature », « Nature Biotechnology », « Nature Structural & Molecular Biology » et « Nature Chemical Biology » toutes quatre accessibles sur le site du Nature Publishing group (<http://www.nature.com/siteindex/index.html>).

Code: BIO-IN-G05-S2

Groupe de Lecture Modélisation des systèmes biologiques

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 12

Responsable : THIEFFRY Denis

Autres enseignants : VEBER Amandine, FERRIERE Régis

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 "Systèmes biologiques : bases et formalismes".

Ouvrage de référence :

Bolouri H (2008) Computational Modeling Of Gene Regulatory Networks: A Primer. Imperial College Press.

Code: BIO-IN-G06-S2

Stage long en mathématiques-Biologie

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 12

Responsable : FERRIERE Régis

Autres enseignants : THIEFFRY Denis

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: 6

Responsable : THIEFFRY Denis

Autres enseignants : FERRIERE Régis

Type d'enseignement : (*cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : TPE équival. 60h

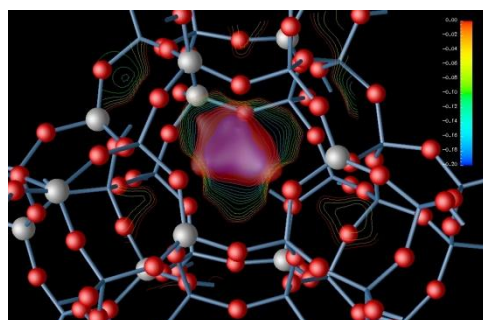
Ce mini projet vise à acquérir une expérience de la modélisation par une insertion dans une équipe de chercheurs biologistes. Le projet sera accueilli par un laboratoire de biologie du LABEX MEMOLIFE (ENS, Collège de France, ESPCI, Institut Curie). Chaque étudiant travaillera dans son équipe d'accueil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

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

Département de Chimie

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



Le département de chimie de l'ENS, en partenariat avec l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 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.

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

Elle est validée par le Diplôme de l'ENS.

LA FORMATION PREDOCTORALE

✓ 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 P. et M. Curie (Paris 6). La validation de 60 ECTS en première année leur permet d'obtenir **un diplôme de L3**. La validation de 120 ECTS en deuxième et troisième année leur permet d'obtenir un **master**. En acquérant 36 ECTS supplémentaires sur leurs 3 années de formation, les étudiants obtiennent alors le **diplôme de l'ENS** qui valide ainsi l'ensemble de leur formation suivie à l'ENS.

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

- Une formation en chimie qui se distingue par un contenu conceptuel fort et une couverture large du spectre de la chimie actuelle : chimie moléculaire, chimie physique, chimie théorique.
Première année : socle fondamental, apprentissage des concepts de base
Deuxième année : approfondissement et début de spécialisation (parcours modulaire)
Troisième année : M2 recherche
Ouvertures aux disciplines connexes (biologie, physique, géosciences) intégrées au cursus
Enseignements supplémentaires au choix dans les autres départements de l'ENS (langues, lettres, physique, biologie, etc)

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

- Formation conceptuelle du plus haut niveau
- Un contexte d'émancipation pour les étudiants considérés comme chercheurs en formation
- Nombreuses ouvertures sur les disciplines connexes (biologie, physique et sciences de la terre)
- Possibilité de préparer le concours de l'agrégation

- ✓ **Une formation par la recherche** (stages en laboratoire)
 - 1 stage de 4 semaines en première année, premier semestre
 - 1 stage de 6 semaines en première année, deuxième semestre
 - 1 stage long (5 mois) en deuxième année, le plus souvent dans un laboratoire étranger
 - Stage de recherche en troisième année dans le cadre d'un M2 recherche
 - Travail sur articles scientifiques, recherche bibliographique
 - Séminaires de recherche

- ✓ **Une interaction forte avec les enseignants-chercheurs français et étrangers**
 - Séminaires de recherche interactifs
 - Tutorat et préceptorat scientifique
 - Taux d'encadrement élevé (plus de 2 enseignants/étudiant en moyenne)

- ✓ **Un parcours personnalisé**
 - Parcours à la carte en deuxième et troisième années avec suivi pédagogique par un tuteur - Chaque élève construit un projet pédagogique propre
 - Un minimum de 24 ECTS d'enseignement supplémentaire à choisir librement parmi l'ensemble de l'offre proposée par les autres départements de l'ENS (biologie, physique, langues, philosophie, économie, *etc.*)

- ✓ **Un contexte d'émancipation intellectuelle et de maturation scientifique**
 - Cinq demi-journées de cours par semaine, le reste du temps étant laissé libre pour le travail personnel, la lecture d'ouvrages et d'articles, le suivi de cours dans d'autres départements, la réalisation libre de stages, les rencontres avec les tuteurs, *etc*
 - Présentations subjectives des champs par les enseignants

- ✓ **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

LES ENSEIGNEMENTS

Code: CHIM-L3-A01-S1

Mécanique quantique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Rodolphe Vuilleumier

Volume horaire : 34h

TD : 16h

Tutorat supplémentaire possible si nécessaire

Travail personnel

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, interaction matière rayonnement... Cet enseignement est une introduction aux concepts et aux fondements de la

mécanique quantique. Il se double d'un enseignement et d'un approfondissement des outils mathématiques qui sont utilisés dans le cursus de chimie. Ces deux parties sont enseignées en parallèle.

Programme :

Mécanique quantique

- I. Origine des concepts de la mécanique quantique
- II. Fonction d'onde - Équation de Schrödinger
- III. Postulats de la mécanique quantique
- IV. Oscillateur harmonique
- V. Moment cinétique – particule dans potentiel central
- VI. Atome d'hydrogène
- VII. Spin – Systèmes à plusieurs électrons – Atome d'Hélium
- VIII. Théorie des perturbations

Bibliographie

Albert Messiah, Mécanique quantique (Dunod, 2003), tomes 1 et 2
Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloe, Mécanique quantique (Hermann, 1997), tomes 1 et 2

Code: CHIM-L3-A02-S1

Liaisons intramoléculaires

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jérôme Delacotte

Volume : 16 h de cours, 14 h de TD, 2 h de CC

Travail personnel : compléments de cours

Présentation pédagogique

L'enseignement de liaisons chimiques a pour but d'établir la structure électronique des molécules à l'aide de la théorie des Orbitales Moléculaires. Cette théorie, bien que simple à mettre en œuvre, permet de comprendre de nombreux aspects de la structure et de la réactivité des molécules. Le principe de construction des OM (basée sur les notions de symétrie et donc mettant en jeu la théorie des groupes), l'application à la réactivité en chimie organique et l'analyse de la structure électronique des composés des métaux de transition constituent les trois parties qui seront abordées au cours de cet enseignement. Une conclusion présente les méthodes et applications actuellement utilisées et développées en recherche par les théoriciens pour décrire les liaisons intramoléculaires et la réactivité des molécules.

Programme

Calcul de la structure électronique de molécules polyatomiques

Approximations fondamentales appliquées à l'équation de Schrödinger moléculaire ; Théorie LCAO et méthode de calcul des orbitales moléculaires par la méthode des variations ; Utilisation de la symétrie ; Perturbations et méthode des fragments ; Molécules AHn, diagramme de Walsh et géométrie des molécules

Applications à la description des structures

Cas des molécules organiques ; Cas des complexes de métaux de transition ; Effet Jahn-Teller

Application à la description de la réactivité

Effets électroniques et indicateurs de réactivité ; Théorie des orbitales frontières et applications en chimie organique

Liaisons chimiques : état de l'art et perspective

Bibliographie

Introduction à la chimie quantique, P. Hüberty et Nguyễn Trong Anh (Editions de l'École Polytechnique, 2008)
Manuel de Chimie Théorique, Application à la structure et à la réactivité en chimie moléculaire, Chaquin (Ellipses, 2000)
Orbital Interactions in Chemistry, T. A. Albright, J. K. Burdett et M.-H Whangbo, (Wiley, 1985).
Introduction à la chimie moléculaire, Nguyen Trong Anh (Ellipses, 1994)
Les orbitales moléculaires dans les complexes - Cours et exercices corrigés, Y. Jean (Éditions de l'École Polytechnique, 2003)

Code: CHIM-L3-A03-S1

Thermodynamique chimique (statistique)

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Anne Boutin

Volume total : 32 h

Dont 22 h de cours et 10 h de TD

Tutorat sur demande possible si nécessaire

Présentation pédagogique

Cet enseignement présente les fondements conceptuels de la relation entre les mondes microscopique et macroscopique. L'accent est mis sur les propriétés de la matière condensée : fluides moléculaires et fluides chargés.

Programme

1. Thermodynamique statistique

- Notion d'ensemble statistique. L'ensemble canonique. Autres ensembles
- Application aux systèmes « dilués ». Statistique de Boltzmann
- L'approximation classique
- Thermodynamique statistique des états de la matière moléculaire.
- Approche analytique
- Approche numérique
- Introduction aux méthodes de simulation moléculaire

2. Mélanges et solutions ioniques

- Thermodynamique des interfaces.
- mélanges de liquides (cas idéal, écarts à l'idéalité, miscibilité...).
- cas des solutions ioniques.
- dynamique des ions dans les solutions.
- Thermodynamique hors d'équilibre.

Bibliographie

- Donald A. McQuarrie, Statistical Mechanics, Harper Collins Publisher, ISBN 06-044369-9
Chapitres 1, 2, 3, et 5.
- R. Gaboriaud et coll., Thermodynamique appliquée à la chimie des solutions, Ellipses
Chapitres VII, VIII et IX, pour les mélanges, écarts à l'idéalité.
- H. H. Girault, Electrochimie physique et analytique, Presses polytechniques et universitaires romande (Chapitres 3, 4 et 5 pour les solutions ioniques et le transport dans ces systèmes)

Code: CHIM-L3-A10-S1

Chimie Organique I (mécanismes)

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3
Responsable : Jean-Bernard Baudin
Volume : 22 h de cours
2 x 1 h de TD par groupe de 3-4 étudiants durant le semestre
Tutorat sur demande
Travail personnel : travaux dirigés sur documents et éléments de bibliographie.

Programme

Programme

1. *Introduction : objectifs du cours.*

2. *Organisation générale des réactions de la chimie organique*

Classifications (intermédiaires, processus).

Orbitales frontalières : principe ; classification des mécanismes ; limite du modèle.

3. *Révisions et compléments d'analyse conformationnelle*

Éthane, butane, cyclohexane, propène, cyclohexène, décalines, cycles C3 à C12.

Effets stéréoelectroniques : conséquences sur les équilibres et les réactions.

4. *Réactions péricycliques*

Règles de Woodward-Hoffmann; méthode des orbitales frontalières.

Électrocyclisations ; transpositions sigmatropiques ; cycloadditions

5. *Réactions ioniques*

Substitutions nucléophiles aliphatiques : du modèle de Ingold au modèle de Winstein, phénomènes de solvatation ; phénomènes de participation.

Éliminations (modèle de Kornblum et Bunnett).

Additions électrophiles et nucléophiles.

Processus d'addition-élimination (SEAr, SNAr), réactions sur les esters et dérivés.

6. *Réactions radicalaires*

Structure et productions de radicaux, méthode des orbitales frontalières.

Principales réactions : additions ; substitutions.

Bibliographie

F.A. Carey, R.J. Sundberg, Advanced Organic Chemistry, Part A (Structure), Part B (Reactions), Plenum, 3e éd., 1990.

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-L3-A08-S1

Outils mathématiques pour la chimie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Rodolphe Vuillemier

Volume horaire : 34h

TD : 16h

Tutorat supplémentaire possible si nécessaire

Travail personnel :

Présentation pédagogique de l'U.E. :

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, interaction matière

rayonnement,... Cet enseignement est une introduction aux concepts et aux fondements de la mécanique quantique. Il se double d'un enseignement et d'un approfondissement des outils mathématiques qui sont utilisés dans le cursus de chimie. Ces deux parties sont enseignées en parallèle.

Programme :

Outils mathématiques

- I. Introduction aux probabilités
- II. Transformées de Fourier
- III. Théorie des distributions
- IV. Théorie des groupes

Des rappels d'algèbre linéaire et de résolution d'équations différentielles simples seront faits en tutorat.

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-B01-S2

Cinétique chimique et réactivité

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 5

Responsable : Ludovic Jullien

Enseignements présentiels (36 h) : CM-(28)-TD(8)

Travail personnel : travaux dirigés sur documents et éléments de bibliographie.

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: CHIM-L3-B03-S2

Chimie inorganique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 5

Responsable : Anna Proust

Volume : 18 h de cours, 16h TD

Tutorat sur demande

Programme

La notion de complexe en chimie inorganique

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

Stéréochimie

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

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)

Réactions en solution

A Réactions de substitution (Y compris complexes organométalliques (carbonyle))

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

B Réactions redox

Réactions par sphère externe, sphère interne

Complexes à valence mixte

Réactions photo-redox

Réactions d'addition oxydante / élimination réductrice

C Réactions des ligands coordinés

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

Prérequis

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

Equilibres de complexation

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

Code: CHIM-L3-B05-S2

Le solide et ses propriétés

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 5

Responsable : Gilles Wallez

Volume horaire : 50 h

Cours + TD : 32 h

Tutorat supplémentaire possible si nécessaire : 18 h

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.

Pré-requis : notions de thermodynamique et de chimie de coordination, types et caractéristiques des liaisons interatomiques fortes.

Programme

Description du solide périodique — Bases de Cristallographie ; Diffraction des milieux cristallins

Les liaisons dans les solides — Les liaisons métallique, ionique, covalente et leurs limites

Les matériaux des hautes températures — Céramiques et autres matériaux réfractaires ; Cristallogénèse à haute température ; Verres

Transformations de phases — Thermodynamique des transformations ; Transitions liquide-solide et solide-solide

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.

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

Quelques propriétés des matériaux — Propriétés électriques (piézoélectriques, ferroélectriques, semi-conducteurs) ; La couleur et les propriétés optiques ; Propriétés magnétiques

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.

Code: CHIM-L3-B14-S2

Liaisons intermoléculaires

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Damien Baigl

Volume horaire : 4 h de cours magistral au début du semestre, puis travail en groupe (4 à 6 étudiants) sur la base de rendez-vous (environ 15h/groupe ; 5 à 6 groupes de travail), puis colloque final de 4 h.

Travail personnel : Une part importante du travail s'effectue en petits groupes (4 à 6 étudiants), ponctué par des rendez-vous avec le tuteur (~2h/semaine).

Présentation pédagogique

Ce cours est principalement adressé à un public d'étudiants L3 des départements de chimie et de biologie de l'ENS. Après un cours transversal donnant une description générale des forces intermoléculaires, notamment dans le contexte de la biologie (nature de ces forces, caractéristiques, notion de force 'faible', importance de l'agitation thermique, réversibilité), les étudiants sont répartis en petits groupes (4 à 6 étudiants) et choisissent un sujet spécifique (liaison hydrogène, structures dans les liquides, interactions électrostatiques en solution, auto-assemblages synthétiques et naturels, forces capillaires, condensation de l'ADN, etc...). Chaque groupe se voit alors attribuer une série d'ouvrages de référence et d'articles de recherche récents en rapport avec le sujet. Il prépare alors un cours de niveau L3/M1 sur le sujet proposé, sous la forme d'un document écrit. À la fin du module, il illustre le cours qu'il a préparé par une présentation orale qui s'appuie sur les articles de recherche.

Programme

Panorama des forces intermoléculaires, interactions électrostatiques en solution, équations de Poisson-Boltzmann et Debye-Hückel, écrantage électrostatique, distribution des contre-ions en solution (double-couche, condensation de Manning, électro-osmose), interactions charge/dipôle et dipôle/dipôle, forces de polarisation, forces de Van der Waals, potentiel de Lennard-Jones, liaison hydrogène, liaison 'hydrophobe', auto-assemblage, forces interfaciales, structure en solution, diffusion de rayonnement, exemples de la biologie (ADN, membranes, etc.)

Bibliographie

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-B15-S2

Interaction matière-rayonnement électromagnétique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Richard Taieb

Volumes horaires globaux : 30h (Cours + TE)

Les étudiants sont vivement encouragés à prendre contact avec le tuteur.

Validation : Contrôle continu: (qui détermine 30 % de la note finale) se fera sous forme de "colles" de 15 min par élève au cours du semestre

Examen terminal: examen écrit d'une durée de 2h représentant 70% de la note.

Présentation pédagogique

Présentation des principes fondamentaux de l'interaction entre rayonnement électromagnétique et "petits" systèmes dans le but de donner les bases théoriques à l'étude spectroscopique de la matière.

Pré-requis: Mécanique Quantique L3S1 + outils mathématiques

Programme

Les phénomènes fondamentaux

- Interaction des particules chargées avec le rayonnement électromagnétique.
- Les échanges d'énergie rayonnement-matière : émission, absorption, diffusion du rayonnement. Dépendance en fréquence de l'importance relative de ces phénomènes.
- Introduction aux aspects quantiques des interactions rayonnement-matière : les photons et la quantification du rayonnement. Émission stimulée et émission spontanée : coefficients d'Einstein.
- Les dualités onde-particule et temps-fréquence. Importance des inégalités d'Heisenberg.
- Approche classique de l'interaction.

Interaction d'un système quantique (atome, molécule, spin...) avec le rayonnement

- L'équation de Schrödinger dépendante du temps et l'hamiltonien d'interaction dipolaire.
- Solutions approchées: théorie des perturbations dépendantes du temps.
- Probabilités de transition : "Règle d'or" de Fermi.
- Généralités sur les règles de sélection.
- Applications:
 - Spectres d'émission et d'absorption (IR-UV-X).
 - Spectres de diffusion Raman (Stokes, anti-Stokes);
 - Diffusion des rayons X (Diffusion Rayleigh et diffusion Thomson)
 - Généralités sur la dynamique des systèmes à deux niveaux (ex: évolution temporelle d'un spin soumis à un champ magnétique dépendant du temps. Fréquence de Rabi), introduction à la notion de matrice densité et équation pilote.

Bibliographie

Photons et Atomes par C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg.
Physical Chemistry par P.W. Atkins.

Code: CHIM-L3-B16-S2

Spectroscopies

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Alain Dubois

Volume : 18 h de cours + 10 h de TD

Tutorat sur demande

Travail personnel : travaux dirigés sur documents et éléments de bibliographie.

Présentation pédagogique

L'objectif de ce cours est de présenter une introduction détaillée des méthodes spectroscopiques qui sont à notre disposition pour sonder et caractériser la matière, atomes et molécules, isolés ou en phase condensée. Les différentes spectroscopies seront présentées par leurs fondements théoriques mais aussi largement illustrées par des exemples pratiques et une initiation à l'instrumentation associée. Cet enseignement s'appuie sur les connaissances générales acquises en L1/L2 sur la structure des atomes et molécules mais aussi sur les cours plus spécialisés de Mécanique Quantique et Interaction matière - rayonnement électromagnétique (L3). Nous traiterons des spectroscopies électroniques, atomiques et moléculaires, et des spectroscopies rotationnelles et vibrationnelles, en présentant les règles de sélection qui découlent de la structure et des propriétés de symétrie des édifices étudiés. Nous conclurons par une présentation succincte de processus radiatifs

Programme

1. Introduction : Objectifs de l'enseignement et aperçu historique.

2. Les principes généraux : Le rayonnement électromagnétique - Les processus d'émission et d'absorption - Le moment dipolaire - Les principes expérimentaux de la spectroscopie - Les spectres de raies - Les intensités et largeurs des raies et leur élargissement.

3. Instrumentation : Sources - Éléments de dispersion - Détection.

4. La structure des atomes et des molécules : Les moments cinétiques et leurs couplages - Les systèmes polyélectroniques et les différents couplages (LS, jj et intermédiaires).

La symétrie moléculaire - Les groupes ponctuels - Relation moments dipolaires - symétrie.

5. Spectroscopies rotationnelle et vibrationnelle : Molécules diatomiques et polyatomiques - Rotateur rigide et au-delà - Vibrateur harmonique et anharmonicité - Spectres dans l'infrarouge et spectroscopies Raman.

6. Spectroscopies électroniques : Atomes et molécules - Spectres UV, visible et X - Fluorescence X - Spectroscopies de photoélectrons et Auger.

7. Au-delà : les processus multiphotoniques, les champs intenses et ultra-brefs, la génération d'harmoniques d'ordre élevé, ...

Code: CHIM-L3-B17-S2

Chimie organique II (synthèse et biosynthèse)

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Arnaud Gautier

Volume horaire : 24 h

Tutorat sur demande

Cet enseignement a pour but i) d'améliorer et peaufiner les connaissances en Chimie Organique acquises au cours de semestres précédents et ii) d'introduire la chimie bio-organique. Le programme aborde la réactivité de nouvelles classes de molécules ainsi que l'étude de quelques grandes réactions de la Chimie Organique. Le parallèle avec le vivant vise à mettre en évidence les similitudes des mécanismes réactionnels.

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 synthétique de méthodes traitées sont alors abordés, puis revues à plusieurs reprises.

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

Programme

Biomolécules (principalement peptides et protéines)

- Aspect structural

- Chimie des Cofacteurs

- Biocatalyse

Chimie des énolates

- Condensations aldolique

Addition en α d'un centre stéréogène

Aldolisation diastéréosélectives

- Addition d'allyls

Hétérocycles aromatiques

Oléfination

Réactions de réarrangement

Bibliographie

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

Code: CHIM-M1-C02-S1

Activation par transfert d'électron/photon

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Laurent Thouin

Volume horaire : 12 cours de 1h30

Programme

ELECTROCHIMIE FONDAMENTALE

Caractères généraux du transfert d'électron à une interface

Une description de l'interface électrode-solution est proposée avant d'aborder la dynamique du transfert de charge. L'objectif est d'appréhender la cinétique de ces réactions d'interface en s'appuyant sur la théorie des complexes activés.

Transfert d'électron et transport de masse

Les concepts fondamentaux de l'électrochimie sont traités afin de pouvoir aborder les principales techniques employées en régime stationnaire puis transitoire. Leurs caractéristiques sont démontrées systématiquement par la résolution des équations de transport et des équations cinétiques associées aux mécanismes réactionnels.

PHOTOCHIMIE

Les grandeurs classiques et quantiques associées à l'absorption de rayonnement UV-visible par des molécules organiques en solution sont introduites et reliées aux spectres d'absorption expérimentaux. Les processus élémentaires de relaxation photophysique (fluorescence, phosphorescence, conversion interne, croisement intersystème, transfert d'énergie) et photochimique (transfert d'électron, transfert de proton, isomérisation cis-trans etc.) des états électroniques excités sont décrits à l'aide de modèles quantitatifs. Les principales techniques expérimentales de mesure de spectres stationnaires et de suivi de réactions photochimiques en temps réel sont présentées.

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.
- Molecular fluorescence. Principles and applications. B. Valeur, Wiley, 2002.
- Photophysics of aromatic molecules. J. B. Birks, Wiley, 1970.
- Modern molecular photochemistry. N Turro, University Science Books, 1991.
- Essentials of molecular photochemistry. A Gilbert, J. Baggott, Blackwell Science Inc, 1991.

Code: CHIM-M1-C03-S1

Catalyse

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Hélène Pernot

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

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

Physico-chimie des polymères

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: Christophe Tribet

Volume horaire : 13 cours de 1h

Présentation pédagogique

Les systèmes formulés à base de tensio-actifs, de colloïdes, et/ou de polymères font partie de notre quotidien en couvrant des domaines d'applications extrêmement variés et dynamiques au niveau du développement et de la recherche. À l'instar des propriétés mécaniques des

matériaux, on cherche pour ces fluides complexes à contrôler une texture, une viscosité ou plus particulièrement une propriété spécifique en relation avec une application donnée. Ces applications se retrouvent dans des domaines d'activités très divers tels que l'exploitation pétrolière, les peintures et revêtements, l'agroalimentaire, la cosmétique ou encore le domaine pharmaceutique et biomédical.

L'enseignement présente sur des bases fondamentales et appliquées le comportement en solution des macromolécules d'un point de vue thermodynamique et structural (conformation et assemblages) tout en passant en revue les grandes méthodes de caractérisation en milieu solvant. L'objectif de cette UE est de donner aux étudiants les outils fondamentaux nécessaires à la compréhension des relations structure/propriétés des systèmes polymères.

Thèmes abordés

Physicochimie des polymères

Conformation des chaînes macromoléculaires

La chaîne idéale, les interactions à longue distance, les polyélectrolytes, les régimes de concentration

Thermodynamique des solutions macromoléculaires

Grandeurs thermodynamiques, les solutions simples, les solutions macromoléculaires concentrées (Théorie de Flory – Huggins), les solutions macromoléculaires diluées.

Méthodes de caractérisation en solution

Méthodes colligatives, viscosimétrie, chromatographie d'exclusion stérique, diffusion de la lumière

Code: CHIM-M1-C21-S1

Résonance Magnétique Nucléaire I

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Geoffrey Bodenhausen

Volume horaire : 13 cours niveau I de 1h 30

Présentation pédagogique

NMR I: Principles of modern NMR by 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

Cours niveau I: P.J.Hore, 'Nuclear Magnetic Resonance', Oxford Chemistry Primer No 32, OUP, 1995.

Code: CHIM-M1-C30-S1

Stéréosélectivité en chimie organique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Alejandro Perez-Luna

Volume horaire : 13 cours de 1h30

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 diastéréosélection)

II. Stéréosélectivité dans les réactions aldol

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

Diastéréosélection 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 et propargylation

III.1. Additions d'allyl métaux sur des aldéhydes et imines

Diastéréosélection simple (révisions)

Additions diastéréosélectives avec des réactifs chiraux,

Additions diastéréosélectives : inducteurs de chiralité

Additions énantiosélectives : catalyse asymétrique

III.2. Additions d'allényl/propargyl métaux sur des aldéhydes et imines

IV. Stéréosélectivité dans les réactions d'addition conjuguée

IV.1 Additions diastéréosélectives de carbanions : inducteurs de chiralité

IV.2 Additions énantiosélectives sur des aldéhydes α - β insaturés par formation d'iminiums

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 : 3

Responsable : Matthieu Sollogoub

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

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 mécanismes 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 : 3

Responsable : Clotilde Policar

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

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 et méthodes d'études
- * L'hémoglobine
- * Des P450 aux peroxydases
- * Exemples des enzymes à zinc

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

- 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
- P. Beer, P. Gale and D. Smith, Supramolecular Chemistry, Oxford Chemistry Primers, 1999
- J.-M. Lehn, Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives. A Personal Account, Wiley, 1995

Code: CHIM-M1-C28-S1

Spectroscopies inorganiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Clotilde Policar

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

Présentation pédagogique

Cet enseignement présente la structure électronique des complexes de métaux de transition et différentes spectroscopies adaptées à l'étude de ces entités (principalement la spectroscopie d'absorption UV-visible et la spectroscopie de résonance paramagnétique électronique). Il amène à utiliser des notions vues en L3, aussi bien en chimie inorganique, en spectroscopies qu'en chimie théorique (théorie du champ cristallin et théorie des orbitales moléculaires, outils de théorie des groupes pour la chimie inorganique, termes spectroscopiques, règles de sélection).

Programme

Structure électronique : concepts. Notion de terme spectroscopique.

Niveaux d'énergie dans les composés de transition

I. L'ion libre. Système monoélectronique d^1 . Définition d'un hamiltonien monoélectronique et notion de microétats. Répulsion interélectronique et termes de l'ion libre. Règles de Hund. Principe d'une évaluation quantitative des énergies. Couplage spin-orbite et états de l'ion libre.
II. L'ion complexé. Principe des approches champ faible et champ fort. Modèle électrostatique du champ de ligand. Application dans le cas d'un ion d^2 . Corrélation champ faible-champ fort. Diagrammes de représentations (Orgel, Tanabe Sugano). Application du CSO.

Complexes et spectroscopie d'absorption électronique

I. Règles de sélection en spectroscopie UV-visible. Intensité des raies et loi de Beer-Lambert. Transitions dipolaires électriques et moment de transition. Règles de sélection.
II. Bandes interdites ? Considérations générales. CSO. Bandes dd et mélange. Couplage vibronique. Two-electron jump. Intensity stealing
III. Largeur de raies

Spectroscopie de résonance paramagnétique électroniques

I. Principes. Le spin électronique et l'interaction spin-champ magnétique. Interprétation pratique des spectres RPE
II. Composés de $S=1/2$. Le facteur g—Caractéristiques de l'onde incidente et règles de sélection. Anisotropie de facteur g. La structure hyperfine. Influence de l'état physique sur la morphologie du spectre
III. Marqueurs et piègeurs de spin
IV. Quelques caractéristiques techniques

Bibliographie

Transition metal chemistry, M. Gerloch et E.C. Constable, VCH, New York, 1994.
Inorganic electronic spectroscopy, A.B.P. Lever, Elsevier, 1984 pour la deuxième édition.
Inorganic electronic structure and spectroscopy, vol.1 Methodology, E.I. Solomon et A.B.P. Lever eds. Wiley, 2006

Code: CHIM-M1-C23-S1

Chimie théorique 1: méthodes

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Daniel Borgis

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

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.
Quelques descripteurs moléculaires: charges atomiques et aromaticité

II- 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 2: modélisations

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Damien Laage

Volume horaire : 13 cours de 1h 30

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 : 3

Responsable : Ludovic Jullien

Volume horaire : 13 séances de 1h 30

Tutorat : travail dirigé en petits groupes

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 Bophysics : 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, Chapman & Hall/CRC, 2007.

Code: CHIM-M1-C26-S1

Biologie chimique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Arnaud Gautier

Volume horaire : 13 cours de 1h 30
Tutorat : discussion d'articles une ou deux fois par mois

Présentation pédagogique

Ce cours est un cours d'introduction à la biologie chimique. Il a pour but d'illustrer comment les principes, les outils et le langage de la chimie peuvent être utilisés pour répondre à des questions importantes en sciences du vivant, notamment pour étudier des processus biologiques au niveau biochimique, cellulaire et de l'organisme. Ce cours est interdisciplinaire destiné à des élèves chimistes ou biologistes ayant un fort attrait pour l'interface chimie / biologie.

Programme

Partie I : Protéines

- I.1. Fonctions et structures des protéines
- I.2. Synthèse chimique des protéines
- I.3. Synthèse biologique et hémisynthèse des protéines
- I.4. Reconnaissance moléculaire et complexation
- I.5. Cinétique enzymatique et catalyse
- I.6. Évolution naturelle des protéines
- I.7. Ingénierie des protéines et évolution dirigée

Partie II: Acides Nucléiques

- II.1. Fonctions et structures des acides nucléiques
- II.2. Synthèse chimique et biologique des acides nucléiques
- II.3. Aptamères et Riboswitches
- II.4. ARNs catalytiques
- II.5. Petits ARNs non-codants et régulation génétique
- II.6. Les origines de la vie

Code: CHIM-M1-C22-S1

Imagerie par RMN

Niveau : M1
Semestre: S1, ECTS: 3
Responsable: Geoffrey Bodenhausen
Volume horaire : 13 cours niveau II de 1h 30

NMR II: Magnetic Resonance Imaging (MRI), contrast agents, flow and mobility. Structures and dynamics of biomolecules.

Bibliographie

Cours niveau I : P.J.Hore, 'Nuclear Magnetic Resonance', Oxford Chemistry Primer No 32, OUP, 1995.
Cours niveau II : P.J.Hore, J.A.Jones, and S.Wimperis, 'NMR: The Toolkit', Oxford Chemistry Primer No 92, OUP, 2000.

Code: CHIM-M1-C11-S1

Matériaux et polymères

Niveau : M1
Semestre : S1, ECTS : 3
Responsable : Christophe Tribet
Volume horaire : 13 cours de 1h 30

Présentation pédagogique

Matériaux : L'approche du solide cristallin idéal développée en L3 est affinée en tenant compte de l'existence de divers types de défauts, physiques et chimiques, responsables de nombreuses propriétés subies ou choisies. Ce cours constitue une introduction très généraliste à une vaste gamme de matériaux et à leurs applications.

Polymères : Ce cours expose les concepts de base sur l'organisation statique et la dynamique de macromolécules au sein d'un matériau solide ou en solution. Les liens fondamentaux entre réponse à une déformation macroscopique et les interactions développées à l'échelle des chaînes polymères seront illustrés, notamment sur le cas d'assemblages hydrophobes. De bonnes bases en physico-chimie et chimie des polymères sont indispensables pour suivre ce cours.

Programme

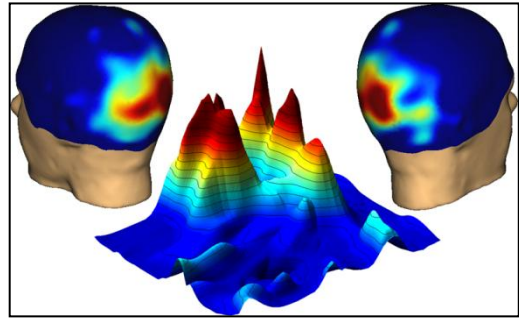
Matériaux : Défauts ponctuels (conductivité ionique, alliages, diffusion, réactivité des solides) ; Défauts monodimensionnels : dislocations (propriétés mécaniques des métaux) ; Défauts bi- et tri-dimensionnels : joints de grains, surfaces, mâcles (corrosion, réactivité chimique) ; Non-stoechiométrie : oxydes des éléments de transition (coloration, conductivité, batteries, sondes) ; Impuretés dans les solides : semi-conducteurs extrinsèques, jonctions (diode, effet photovoltaïque)

Polymères : Formation et stabilité de nano-particules, notamment auto-assemblages de polymères à blocks, et leurs applications ; transition critique de prise en gel illustré sur le cas de la gélification par assemblages physiques ; temps caractéristiques de la dynamique des chaînes (comparaisons avec et sans solvant) ; lien avec la rhéologie et notamment la visco-élasticité. Un travail bibliographique en groupes sera organisé.

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

Directeur des études : Benjamin Spector (*Chargé de recherche au CNRS - Institut Jean Nicod*) benjamin.spector@ens.fr

Directeur des études adjoint : Jérôme Sackur (*Maître de conférences à l'ENS - Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistique*) - jerome.sackur@ens.fr

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

Responsable administrative : Nathalie Marcinek - 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 étudiant-es y sont autant d'origine scientifique que littéraire. Le DEC s'appuie sur un réseau de laboratoires et d'équipes très dense, ce qui lui permet de fournir une formation initiale complète aux sciences cognitive, et de mettre en contact très rapidement les étudiant-es 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 s'inspirent ainsi des programmes de recherche de la *psychologie expérimentale*, de l'*éthologie*, de la *physiologie* et de la *neurobiologie*, mais aussi de concepts et théories relevant des sciences humaines et sociales - *philosophie, linguistique, anthropologie*. 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). De surcroit, 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 **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>

Code : DEC-IN-CO1-S2

Introduction à la philosophie de l'esprit

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Pierre Jacob

Autres enseignants : Margherita Arcangeli, Alexandre Billon, Mikaël Cozic, Frédérique de Vignemont, Jérôme Dokic, Uriah Kriegel, Elisabeth Pacherie, Joulia Smortchkova (TD)

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 32h (+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-CO2-S1

Introduction à la linguistique

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Benjamin Spector

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 20h (+TD)

Ce cours comporte deux modules.

Le premier module a pour but de présenter les grandes questions qui guident une grande partie de la recherche linguistique contemporaine. Qu'est-ce que connaître une langue? Comment cette connaissance s'acquiert-elle? Y a-t-il des propriétés communes à toutes les langues? Comment décrire rigoureusement la grammaire d'une langue?

Le module suivant est une introduction à l'étude des différentes composantes de la faculté linguistique humaine : phonologie, morphologie, syntaxe, sémantique.

Code : DEC-IN-CO3-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 : 24h (+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-CO4-S1

Introduction aux neurosciences cognitives

Niveau: IN

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsables : Dominique Hasboun et Claire Legay

Autres enseignants : Damien Carrel, Emma Vilarem (TD)

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 22h (+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-CO5-S1

Introduction à la logique

Niveau : IN

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Denis Bonnay

Autres enseignants : Alexandre Cremers (TD), Isabelle Drouet

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 26h (+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-CO6-S2

Introduction aux neurosciences computationnelles

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Boris Gutkin

Autres enseignants : Sophie Denève, Boris Gutkin, Srdjan Ostojic, Pierre Yger

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 30h

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-CO7-S2

Introduction à la neuropsychologie

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsables : Anne-Catherine Bachoud-Lévi, Charlotte Jacquemot

Autres enseignants, à confirmer : Paolo Bartolomeo, Sylvie Chokron, Laurent Cléret, Gilles Fénélon, Richard Lévy, Lionel Naccache, Tiziana Zalla

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 28h

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-CO8-S2

Introduction aux sciences de la décision

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Mikaël Cozic

Autres enseignants : Jean Baccelli (TD), Mikaël Cozic, Vincent Eli, Brian Hill, Mathias Pessiglione

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-CO9-S2

Introduction à l'anthropologie de la connaissance

Niveau : IN

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Carlo Severi

Autres enseignants : Baptiste Gille, Andrea-Luz Gutierrez, Tommaso Montagnani, Olivier Morin, Carlo Severi, Charles Stépanoff, Gabriel Umbres, Cédric Yvinec

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel
Volume horaire : 26h

Le cours explore les relations possibles entre les sciences cognitives et l'anthropologie de terrain. Les intervenants, partiellement renouvelés chaque année, s'attachent à l'étude de phénomènes culturels précis pour lesquels ils disposent d'une ethnographie détaillée. Leur dialogue avec les sciences cognitives s'effectue à travers des concepts, des techniques et des formulations clairement expliqués. Toutes les aires culturelles sont concernées.

Code : DEC-L3-MinStL3-S1

Ministage L3

Niveau : L3
Semestre : S1, ECTS : 6
Responsable : Jérôme Sackur
Autres enseignants :

Type d'enseignement : Stage
Volume horaire : à déterminer

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. Les mini-stages sont coordonnés par Jérôme Sackur.

Code : DEC-L3-MinStL3-S2

Ministage L3

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 6
Responsable : Jérôme Sackur
Autres enseignants : à déterminer

Type d'enseignement : Stage
Volume horaire :

Voir ci-dessus.

Code : DEC-M1-B05a-S1

Linguistique des langues des signes

Niveau : IN – M1
Semestre : S2, ECTS : à déterminer
Responsable : Carlo Geracci
Autres enseignants :

Type d'enseignement : *(cours + TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.)*
Volume horaire : environ 30

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*.

Code : DEC-M1-B09-S1

Syntaxe

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : à déterminer

Autres enseignants :

Type d'enseignement : (*cours + TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : à déterminer

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants les éléments de base de la syntaxe contemporaine dans le cadre dit "Principes et Paramètres". En commençant par la notion intuitive de *tête* et une introduction à la structure hiérarchique des constituants des langues naturelles, nous formulerons des règles de composition syntaxique ainsi que des contraintes sur ces règles (la théorie X-barre). Ensuite nous considérerons les processus de modification de la structure de base (le mouvement). Nous terminerons par l'étude des catégories phonologiquement nulles.

Le cours est basé sur le livre de Hilda Koopman, Dominique Sportiche et Edward Stabler (2008), *An Introduction to Syntactic Analysis and Theory*, qui sera mis à la disposition des étudiants sous forme PDF.

Code : DEC-MM-B15-S2

Syntaxe avancée

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : à déterminer

Autres enseignants :

Type d'enseignement : (*cours + TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire :

Suite de l'introduction intensive à la théorie syntaxique.

Le cours est principalement basé sur la deuxième moitié du livre de Hilda Koopman, Dominique Sportiche et Edward Stabler (2008), *An Introduction to Syntactic Analysis and Theory*, qui sera mis à la disposition des étudiants sous forme PDF et requiert des connaissances préliminaires en syntaxe. Il comporte aussi un volet expérimental dont l'objectif est à la fois de montrer comment élargir les bases empiriques sur lesquelles se fondent les hypothèses théoriques à l'épreuve et de mettre celles-ci à l'épreuve.

Code : DEC-MM-PH01-A [à confirmer]

Introduction à l'épistémologie

Niveau : MM

Semestre: S1 et S2, ECTS: 6

Responsable : Jérôme Dokic

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours hebdomadaire sur tout l'année semestriel

Volume horaire : à déterminer

Il s'agit d'un cours d'introduction à l'épistémologie contemporaine, entendue comme une enquête sur la nature et les conditions de la connaissance en général. Nous analyserons les différentes théories classiques de la connaissance comme croyance vraie justifiée, ainsi que les différents modèles d'acquisition de la justification, pour voir dans quelle mesure de telles théories fournissent des conditions adéquates pour la connaissance et permettent de répondre au défi sceptique. En nous intéressant aux processus cognitifs de formation des croyances et des connaissances, nous poserons la question de la naturalisation de l'épistémologie. Chaque grande position théorique sera illustrée par l'étude et la discussion d'un texte classique. Des TD seront organisés.

Code : DEC-MM-CA1-S2

Philosophie de l'esprit: représentations mentales et représentations publiques

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Pierre Jacob

Autres enseignants : Roberto Casati, Frédérique de Vignemont, Valeria Giardino

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 36h

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-M1-CA2-S2

Approches formelles et expérimentales en sémantique et pragmatique : introduction intensive

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Chemla

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h (+TD)

Ce cours propose une introduction intensive à la sémantique et à la pragmatique dans leurs aspects formels et expérimentaux. Il sera composé de trois modules, dont le premier peut servir d'introduction autonome :

- Module I - Introduction à la sémantique et à la pragmatique : (1) Implications, Propositions, Implicatures. (2) Pronoms et Quantification sur les individus.
- Module II - Sémantique intensionnelle : (1) Analyses modales (2) Quantification sur les moments et les mondes possibles (3) Discours indirect et attitudes "de se".
- Module III – Aperçu de la recherche actuelle : nouveaux débats autour de la présupposition.

Code : DEC-MM-CA3la-S1

Psychologie cognitive : Langage, Mémoire, Attention (développement et adulte)

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Juan Segui, Thierry Nazi

Autres enseignants : Ranka Bijeljic-Babic, Patrick Cavanagh, Valérie Doyère, Pierre Hallé, Valentina La Corte, Thierry Nazzi, Boris New, Marion Noulhiane, Juan Segui

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 42h

L'objectif de cet enseignement est de présenter les notions, problématiques fondamentales et modèles relatifs à la recherche sur trois fonctions cognitives importantes : le langage, la mémoire, et l'attention. Ces trois fonctions seront abordées dans une perspective lifespan, notamment au cours du développement et à l'âge adulte. Les principales données comportementales et neurophysiologiques (ERPs, IRMf, ...) sur ces 3 fonctions seront présentées afin de préciser les mécanismes sous-jacents ainsi que leurs bases cérébrales.

Code : DEC-MM-CA3pe-S2

Psychologie de la perception (développement et adulte)

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Pascal Mamassian

Autres enseignants : Marianne Barbu-Roth, Thérèse Collins, Jacqueline Fagard, Édouard Gentaz, Andrei Gorea, Véronique Izard, Jean Lorenceau, Christian Lorenzi, Pascal Mamassian, Pierre-Yves Oudeyer, Olivier Pascalis

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel
Volume horaire : 42h

L'objectif de cet enseignement est de présenter les questions, concepts, méthodes et modèles propres à la recherche sur la perception et ses couplages avec l'action. L'accent sera mis sur la perception humaine – même si les modèles animaux sont également abordés –, et la perception visuelle et la perception auditive seront privilégiées, mais la perception intermodale sera également abordée. Ce cours concerne l'état adulte et le développement précoce.

Code : DEC-MM-CA4-S2

Cours avancé en neurosciences cognitives

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Virginie van Wassenhove,

Autres enseignants : Karim Benchenane, Sébastien Bouret, Jean Daunizeau, Cyril Monier, Mathias Pessiglione, Pierre Pouget, Claire Sergent, Emma Vilarem (TD), Valentin Wyart

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel
Volume horaire : 35h (+TD)

Les objectifs de cet enseignement sont d'apporter les outils théoriques et méthodologiques sur les débats fondamentaux en neurosciences cognitives. Le cours se présente comme une série de séminaires dispensés par des intervenants experts du domaine. L'emphase est mise sur les points critiques et les questionnements actuels.

Seront abordés non seulement les mécanismes cérébraux de différentes fonctions cognitives mais aussi les grands principes et grandes questions neurobiologiques qui affectent les domaines de la cognition dans leur ensemble : par exemple quel est le rôle de la plasticité neuronale, quelle est l'implémentation neuronale d'une "représentation cognitive", comment peut se produire le liage perceptif, y a-t-il un / des rôles cognitifs aux oscillations neuronales etc. ?

Les séminaires se feront de préférence en anglais.

Pré-requis : CO4 (+ CA7 très fortement conseillé)

Code : DEC-MM-CA5-S2

Cours avancé de logique

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : Jacques Dubucs

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel
Volume horaire : 36h

Au terme du cours, les étudiants auront acquis les connaissances suivantes:

- (a) Une carte générale de la logique, de ses méthodes et de ses applications
- (b) Des notions précises de théorie de la calculabilité et de la démonstration (machines de Turing, algorithmes, théorèmes d'incomplétude de Gödel) et des rudiments relatifs à la calculabilité "en pratique" (speed-up, complexité)
- (c) La sémantique des mondes possibles et son usage pour modéliser des situations et des problèmes: formalisation des attitudes propositionnelles, des situations de connaissance dans les groupes (coopération épistémique, common knowledge, annonces publiques) et des conditionnels contrefactuels
- (d) Les approches formelles de la rationalité: panorama des solutions contemporaines à la question de l'omniscience logique, raisonnement en situation d'incertitude (logique et probabilité, continuum des méthodes inductives), conditionnalisation bayésienne, updating et révision, lien avec la théorie de la décision.

Bibliographie :

1. Niveau introductif

B. Chellas, *Modal Logic*, Cambridge UP, 1996

J. Dubucs, *Logiques non classiques*, in *Mathématiques. Fondements, probabilités, applications*, Paris, Albin Michel, 1998, 319-362

R. Goldblatt, *Logics of Time and Computation*, CSLI Lectures Notes, Stanford, 1992

2. Niveau avancé

P. Blackburn & alii, *Modal Logic*, Cambridge UP, 2002

F. Fagin & alii, *Reasoning About Knowledge*, MIT, 1996

Pré-requis : Les étudiants doivent être familiers avec la logique classique du premier ordre (calcul propositionnel, calcul des prédicats, etc.)

Code : DEC-MM-CA6a-S1

Cours avancé en neurosciences théoriques

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Pierre Nadal

Autres enseignants : Francesca Barbieri (TD), Romain Brette, Vincent Hakim, Gianluigi Mongillo

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 49h (+TD)

Pré-requis : L'étudiant sera plus à même de profiter du cours s'il dispose de connaissances élémentaires en mathématiques : éléments d'algèbre linéaire (vecteurs, matrices, valeurs propres), de calcul différentiel (dérivée, intégrale, notion d'équation différentielle), de théorie des probabilités (distributions de probabilités, théorème de la limite centrale).

Des notions de base en neurosciences, sur les systèmes dynamiques (point fixe, cycle limite, stabilité, portrait de phase), sur les processus stochastiques (variables aléatoires, bruit blanc, processus de Poisson, équation de Langevin), en physique statistique et théorie de l'information (entropie), pourront être utiles pour la compréhension du cours mais ne sont pas indispensables.

Pour tout outil ou concept mathématique utilisé en cours, des rappels/explications seront donnés (en cours ou en TD) à chaque fois que nécessaire.

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 to machine learning applied to neuroscience

Niveau : MM

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : Sophie Denève

Autres enseignants : Matty Chalk, David Schulz, Thomas Schatz (TD)

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 20h (+TD)

This course is aimed at students with a quantitative background (i.e. simple linear algebra and basic probability theory). 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.

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

Responsable : Catherine Tallon-Baudry

Autres enseignants : Habib Benali, Olivier Colliot, Nathalie George, Aurélie Kas, Anne-Lise Paradis, Traian Popa, Catherine Tallon-Baudry

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 33h

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-S1

Sciences de la décision

Niveau : MM

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Philippe Mongin

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)

Prérequis: Le cours suppose quelques prérequis en mathématiques générales, approximativement du niveau des concours scientifiques aux écoles de commerce et des concours aux écoles normales supérieures en section de biologie ou de lettres-sciences sociales (BL). Il n'est pas imposé aux étudiants de M2 qui proviennent du M1 d'avoir suivi le cours d'"Introduction aux sciences de la décision". Le M2 ne fait pas double emploi avec ce cours. Il est possible à des étudiants de M1 de suivre directement le cours de M2, en s'en ouvrant au responsable principal.

Code : [à déterminer]

La modélisation robotique en sciences cognitives

Niveau : MM

Semestre : [à déterminer], ECTS : [à déterminer]

Responsables : Benoît Girard, Mehdi Khamassi

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : [à déterminer]

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-M2-LC1-S1

Acquisition et traitement du langage

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Alex Cristia, Henny Yeung

Autres enseignants : Asaf Bachrach, Emmanuel Chemla, Anne Christophe, Sharon Peperkamp

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-CS1-S1

Comportements économiques et sociaux: des bases cognitives aux phénomènes collectifs

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Pierre Nadal

Autres enseignants : Sacha Bourgeois-Gironde, Jean Daunizeau, Marie Devaine, Jean-Louis Dessalles, Marwa El Zein, Terry Eskenazi, Julie Grèzes, Pierre Jacob, Jacqueline Nadel, Stefano Palminteri, Valentin Wyart

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 36h

Ce module porte sur des aspects sociaux de la cognition - à moins que cela ne soit sur des aspects cognitifs de l'organisation sociale. La "cognition sociale" est avant tout un domaine de recherche en pleine évolution, inter- et pluri- disciplinaire, touchant à des questions très variées. De fait, ce cours est loin d'épuiser le sujet.

Son objectif est de se focaliser sur quelques points relevant de la cognition sociale et de s'interroger sur l'émergence, l'évolution et la modélisation adéquate des comportements économiques et sociaux à la lumière de données empiriques, qu'elles viennent des neurosciences, de la psychologie expérimentale, de l'économie expérimentale, ou même de simulations informatiques.

L'enseignement est organisé en 4 blocs de 3 séances de 3 heures chacun. Chaque bloc inclura une partie théorie / modélisation, une partie développement et une partie neuroscience / neuro-imagerie :

1. Perception sociale.
2. Théorie de l'esprit
3. Neuroéconomie
4. Comportements collectifs, émergence

Code : DEC-M2-FCS1-S1

Action, décision et volition

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Etienne Koechlin

Autres enseignants : Giorgio Coricelli, Richard Lévy, Elisabeth Pacherie, M. Pessiglione, Hilke Plassmann, Emmanuel Procyk, Marion Rouault (TD), Valentin Wyart

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 : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Sander

Autres enseignants : Jean Baratgin, Jean-François Bonnefon, Wim de Neys, Sabine Guéraud, Hugo Mercier, Jérôme Prado

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 39h

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 : M2

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

Autres enseignants : Lucie Hertz-Pannier, Marion Rouault

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.

Prérequis : Aucun. Le cours débute par des rappels en biologie et génétique, et est conçu pour permettre aux non-biologistes de suivre. Il n'est pas ouvert aux élèves de M1 ou de Licence, sauf dérogation particulière accordée par le responsable de l'UE.

Code : DEC-M2-GDP2-S2

Education, cognition, cerveau

Niveau : M2

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsables : Daniel Andler, Elena Pasquinelli

Autres enseignants : Roberto Casati, Caroline Huron, Denis Meuret, Manuela Piazza, Franck Ramus

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-LC2-S1

Sens et interprétation

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : François Recanati

Autres enseignants : Emmanuel Chemla, Philippe Schlenker, Benjamin Spector

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 36h (+TD)

Le but général est d'introduire à l'analyse du contenu des énoncés en mobilisant plusieurs disciplines des sciences cognitives, dont la logique, la philosophie du langage et de l'esprit, la psychologie expérimentale, la sémantique linguistique et la pragmatique.

L'UE porte cette année sur les phénomènes de contextualisation et de renforcement du sens. Elle est divisée en quatre parties :

1. Niveaux et dimensions du sens (Recanati)
2. Implicatures (Chemla, Spector)
3. Présuppositions (Chemla, Schlenker)
4. Sémantique et pragmatique primates (Schlenker)

Pré-requis : Connaissance de la logique propositionnelle, ou dispense de l'enseignant (à voir avec chaque intervenant).

Code : DEC-M2-MinStM2-S1

Stage de préparation en M2

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Dupoux

Type d'enseignement : Stage semestriel

Volume horaire : 1 jour par semaine

Code : DEC-M2-P1-S1

Perception visuelle

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Andrei Gorea

Autres enseignants : Jean Lorenceau, Pascal Mamassian, Gianluigi Mongillo, Cyril Monier, Peter Neri

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 51h

Le cours présente un panorama (non-exhaustif) des études et des concepts significatifs dans le domaine de la perception visuelle telle qu'elle est abordée par les moyens de la psychophysique, des neurosciences et de la modélisation.

Dans la partie introductive Jean Lorenceau couvrira de façon synthétique les thèmes principaux abordés par les cours qui suivront. Peter Neri introduira les concepts généraux des systèmes linéaires et non-linéaires. Cyril Monier offrira une image globale de la structure et des fonctions du système visuel depuis la rétine jusqu'au V1 et au-delà. Andrei Gorea exposera les fondamentaux de la perception du mouvement en les reliant à des principes fonctionnels d'ordre plus général. Pascal Mamassian présentera une introduction à la perception des couleurs, à la vision stéréoscopique et à la perception inférentielle. Gianluigi Mongillo introduira les principes de base du codage et du décodage neuronal et Peter Neri clôturera le cours avec un panorama des similarités et différences de la vision inter-espèces (depuis la mouche jusqu'à l'homme).

Pré-requis : Bonnes bases d'algèbre, rudiments de calcul différentiel et intégral.

Code : DEC-M2-P2-S1

Perception auditive

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Daniel Pressnitzer

Autres enseignants : Maria Chait, Alain de Cheveigné, Christian Lorenzi, Daniele Schön, Shihab Shamma

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

Mouvement et attention

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsables : Thérèse Collins, Patrick Cavanagh

Autres enseignants : Sylvain Hanneton, Florian Waszak

Type d'enseignement : Cours hebdomadaire semestriel

Volume horaire : 38h

Pré-requis : Bases de neurosciences et de modélisation.

1. Sylvain Hanneton -- Mouvement

- Mouvement chez l'Humain
- Humain vs. Robots : une comparaison
- Le mouvement est si simple, mais théoriquement si complexe: les sources de complexité dans les théories de contrôle moteur. Redondances et stabilité.
- Actualités de l'étude du contrôle moteur.

2. Florian Waszak -- Contrôle de l'action guidé par le stimulus et de manière volontaire

- bases neurophysiologiques et fonctionnelles du contrôle de l'action
- théorie idéomotrice: mécanismes d'anticipation des effets, conséquences perceptives de l'anticipation des effets

3. Thérèse Collins -- Perception-action

- décisions sensory-motrices
- copie efférente, mouvements oculaires
- stabilité visuelle, remapping

4. Patrick Cavanagh -- Attention

- physiologie de l'attention, théories pré-motrices, cartes de saillance

- filtrage, binding, attention visuo-spatiale, basée sur l'objet, sur les attributs
- attention divisée, double-tâches, attention endogène versus exogène, caractéristiques temporelles et spatiales de l'attention
- pathologies de l'attention, négligence, effets d'entraînement

Code : DEC-M2-StM2-S2

Stage long en M2

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : Emmanuel Dupoux

Type d'enseignement : Stage

Volume horaire : 5 mois à plein temps

A noter : L'offre totale n'est pas incluse, nous vous invitons à aller voir sur le site du département et celui du cogmaster. Il est possible que certaines modifications interviennent. En particulier, les indications concernant les semestres peuvent être encore modifiées.

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://sapience.dec.ens.fr/cogmaster/www/f_01_externes.php

Département de Géosciences

Site web: <http://www.geosciences.ens.fr/>

Adresse: 24 rue Lhomond, 75005 Paris



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. 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 numériques.

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 étudie d'une part les déformations de la lithosphère terrestre (sismologie, géodésie, tectonique, mécanique des roches), d'autre part les géomatériaux (minéralogie, hydrologie, biogéochimie). Il est à la pointe de la recherche sur les mécanismes physiques de la sismogenèse et la quantification de l'aléa sismique, ainsi que sur les grands cycles bio-géochimiques en relation avec l'évolution du climat.
- Le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), laboratoire de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), 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, météorologie, océanographie). 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. 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 sciences de la Terre, 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.

Contacts

Direction des études: Sabrina Speich (speich@lmd.ens.fr)

Secrétariat: Micheline Rialet (rialet@geologie.ens.fr)

LES ENSEIGNEMENTS

Code: TAO-L3-A01-S1

Stage de terrain de Géologie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Marc Fournier

Autres enseignants :

Type d'enseignement :

Volume horaire : 10 jours

Description: Initiation à la cartographie et à la tectonique autour de la nappe de Digne.

Les étudiants apprennent à reconnaître des formations sédimentaires principalement mésozoïques, 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.

Code: TAO-L3-A02-S1

Bases Mathématiques pour les Géosciences

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : François Gay-Balmaz

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

- 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) Résolution des systèmes linéaires $Ax=b$: Rappel d'algèbre linéaire: matrices, valeurs propres, vecteurs propres, diagonalisation, forme de Jordan. Méthodes numériques directes: Gauss et Householder, méthodes numériques itératives: Jacobi, Gauss-Seidel, relaxation successive.

Code: TAO-L3-A03-S1

Mécanique des Milieux Continus I: Solides

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants : Alexandre Schubnel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

L'objectif du cours est d'examiner le comportement mécanique des roches à différentes échelles de temps (de 10⁻³ s à 10⁶ années) et d'espace (de 1 cm à 10³ km). Les roches sont des solides. 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. Un comportement intermédiaire entre solide et fluide est décrit par la viscoélasticité.

Code: TAO-L3-A04-S1

Minéralogie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Laurence Galois

Autres enseignants : Etienne Balan, Georges Calas

Type d'enseignement : cours /TD/TP

Volume horaire : 30h cours/TD/TP

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 au S2.

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 au S2.

Code: TAO-L3-A05-S1

Tectonique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Patrick Meunier

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-A06-S1

Mécanique des Milieux Continus II: Fluides

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : François Lott

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-A07-S1

Océanographie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Gilles Reverdin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Ce cours décrit le rôle de l'océan dans le cycle actuel du carbone. L'émission de quantités croissantes de gaz carbonique dans l'atmosphère liées aux activités humaines avec ses conséquences sur l'effet de serre est en partie contrôlée par les effets de pompage physique et biologique de l'océan. Afin de prévoir les changements climatiques à venir, il importe donc 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). 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: TAO-L3-A08-S1

Thermodynamique : Solide et Thermochimie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants : Fabrice Brunet

Type d'enseignement : cours /TD,

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-A09-S1

Géochimie

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Jérôme Gaillardet

Autres enseignants : Céline Dessert

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-A10-S1

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

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 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. Une deuxième partie de ce cours s'intéresse au comportement élastique de la lithosphère. Après avoir démontré l'équation de la flexure de 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.

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: TAO-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 : 30h cours/TD

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: TAO-L3-A12-S1

Chimie de l'environnement

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pasquale Sellitto

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, projet/exposé

Volume horaire : 30h cours/TD

Description: Ce cours est une introduction à la chimie des polluants des systèmes terrestres. Le cours sera principalement consacré à l'étude des facteurs qui contrôlent les concentrations des polluants atmosphériques ; des éléments sur la chimie des polluants des sols et des eaux seront aussi proposés.

Descriptif détaillé et compétences visées :

- Mesurer la composition chimique de l'atmosphère : unités de mesure
- Émission des polluants atmosphériques, chimie, transport, dépôt : les modèles
- L'équation de continuité des espèces chimiques dans l'atmosphère : formulations Eulérienne et Lagrangienne
- Cycles géochimiques : les cycles de l'azote, de l'oxygène, du carbone, du soufre
- L'effet de serre
- Le radical hydroxyle et la capacité oxydative de la troposphère
- Ozone troposphérique, pollution de la basse troposphère, qualité de l'air
- Ozone stratosphérique, le cycle de Chapman, cycles de destruction catalytique, chimie hétérogène en stratosphère
- La chimie du soufre en atmosphère et pluie acide
- Éléments de pollution des eaux et des sols

Bibliographie: Introduction to Atmospheric Chemistry, Daniel J. Jacob, Princeton University Press, USA (ISBN : 0-691-00185-5) ; Physique et chimie de l'atmosphère, Robert Delmas, Gérard Mégie et Vincent-Henri Puech Editions Belin, France, (ISBN : 978-2-7011-3700-1)

Code: TAO-L3-D01-S1

Sciences du sol

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Bruce Velde

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Chimie de la Surface: Familles des éléments, familles des minéraux, action de oxydation et hydratons dus à l'interaction roche – atmosphère

Altération et Sol: Argiles et leur minéralogie dans les sols; altération des roches et formation des argiles, formation des sols (chimie et interaction avec les plantes); interaction argile – matière organique : l'agrégation; propriétés physiques ; solides, air et eau Grands types de sol.

Plantes et sol: Interaction racine et sol ; Biotopes des plantes, climat et sol; Limitation des biotopes par les sols (roches mères); Structuration physique et chimique des sols par les plantes : stratégies

Mouvement des matières à la surface: Érosion Glissement de terrain Stabilisation des surfaces par les plantes

Interaction homme et sol: Histoire de l'agriculture; Effets de l'agriculture actuelle sur les sols; Gestion des sols par les plantes agricoles; Agriculture durable

Gestion des pollutions: Grands types de polluants; Interaction argile et éléments polluants; Dispersion des polluants dans les séquences naturelles

Remarques: Cours de DENS en soirée

Code: TAO-L3-D02-S1 et TAO-L3-D02-S2

Informatique

Niveau : L3

Semestre : S1 S2, ECTS : 3 par semestre

Responsables : Matthias Delescluse

Autres enseignants : Lionel Guez

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30 heures par semestre

Le module d'informatique s'étend sur deux semestres. Il se décompose en deux parties principales :

- Programmation et algorithmique : Les étudiants apprennent les règles générales de conception d'un programme informatique et les appliquent dans des travaux dirigés sur machine. Les premiers exemples simples permettent de maîtriser les concepts de base (conditions, boucles, déclaration de variables, entrées-sorties standard) à l'aide d'un langage compilé (Fortran). Progressivement, le cours évolue vers des concepts plus avancés nécessaires au calcul numérique et au stockage de données (fichiers binaires)...

- Outils informatiques : Une introduction aux systèmes de type Unix/Linux est nécessaire aux étudiants arrivant en L3 (commandes, gestion des droits, arborescence réseau). Ceci permet ensuite un enseignement de langages non compilés tels que *Matlab* et le script *bash*, où les étudiants appliquent les connaissances acquises dans la partie algorithmique. Les bases de *LateX* sont également enseignées afin de rendre les étudiants techniquement autonomes dans la rédaction de rapports de stages et de TPs dans un format clair. Enfin, une introduction est faite au logiciel libre de cartographie/visualisation de données *GenericMappingTool* (GMT), qui nécessite lui-même l'usage de scripts Unix.

Code: TAO-L3-B01-S2

Statistiques et analyse des données géophysiques

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Fabio D'Andréa

Autres enseignants :

Type d'enseignement : COURS (16h CM, 14h TD à l'ordinateur)

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-B02-S2

Champs géophysiques

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christophe Vigny

Autres enseignants : Soumaya Latour

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Contenu du cours

I/ Harmoniques sphériques (1 cour / 1 TD)

Définition, usage, comportement, applications (spectre, coupure, corrélations....) exemple/application de la topographe terrestre

II/ Champ de gravité (2 cours / 2 TD)

Théorie générale (classique) de la gravitation terrestre, aplatissement. Introduction du champ potentiel (Géoïde), propriétés. Origine et dynamique interne (comparaison planètes telluriques (Mars/Vénus), techniques de mesures (spatial). Gravimétrie plane, anomalies gravimétriques (air libre / Bouguer), anomalies de Géoïde, loi du moment. Admittance (gravi/topo)

III/ Champ de vitesses à la surface de la Terre (1 cour / 1 TD)

Définition d'un champ vectoriel. Représentation en harmoniques sphériques, divergence/rotationnel. Tectonique des plaques : nature et origine des écoulements, corrélation avec la gravité.

IV/ Champ magnétique (2 cours / 2 TD)

Révision des théories électromagnétiques (force, champ, induction, lois de Maxwell). Champ magnétique terrestre de surface : origine (dynamo), caractéristiques (dipôle et représentation en harmoniques sphériques). Variation séculaire et inversions, paléomagnétisme.

Code: TAO-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

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 détectées 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: TAO-L3-B04-S2

Pétrologie

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christian Chopin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TP

Ce module a pour but d'apporter les bases nécessaires à toute approche minéralogique ou pétrologique de la Géologie. Il aborde parallèlement les techniques d'étude des roches et minéraux et les conditions de leur formation. Un stage de terrain dans le Cotentin permet de concrétiser les notions abordées.

Au cours des processus géodynamiques, les formations géologiques évoluent à l'état solide (métamorphisme) ou liquide (magmatisme). La pétrologie endogène, science des roches formées en profondeur, s'attache à comprendre la genèse et le mode de mise en place de ces roches. Ses approches peuvent être chimique, texturale, minéralogique ou thermodynamique. Les outils utilisés pour étudier ces roches vont de la simple description macroscopique à des analyses isotopiques sophistiquées ou à l'expérimentation visant à reproduire au laboratoire les conditions de l'intérieur de la Terre. Ce cours permet d'acquérir les notions de bases de pétrologie magmatique et métamorphique. Paramètres thermodynamiques, notions de roche, de minéral et de cristal, règle des phases Structure, densité et viscosité des liquides magmatiques Nucléation et croissance des cristaux Diagrammes de phases : processus de fusion et de cristallisation, équilibre et fractionnement, immiscibilité des liquides Diagrammes de phases : solutions solides, effets des phases fluides (H₂O et O₂)

Remarques: Module complété par un stage de 3 jours dans le Cotentin. Les étudiants observeront sur le terrain un grand nombre d'épisodes magmatiques et leurs relations avec les événements caractérisant la géologie régionale.

Code: TAO-L3-B05-S2

Environnement sédimentaire

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : François Baudin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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 fluviaux) 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 intégrés 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: TAO-L3-B06-S2

Météorologie

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Bernard Legras

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TP

Volume horaire : 30h cours/TP

Le cours portera sur la description et la compréhension des principaux phénomènes de l'atmosphère en s'appuyant sur les cours de thermodynamique et de mécanique des fluides. Les sujets suivants seront visités

I Bilan radiatif: Interaction de la matière avec le rayonnement Absorption par les gaz atmosphériques Transfert radiatif dans une atmosphère stratifiée, effet de serre, rétroaction et sensibilité Climatologie du bilan radiatif

II Les tropiques: Etat moyen et cycle saisonnier La mousson ENSO Mode de Madden Julian Ondes tropicales Cyclones tropicaux

III Les latitudes tempérées: Nombre de Rossby et équilibre géostrophique (rappel) Circulation moyenne Température et vents moyens Relation de vent thermique Fonctions de courant et de potentiel Dynamique de la vortacité

IV La couche limite atmosphérique: Phénomènes relevant de la couche limite Turbulence Echelles de la turbulence Flux turbulents Longueur de mélange Lois de surface, lois de similarité Couche limite mélangée Tornades (supplément).

Remarques: Le cours est complété par un stage de 3 jours au SIRTA (Ecole Polytechnique) : Mesures radiatives et bilan radiatif Lidar et cycle de vie de la couche limite

Code: TAO-L3-B07-S2

Mécanique des fluides expérimentale

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3
Responsable : Soumaya Latour
Autres enseignants : P. Bouruet-Aubertot, O. Devauchelle

Type d'enseignement :
Volume horaire : 5 jours

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.

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.

L'objectif du module est l'acquisition d'une connaissance physique et expérimentale des mécanismes de base qui régissent les mouvements des masses fluides composant l'océan et l'atmosphère. 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: TAO-L3-B08-S2

Paléo-environnements

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 3
Responsable : Matthieu Roy-Barman
Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD
Volume horaire : 30h cours/TD

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.

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 ».

Code: TAO-L3-B09-S2

Physique des roches

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h

De nombreuses mesures géophysiques sont aujourd'hui disponibles sur le milieu profond. On s'intéresse ici plus particulièrement aux 15 premiers kilomètres, où, tant du point de vue de phénomènes naturels (séismes) qu'induits (stockage souterrain, ressources en hydrocarbures), les enjeux sont majeurs.

Déduire des signaux géophysiques la lithologie, la porosité, le contenu en fluide, modéliser le comportement des milieux étudiés, tout ceci s'appuie sur la physique des roches. La traduction des mesures géophysiques en termes de propriétés physiques des roches nécessite une bonne compréhension de celles-ci.

Le cours présente les roches comme des milieux solides originaux, hétérogènes et poreux.

Les propriétés élastiques (parce qu'elles contrôlent la propagation des ondes qui permettent de « voir » le milieu profond) sont analysées avec les méthodes des milieux effectifs et de la poroélasticité.

Les propriétés de transport (perméabilité qui contrôle l'écoulement des fluides) sont analysées également.

Bibliographie: Introduction à la physique des roches- Y. Guéguen et V. Palciauskas

Code: TAO-L3-B10-S2

Thermodynamique de l'atmosphère

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jean-Philippe Duvel

Autres enseignants : Soumaya Latour

Type d'enseignement : Cours / TD

Volume horaire : 30h cours/TD

- Quel est le moteur de la circulation générale de l'atmosphère ?
- Quelle est la source d'énergie des cyclones?
- Pourquoi la vapeur d'eau accroît le réchauffement du climat?
- Quelle sera l'intensité de l'orage qui va éclater? Va-t-il pleuvoir ou neiger?

Ce cours présente les bases théoriques et des applications de la thermodynamique de l'atmosphère.

Introduction à la théorie cinétique des gaz; Capacité thermique et Enthalpie; Processus adiabatiques; Entropie; L'eau et ses changements de phase; Humidité et nuages; Interprétation des radiosondages.

Code: TAO-L3-B11-S2

Chimie de l'atmosphère

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : François Ravetta

Autres enseignants : Sébastien Payan

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

L'atmosphère est un réacteur photochimique au sein duquel sont couplés des processus chimiques, dynamiques et radiatifs. L'exemple de la couche d'ozone stratosphérique sert d'introduction à l'étude de ces couplages. On s'intéresse ensuite à la pollution atmosphérique et aux liens entre chimie, transfert de rayonnement et climat.

Descriptif détaillé et compétences visées : Ce cours est une introduction à la physico-chimie de l'atmosphère. 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 pour la plupart en surface sous forme réduite, ou produits au sein même de l'atmosphère, ces constituants minoritaires sont en général oxydés dans l'atmosphère lors de réactions photochimiques à basse température, avant de finalement se déposer au sol. L'étude de la couche d'ozone stratosphérique permet d'étudier simplement ces différents processus, et leurs couplages, en dégagant des notions, comme celles de famille chimique ou de temps de vie, qui permettront ensuite 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 sous l'angle plus général des cycles biogéochimiques. Il doit aussi être capable de rendre compte des distributions observées pour les constituants minoritaires, et de leurs variations dans le temps et dans l'espace, en s'appuyant sur les notions étudiées en cours.

Plan du cours : 1. L'atmosphère comme système réactif 2. La couche d'ozone stratosphérique 3. Bilan de l'ozone troposphérique 4. Chimie, transfert de rayonnement et climat.

Remarques: En complément des notions théoriques vues en cours, plusieurs méthodes d'observation de l'atmosphère sont étudiées.

Bibliographie: Physique et chimie de l'atmosphère, Delmas et al., Belin 2005.

Code: TAO-L3-B13-S2

Processus à l'échelle atomique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Etienne Balan

Autres enseignants : Laurence Galois, Georges Calas

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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: TAO-L3-D03-S2

Magmatisme

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christian Chopin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD, exposés

Volume horaire : 30h cours/TD

Ce module vient en complément du module 'Pétrologie endogène', plus axé sur les processus, pour envisager dans leur cadre géodynamique la nature et l'origine des diverses formations magmatiques, leur évolution à travers l'histoire de la Terre, leurs contributions à la formation des croûtes océanique et continentale, ainsi que leur importance sur les autres planètes et dans l'étude des météorites. Il s'appuie sur des études de cas et l'observation d'échantillons à diverses échelles.

Bibliographie: Magmatisme et roches magmatiques, B. Bonin et J.-F. Moyen, Dunod

Code: TAO-L3-D04-S2

Stage de recherche en laboratoire

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Matthias Delescluse

Autres enseignants :

Type d'enseignement : Stage

Volume horaire : 1 mois

Stage individuel d'initiation à la recherche dans un laboratoire de la région Parisienne. Exposé et rapport de stage.

Code: TAO-L3-D05-S2

Biogéochimie

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre Barré

Autres enseignants : Karim Benzerara

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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 (géomicrobiologie). Ceci permettra de discuter de questions « chaudes » de la recherche actuelle en Géosciences (dynamique du carbone du sol, origine de la vie, rétroactions biosphère/atmosphère dans les modèles de climat, rôle de la biosphère dans le devenir de la croûte océanique 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). Le module sera constitué de cours, de travaux dirigés et d'une sortie pédagogique pour discuter concrètement de la dynamique du C dans le sol.

- Lien avec : minéralogie, climatologie, géochimie, hydrologie
 - Mots-clés : cycles biogéochimiques, faune du sol, minéralogie, pédologie
- Remarques: Cours de DENS en soirée

Code: TAO-M1-A01-S1

Stage d'Océanographie et de Géodésie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Matthias Delescluse, Eric Calais

Autres enseignants : N. Chamot-Rooke, J P Duvel

Type d'enseignement : stage

Volume horaire : 10 jours

La première partie de ce stage est consacrée à des mesures océanographiques depuis Villefranche sur mer avec des applications en sismologie, en océanographie physique et en météorologie marine. La seconde partie est consacrée à des mesures géodésiques (GPS et nivellement) dans la région de Saint Etienne de Tinée.

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.

- Une continuité du cours de champs géophysique du second semestre de L3 (tronc commun) en appliquant sur le terrain des concepts étudiés en classe, dont les variations du géoïde et leurs relations avec les structures crustales.
- 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 (parcours Océan Atmosphère), qui est une bonne illustration de notions enseignées dans deux modules de L3 (météorologie et thermodynamique) et qui prépare le module d'océanographie et météorologie dynamique de M1.
- La réalisation de mesures GPS, de nivellement et de gravimétrie à l'aide d'équipement de recherche. Les données obtenues permettent de déterminer l'anomalie du géoïde, dont on déduit l'amincissement crustal du massif cristallin du Mercantour à la marge Ligure.

Code: TAO-M1-A02-S1

Géodynamique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Nicolas Chamot-Rooke

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Le cours de géodynamique (1) de M1 introduit les déformations de l'écorce terrestre en examinant les différents niveaux structuraux, et en faisant le lien avec les mouvements des plaques et les décollements sur ces niveaux. Il comprend donc des bases de cinématique instantanée et finie, et étudie ensuite l'évolution des zones en divergence et extension (mécanismes de rifting), et en convergence incluant le fonctionnement des zones de subduction, les zones de supra-subduction, et le passage aux chaînes de montagnes, jusqu'à la tectonique intracontinentale et l'écroulement post-orogénique. Le cours essaie de faire le lien entre la cinématique mesurée, les observations géophysiques et la déformation observée dans la nature. Il fait également la comparaison entre la déformation observée sur une courte période de temps (séisme) et sur le long terme (formation de reliefs sur plusieurs millions d'années).

Code: TAO-M1-A03-S1

Dynamique de l'intérieur de la Terre

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Soumaya Latour

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 15h cours/15h TD

Dans ce cours on s'intéresse à la dynamique du manteau et du noyau. Après des rappels de mécanique des fluides, on s'attache à décrire des écoulements fortement visqueux correspondant aux écoulements très lents du manteau. En particulier on montre comment

l'étude du rebond post-glaciaire permet une mesure de la viscosité du manteau. On s'intéresse ensuite aux couplages entre les effets thermiques et les écoulements, c'est-à-dire aux Phénomènes de convection dans le manteau. On étudie des modèles de convection simple, puis on s'intéresse aux effets plus complexes ayant lieu dans le manteau : dépendance de la viscosité à la pression et à la température, effets des transitions de phase, description de la couche D". Enfin, on propose une introduction à la dynamique des fluides dans le noyau liquide et à la géodynamo. On montre comment les effets magnétiques se couplent aux écoulements de fer liquide, on obtient l'équation de la dynamo, et on discute des ordres de grandeurs des différents phénomènes mis en jeu.

Code: TAO-M1-A04-S1

Sismologie II

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable: Pascal Bernard

Autres enseignants : Matthias Delescluse

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Ce module vise à présenter les techniques sismologiques actuelles permettant de déterminer la structure et la dynamique de la Terre en 3 dimensions depuis la croûte jusqu'au manteau.

Les bases théoriques de la sismologie ont été abordées en L3 et la structure radiale de la Terre a été présentée. Ici, nous présenterons les méthodes sismologiques actuelles permettant de fournir des images 3D des perturbations de cette structure radiale de la Terre. L'objectif est également de montrer l'ensemble des phénomènes qui expliquent la complexité du sismogramme et comment cette complexité peut être utilisée dans la détermination de la structure. Il sera à la fois question des méthodes permettant d'imager les interfaces (réflectivité), les perturbations latérales de vitesse (tomographie, ondes de surface), et la dynamique (anisotropie sismique). Un intérêt particulier sera porté à la résolution et aux limites de chacune de ces méthodes pour que les étudiants puissent avoir un jugement critique des images sismologiques qui abondent dans la littérature.

Cours magistraux Réflectivité (Principe ; Précurseurs des SS et PP ; Méthodes des fonctions récepteur ; Imagerie sismique) Tomographie (Principe général ; Tomographies locales ; Tomographies régionales -ACH- ; Tomographies globales en ondes de volume et ondes de surface) Oscillations libres et ondes de surface (Principe et exemples) Anisotropie sismique (Principe ; Biréfringence des ondes SKS)

Travaux dirigés Td sur la méthode des fonctions récepteur et l'estimation de l'épaisseur de la croûte Td sur la détermination des vitesses de groupe des ondes de surface + tomographie Lectures d'articles scientifiques

Code: TAO-M1-A05-S1

Océanographie Dynamique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Sabrina Speich

Autres enseignants : J. Vialard

Type d'enseignement : cours / TD + un TP sur machine de 3h
Volume horaire : 30h cours/TD

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 tri-dimensionnelle 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: TAO-M1-A06-S1

Météorologie Dynamique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Guillaume Lapeyre

Autres enseignants : G. Rivière

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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'Eliassen-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: TAO-M1-A07-S1

Dynamique des fluides géophysiques

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : François Lott

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

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 impliquées 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: TAO-M1-A08-S1

Fluides et déformations

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Yves Guéguen

Autres enseignants : Alexandre Schubnel

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h

La partie supérieure de la croûte terrestre est constituée de roches poreuses et fissurées. Cette couche 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 (sismicité, gisements naturels, stockages profonds). Le module vise à permettre d'aborder ces questions avec les concepts et outils appropriés.

Quelques exemples sont présentés de manière approfondie, dont la compaction d'une couche sédimentaire et le développement (naturel) de surpression de fluide, ainsi que le champ de contraintes autour d'un forage circulaire et l'effet (induit) d'une pression de fluide sur la fracturation

Code: TAO-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

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 et 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, Blacwell Science.

Code: TAO-M1-A10-S1

Rayonnement et télédétection

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pasquale Sellitto

Autres enseignants : Raphaël Grandin

Type d'enseignement : (cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.)

Volume horaire : 30h cours/TD

Ce cours présente les bases physiques et les principales techniques de la télédétection, avec leurs applications à la connaissance de l'atmosphère et 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.

Code: TAO-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

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)

4 - Outils thermodynamiques en chimie aquatique

5- Système carbonate

6- 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.

Bibliographie: Hydrogéologie quantitative, de Ghislain de Marsily (ed. Masson)

Code: TAO-M1-A12-S1

Approche numérique et modélisation

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Xavier Capet

Autres enseignants : Hermann Zeyen

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.

Code: TAO-M1-A13-S1

Géochimie II

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Pierre Barré

Autres enseignants :

Type d'enseignement : cours /TD
Volume horaire : 30h cours/TD

Ce cours a pour but de présenter quelques grandes questions actuelles en Géochimie et de familiariser les étudiants avec les différentes techniques permettant de les aborder.

Le cours est constitué de 3 parties complémentaires :

- Grands cycles biogéochimiques
- Processus aux interfaces
- Bilans d'altération

Les étudiants s'initieront ou se familiariseront avec les techniques suivantes :

- Utilisation des isotopes stables
- Logiciel de simulation des réactions chimiques en solution (spéciation, stabilité des phases...)
- Techniques d'observation à l'échelle moléculaire et atomique

Code: TAO-M1-A14-S1

Modélisation de la météorologie et pollution régionale

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Laurent Menut

Autres enseignants : MyrtoValari et Dmitry Khvorostyanov

Type d'enseignement : cours /TD

Volume horaire : 30h cours/TD

Ce cours présente la modélisation de la pollution atmosphérique aux échelles urbaines et régionales. Le système atmosphérique est tout d'abord présenté avec la dynamique de la couche limite atmosphérique, sa spécificité en milieu urbain. Puis la composition atmosphérique est présentée avec les gaz et particules à considérer pour la pollution, ainsi qu'un historique sur la qualité de l'air sur les dernières décennies. Les systèmes de modélisation sont décrits couvrant le calcul de la météorologie, des émissions (anthropiques, biogéniques, feux, poussières) ainsi que la chimie et le transport des espèces chimiques. Les différentes techniques de modélisation déterministes en simulation directe, adjointe ou avec de l'assimilation de données montrent le niveau de compréhension actuel du système et ses limites. Les différentes applications actuelles sont décrites comme l'analyse de cas extrêmes, les études de scénarios jusqu'à la prévision opérationnelle. Pour estimer la qualité des simulations, les méthodes de comparaison à des données sont explicitées, depuis les stations de surface jusqu'aux nouvelles mesures satellites disponibles. Ces modélisations sont replacées dans le cadre de la législation de la qualité de l'air en Europe et les principaux verrous sont présentés permettant de comprendre les choix de mesures de réduction de la pollution actuellement discutées et réalistes. Enfin, des études visant à quantifier l'impact de la pollution sur la santé (particules et pollens) sont discutées

Remarques: Des TDs sont donnés en support du cours et des TPs permettent de prendre en main le modèle de chimie-transport CHIMERE.

Code: TAO-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

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 microphysique, chimique et optique 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 ont donnera leurs sources et puits. Un approfondissement sera fait sur les

aérosols stratosphériques, principalement formés à partir des composés du soufre injectés lorsque 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: TAO-M1-D06-S1

Métamorphisme

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS : 3

Responsable: Olivier Beyssac

Autres enseignants :

Type d'enseignement : (cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.)

Volume horaire : 30h cours/TD

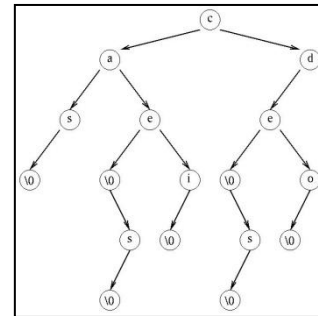
Description: NA

Remarques: Cours de DENS donné en soirée.

Département d'informatique de l'École normale supérieure DI/ENS

Site web: <http://www.di.ens.fr/>

Adresse: 45 rue d'Ulm, 75005 Paris



Le DI propose à ses étudiants des formations longues en Licence L3, Master M1+M2 et Doctorat. La formation initiale (deux ans L+M) apporte les bases de l'Informatique. L'éventail des cours couvre les aspects expérimentaux (avec des projets réalisés en groupe) comme la théorie. L'étudiant suit (au moins) 4 cours d'informatique chaque semestre, dont l'éventail s'élargit : parmi 4 en L3 au sem. 1 parmi 8 en L3/M1 au sem. 2, parmi 10 en M1 au semestre 3 ; plus deux cours de mathématiques (parmi 12 en L3/M1) à valider sur les deux ans. Un stage (hors ENS) ponctue chaque année : un stage court de formation (2/3 mois en France/Europe au sem. 2) ; un stage long de recherche (4/6 mois hors de France au sem. 4).

Un Tuteur est affecté à chaque étudiant, pour le guider dans ses choix de cours (cursus à la carte), de stages, et lui apporter l'aide personnalisée d'un chercheur du DI durant son parcours à l'ENS.

Les deux premières années dotent l'étudiant des bases solides et durables de l'Informatique. C'est une formation par la recherche : les enseignants sont des chercheurs de réputation mondiale dans leur domaine, et diverses questions de recherche sont abordées au fil des connaissances. Chaque promotion du DI/ENS produit son lot de publications/logiciels/brevets dans ces années.

La spécialisation se fait en troisième année, en choisissant ses sujets de recherche parmi les cours proposés en M2 (sem. 5), ou ailleurs sur accord du Tuteur, et qui couvrent les meilleurs enseignements disponibles en région parisienne. Le stage final de M2 (6 mois au sem. 6) permet souvent à l'étudiant d'associer son nom à une première publication/logiciel/brevet.

Après deux années de formation généraliste, et une troisième année de recherche spécialisée :

- plus de 75% des étudiants du DI optent pour un Doctorat : en France dans les Universités et EPST pour plus de moitié ; ailleurs dans le monde et l'industrie pour les autres. Près du tiers des anciens du DI font partie en 10 ans du « *Who's Who* » de l'informatique mondiale.
- Parmi les étudiants du DI qui ne continuent pas en Doctorat : beaucoup optent pour l'industrie (start-up informatiques comme entreprises mondiales) ; d'autres choisissent l'enseignement, les Corps d'État et bien d'autres voies. Il y a énormément de débouchés professionnels pour qui possède aujourd'hui une solide formation initiale en informatique.

Double Licence en Mathématiques et Informatique Math-Info :

Math-Info permet l'obtention en un an de la L3 de mathématiques et de la L3 en informatique. Ceci nécessite, en plus de la L3 de mathématiques, l'obtention de la L3 en informatique : 36 ECTS du DI (4 à 5 cours parmi 5 cours au sem. 1, et parmi 7 au sem. 2) ; Stage en Informatique (12 ECTS) et mémoire (12 ECTS).

Suite à Math-Info, l'étudiant poursuit (an 2) en Master de Mathématiques (DMA) ou Informatique (DI). Un rattrapage de formation (sem. 1) fait partie intégrante du M1 d'Informatique (sem.3).

LES ENSEIGNEMENTS

Code: INFO-IN-PROGRA-S2

Initiation à la programmation pour non-informaticiens

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable : VERGNAUD Damien

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 à 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 2^e semestre prévu le mercredi de 17h à 19h

Vérifier date de début et salle sur : <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie : voir sur <http://www.di.ens.fr/~vergnaud/initPython.html>

Code: INFO-L3-ALGOPRO-S1

Algorithmique et programmation

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : MATHIEU Claire

Autres enseignants : LI Zhentao, VERGNAUD Damien

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 primalité. Optimisation stochastique. Algorithmes FPT. Arbres suffixes.

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#AlgorithmiqueEtProgrammation>

Horaires et salles à vérifier en septembre 2014 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 aout

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : BOUILLARD Anne

Type d'enseignement : *stage, exposé.*

Volume horaire : Environ 2 mois

L'étudiant en L3 d'informatique doit effectuer un stage d'initiation à la recherche en informatique de 2 mois environ dans un laboratoire de recherche public ou privé, en France (de préférence en province) ou en Europe, entre début juin et fin août.

Le stage (qui comprend aussi la rédaction d'un rapport et une soutenance) comptera 12 ECTS.

Une liste des stages de L3 d'informatique est établie en janvier-février par le responsable des stages de L3.

Les stages de L3 dans le passé : <http://www.di.ens.fr/~vergnaud/stages.html>

Propositions de stages de L3 pour 2013-2014 : <http://www.di.ens.fr/~bouillar/Stages2013/>

Les rapports de stage (entre 12 et 20 pages) doivent être remis fin août et la soutenance de 30 minutes environ a lieu début septembre.

Remarques : stage de 2 mois environ entre juin et août.

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 : VUILLEMIN Jean

Autres enseignants : BOURKE Timothy

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%20digital)

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Validation : Projet + examens

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~jv/HomePage/teaching.html>

Code: INFO-L3-SYSRES-S2

Systèmes et réseaux

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : BOURKE Timothy

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%20et%20reseaux)

Cours le jeudi après-midi à ENS à compter de février 2015.

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 : 9

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 48h cours/TD

- Notions de base :

Entropie, information mutuelle, suites typiques, inégalité de Fano.

- Compression de données :

Codage de source, inégalité de Kraft, codages de Huffman, Ziv-Lempel, théorie de la distorsion.

- Capacité d'un canal :

Théorème de Shannon.

- Codes correcteurs d'erreur :

Codes linéaires, codes cycliques, codes de Hamming, BCH, Reed-Solomon.

Descriptif du cours : http://diplome.di.ens.fr/#TheorieInformation_et_codage

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~lelarge/info.html>

Code: INFO-L3-MIIMC-S2

Traitement du signal

Niveau : L3

Semestre: S2, ECTS : 12

Responsable: MALLAT Stephane

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD.

Volume horaire : Environ 60h 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>

Ce cours est depuis 2013-2014 le cours spécifique maths-Info obligatoire pour les élèves de Maths et d'Info qui suivent cette filière

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 : CONCHON Sylvain, FERET Jérôme, MINE Antoine

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 : JOURDAN Jacques-Henri

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

Volume horaire : 60h 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>

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 : BAELDE David

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).

1. Lambda-calcul pur, (non-)terminaison, confluence, standardisation
2. 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)
3. 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 étudiants de Ulm.

Horaires et salles à vérifier en janvier 2015 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 : ASARIN Eugene

Autres enseignants :

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/>

Bibliographie sur : <http://www.liafa.jussieu.fr/~asarin/ENS/lf.html>

Code: INFO-L3-DB-S2

Bases de données

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : ABITEBOUL Serge

Autres enseignants : SIRANGELO Christina

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 plus détaillé sur : <http://www.dptinfo.ens-cachan.fr/L3/contenu.php#bd>

et sur : <http://abiteboul.com/TEACHING/DBCOURSE/>

Remarques :

Cours de l'ENS Cachan ayant lieu à l'ENS Cachan mais proposé aux étudiants de Ulm.

Horaires et salles à vérifier en janvier 2015 sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie : voir sur <http://abiteboul.com/TEACHING/DBCOURSE/>

Code: INFO-L3-MIIME-S2

Exposé L3 des cursus info-maths et maths-info

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : BOUILLARD Anne

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *exposé*

Volume horaire :

Cet exposé est proposé aux élèves de L3 d'informatique qui suivent la filière info-maths et aux élèves de L3 de mathématiques qui suivent la filière maths-info.

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 2^e semestre.

Il rencontre, plusieurs fois dans le semestre, l'encadrant de son exposé qui suit l'avancement de son travail.

Les sujets de ces exposés proposés en 2013-2014 :

<http://www.di.ens.fr/~bouillar/Stages2014/maths-info2014.pdf>

Code: INFO-M1-APPREN-S1

Apprentissage Statistique

Niveau : M1

Semestre : 1, ECTS : 6

Responsable : BACH Francis

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 48h

Descriptif détaillé du cours sur : http://diplome.di.ens.fr/#Apprentissage_statistique

Nouveau cours de M1

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 : 6

Responsable : LELARGE Marc

Autres enseignants : BUSIC Ana

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 48h

Descriptif détaillé du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#ModelesAlgorithmesReseaux>

Bibliographie sur : <http://www.di.ens.fr/~lelarge/mar.html>

Nouveau cours de M1

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Code: INFO-M1-PROJCC-S2

Projet cloud computing

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : VERMOREL Joannes

Type d'enseignement : *cours* /TD, *projet*, *soutenance*

Volume horaire : 24h cours/TD +48h Projet à réaliser

Prérequis: Ce cours ne forme pas à la programmation. On attend des élèves qu'ils soient déjà familiers avec un ou plusieurs langages de programmation.

Sans être indispensable, la participation préalable aux cours "Algorithmique et programmation" et "Système digital: de l'algorithme au circuit" en première année est un plus.

Le génie logiciel est l'étude de l'activité de production de logiciels en tant qu'activité économique, où les ressources matérielles/humaines (ainsi que les délais) sont limitées.

Les avancées de la dernière décennie dans ce domaine ont permis des gains de productivité très importants.

On s'attachera à comprendre comment des pratiques associées à des avancées technologiques influencent (en bien ou en mal) la productivité dans le domaine logiciel.

Les systèmes informatiques distribués, notamment le "*cloud computing*", seront intégrés au cours comme objet d'étude, mais aussi comme projet en équipe par les élèves.

La motivation de ce choix est double: l'évolution du matériel informatique tend aujourd'hui vers le "tout-distribué"; par ailleurs les systèmes distribués sont redoutablement difficiles à développer et à debugger.

Notes de cours : <http://vermorel.com/software-engineering/>
Descriptif du cours sur : <http://diplome.di.ens.fr/#CloudComputing>
Évaluation : projet à réaliser et à présenter.

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>
Bibliographie sur : <http://vermorel.com/software-engineering/>

Code: INFO-M1-MPRI113-S2

Initiation à la cryptologie

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 6

Responsable : POINTCHEVAL David

Autres enseignants : STERN Jacques

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 à compter de février 2015.

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 : 6

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

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 : 6

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

Autres enseignants :

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/>

Bibliographie sur <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-17>

Code: INFO-M1-MPRI119-S1

Planification de mouvement en robotique et en animation graphique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

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

Voir emplois du temps sur <http://diplome.di.ens.fr/>

Bibliographie sur : http://diplome.di.ens.fr/#Planification_de_mouvement_en_robotique

Code: INFO-M1-MPRI120-S1

Catégories, lambda-calculs

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : MELLIES Paul-André

Autres enseignants : MIMRAM Samuel

Type d'enseignement : Cours et TD

Volume horaire : Environ 42h 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-STAGEE-S2

Stage long M1 étranger pays non francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : LI Zhentao

Type d'enseignement : *stage, exposé*

Volume horaire : 5 mois environ

L'étudiant en M1 d'informatique à l'ENS doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ à l'étranger entre la mi-mars et la fin août pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

L'étudiant 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 longs de M1 a lieu chaque année courant octobre pour que tous les stages soient trouvés fin décembre.

Le sujet, le descriptif et le lieu du stage de chaque étudiant doit être approuvé par le directeur des études d'informatique.

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 département d'informatique.

Stage de 5 mois environ entre la mi-mars et fin août.

Code: INFO-M1-STAGEFF-S2

Stage long M1 pays francophone pour étudiant francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 27

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : LI Zhentao

Type d'enseignement : *stage, exposé*.
Volume horaire : 5 mois environ

L'étudiant en M1 d'informatique à l'ENS doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ à l'étranger entre la mi-mars et la fin août pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

Dans les cas où un étudiant ne peut pas faire ce stage à l'étranger (pour des raisons de santé, etc.), l'étudiant doit suivre un cours de langue vivante étrangère de 3 ECTS 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. "

Dans ce cas, le stage long dans un pays francophone compte 27 ECTS.
Stage de 5 mois environ entre la mi-mars et fin août.

Code: INFO-M1-STAGEFE-S2

Stage long M1 pays francophone pour étudiant non francophone

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : LI Zhentao

Type d'enseignement : *stage, exposé*
Volume horaire : 5 mois environ

L'étudiant en M1 d'informatique à l'ENS doit effectuer un stage de recherche de 5 mois environ à l'étranger entre la mi-mars et la fin août pour valider 30 ECTS dans le cadre de son diplôme M1.

Ce stage long de M1 peut être effectué en France pour les étudiants étrangers non francophones et comptera 30 ECTS.

Remarques : Stage de 5 mois environ entre la mi-mars et fin août.

Code: INFO-M2-MPRI200-S2

Stage de recherche M2 du MPRI

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : VERGNAUD Damien (pour les étudiants de l'ENS Paris)

Autres enseignants : Hubert Comon, Roberto Amadio, Paul Gastin, Gilles Schaeffer

Type d'enseignement : *stage, exposé*
Volume horaire : 4 mois et demi environ

Le 2^e 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

Autres enseignants :

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 λ -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 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 λ -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 2014 :
<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-MPRI23-S1

Concurrence

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : AMADIO Roberto

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.03

This course introduces formal methods for reasoning about properties of concurrent systems. Starting from 2013-2014, the second part of the course changes every year. Last year we covered methods to reason about probabilities and expressiveness in concurrent systems. In 2014-2015, we plan to cover applications of directed algebraic topology to 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 2013 :
<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-MPRI24-S1

Programmation fonctionnelle et systemes de types

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : LEROY Xavier

Autres enseignants :

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.

The first 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

automatiquement déterminer si un programme sans aucune annotation de type est bien typé (inférence de type).

Dans la deuxième partie, nous étudions des techniques plus avancées liées au type qui permettent d'exprimer des invariants plus fins sur les structures de données et les programmes.

Dans la troisième partie, nous étudions le sous-typage, suivant une approche syntaxique, dans le cadre de systèmes de type élémentaires (simplement typés lambda-calcul, System F) et en présence de types récursifs. Nous présentons alors le sous-typage sémantique et son application au typage des données semi-structurées (XML) et ses transformations.

Dans la quatrième partie, nous présentons des transformations de programmes fonctionnels qui sont utilisées en programmation ou dans la compilation de programmes fonctionnels, en particulier dans la compilation en machine abstraite ; nous montrons que la sémantique opérationnelle des programmes est préservée par ces transformations ; dans certains cas, le bien-typage est également préservé.

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 2014 :

<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-MPRI251-S1

Démonstration automatique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : CONTEJEAN Evelyne

Autres enseignants :

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

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.5

Le but de ce cours est de fournir aux étudiants les bases nécessaires afin de pouvoir comprendre le fonctionnement de la plupart des outils de démonstration automatique développés en particulier dans le monde académique (voir la page TPTP : <http://www.cs.miami.edu/~tptp/>), et éventuellement de coder eux-mêmes de tels outils.

Naturellement, ce cours est nécessaire pour les étudiants qui poursuivraient ensuite des travaux de recherche dans le domaine de la vérification, de la démonstration automatique ou de la réécriture, mais aussi dans des domaines connexes comme la sécurité des systèmes informatiques, les systèmes embarqués, les preuves assistées et plus généralement l'utilisation des systèmes formels.

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-2-5>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre 2014 :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-5>

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

Autres enseignants : FERET Jérôme, RIVAL Xavier

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 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 2014 :

<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

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 24h 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 2014 :

<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-MPRI28-S1

Fondements pour la vérification des systèmes temps-réel

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : BOLLIG Benedikt

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 50h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.8

Embedded systems are more and more widespread (in various applications including telecommunications, transportation, etc.), more and more complex, and often play a critical role. Verifying that they have the expected behaviour is often crucial, and formal verification of embedded systems (in particular model-checking) has been a very active field of research in the last 30 years.

This course focuses on quantitative aspects of model-checking, especially in the model of timed automata and several extensions.

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>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre 2014 :

<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>

Code: INFO-M2-MPRI291-S1

Fondements mathématiques de la théorie des systèmes infinis

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : FINKEL Alain

Autres enseignants :

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.

Recent developments by Schmitz, Schnoebelen et al. aim at extracting complexity upper bounds for WQO-based algorithms. This requires dealing with fast-growing hierarchies, i.e., complexity classes beyond the usual elementary ones. Showing lower bounds at these levels usually involve coding gadgets for ordinals and ordinal arithmetic.

The purpose of the course is to provide a basic knowledge of WQO-theory and will expose in detail the main techniques and concepts underlining the length function theorems and their proofs. Throughout the course, well-structured systems and their algorithmic verification will provide motivations and examples.

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 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 couvre 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 2014 :

<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 en septembre 2014 :

<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

Algorithmique avancée

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

The aim of this course is to learn how to provide guarantee on the quality of a solution with respect to the optimal in two types of situations: 1) the problem considered is NP-hard (or known exact algorithms are too slow to be effective) and 2) the input is received piece by piece, and the algorithm has to take irreversible actions upon receipt of each piece. Situation 1) refers to the field of approximation algorithms while situation 2) refers to the field of online algorithms. Both fields have common approach: the optimal solution cannot be found and one must design specific technics to estimate its cost and guarantee that the algorithm does not significantly move away from it. Both fields also make extensive use of randomness in order to improve performances.

Remarques

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 en septembre 2014 :

<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

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : KERENIDIS Iordanis

Autres enseignants :

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.

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-2-11-2>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre 2014 :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-11-2>

Code: INFO-M2-MPRI2121-S1

Techniques en Cryptographie et Cryptanalyse

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : ABDALLA Michel

Autres enseignants : LYUBASHEVSKY Vadim

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 en septembre 2014 :

<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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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 : AUGOT Daniel

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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 : YVINEC Mariette

Type d'enseignement : *cours* /TD
Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.14.1

High dimensional geometric data are ubiquitous in science and engineering, and thus processing and analyzing them is a core task in these disciplines. Recently, a new geometric and topological approach to data analysis has emerged, extending the success story of geometric algorithms with guarantees to high-dimensions. This course is an introduction to the new field of Computational Geometry Learning providing mathematical and algorithmic foundations to geometric sampling and approximation.

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 en septembre 2014 :

<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 : SORIA Michèle

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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 : SAKAROVITCH Jacques

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 le modèle le plus simple de machines qui calculent, le premier dans toute une 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.

L'objectif de ce cours est d'élargir le champ de la théorie des automates finis, enrichis par la notion de multiplicité. Ils constituent alors un modèle assez puissant pour exprimer des propriétés non triviales et sont utilisés comme outil dans des domaines aussi variés que le traitement de l'information, le traitement des langues naturelles, la combinatoire sur les mots, la vérification de systèmes et des protocoles, etc. Les problèmes rencontrés dans chacun de ces domaines, une fois correctement formalisés, relèvent souvent de la théorie des automates et ne se heurtent pas immédiatement au mur de l'indécidabilité: il y a de l'espace pour des résultats profonds. Ainsi, cette théorie est-elle un chapitre de base de l'informatique; elle le structure, elle l'organise; la connaître permet de s'y orienter.

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 en septembre 2014 :

<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
Autres enseignants : BACCELLI François

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 2014 :

<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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.18.2

L'*algorithmique distribuée* consiste à concevoir et analyser des algorithmes dédiés à un ensemble d'entités autonomes dont l'action conjointe doit contribuer à la réalisation d'une tâche commune.

Le champ d'applications de l'algorithmique distribuée est si vaste qu'il serait vain d'en proposer une liste exhaustive. À eux seuls, le domaine des réseaux (Internet bien sûr, mais aussi les systèmes pair-à-pair, les réseaux sociaux, les réseaux sans fil, les réseaux mobiles, etc.) et celui des multiprocesseurs (machine multi-cœurs, grilles de calcul, etc.) fournissent déjà une source immense d'applications potentielles.

Ce cours, couplé au cours 2.18.1, a pour objectif de fournir les bases essentielles à la conception, la compréhension, le contrôle, et l'analyse de systèmes tels que ceux listés ci-dessus.

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 en septembre 2014 :

<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-MPRI2183-S1

Robust Concurrent Computing

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : KUZNETSOV Petr

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.18.3

Modeling distributed computing: safety and liveness; linearizability and wait-freedom; consensus and state-machine replication; algebraic topology and distributed computing; failure detectors; transactional memory

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-2-18-3>

Voir les horaires et le lieu de ce cours sur emploi du temps du MPRI en septembre 2014 :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=start>

Bibliographie sur : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-2-18-3>

Code: INFO-M2-MPRI219-S1

Méthodes informatiques pour la biologie systémique et synthétique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : FAGES François

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : Environ 24h 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 en septembre 2014 :

<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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Systèmes synchrones

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : POUZET Marc

Autres enseignants : VUILLEMIN Jean

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 en septembre 2014 :

<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: DÜRR Christoph

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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-MPRI2261-S1

Logique, complexité descriptive et théorie des bases de données

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : SEGOUFIN Luc

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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-MPRI230-S1

Protocoles cryptographique: preuves formelles et calculatoires

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : COMON-LUNDH Hubert

Autres enseignants : POINTCHEVAL David

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.33.1

Les algorithmes constituent un langage très expressif pour modéliser les systèmes biologiques ou sociologiques et les phénomènes de synchronisation et de coordination que l'on peut observer au sein de ces systèmes multiagents. Cette expression algorithmique permet non seulement d'effectuer des simulations numériques mais aussi et surtout fournit un cadre puissant pour l'analyse de ces systèmes. Pour les sciences du vivant, les algorithmes naturels jouent ainsi un rôle analogue à celui des équations différentielles en Physique ; il devient alors nécessaire de développer un calcul algorithmique qui serait aux sciences du vivant ce que le calcul différentiel est à la Physique.

Nous présenterons ce nouveau domaine de recherche et discuterons de ce que peut recouvrir un tel programme de travail autour des notions fondamentales que sont le consensus, la synchronisation et la tolérance aux défaillances. Nous exposerons les principaux résultats obtenus dans le domaine ainsi que différents éléments de calcul algorithmique récemment proposés pour l'analyse des algorithmes naturels.

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants :

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants : ZAPPA NARDELLI Francesco

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 en septembre 2014 :

<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

Autres enseignants : MATHIEU Claire

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : Environ 25h cours/TD

Cours MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) 2.38.1

Le thème du cours est l'étude des algorithmes exacts et approchés pour les graphes plongés, c'est-à-dire les graphes planaires et les graphes dessinés sans croisements sur une surface. Il se situe à la frontière de l'algorithmique "classique" des graphes et de la géométrie algorithmique, et combine plusieurs directions de recherche actuelle qui partagent des techniques communes :

- algorithmes exacts pour les graphes planaires ;
- algorithmes d'approximation pour les graphes planaires ;
- algorithmes pour les graphes plongés sur les surfaces, utilisant des méthodes topologiques.

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 en septembre 2014 :

<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 : 4

Responsable : FAUGERAS Olivier

Autres enseignants :

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 : 4

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:

D.A. Forsyth and J. Ponce, "Computer Vision: A Modern Approach", Prentice-Hall, 2003.

J. Ponce, M. Hebert, C. Schmid, and A. Zisserman, "Toward Category-Level Object Recognition", Lecture Notes in Computer Science 4170, Springer-Verlag, 2007.

R. Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications", Springer, 2010, Available online:

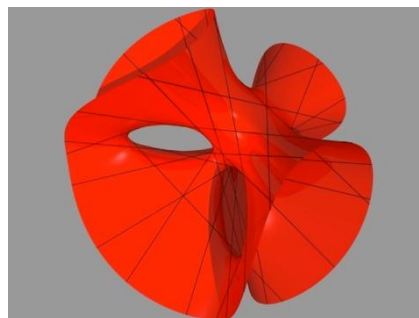
<http://szeliski.org/Book/>.

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 : Laurence Vincent**

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 : laurence.vincent@ens.fr | education@math.ens.fr |

LES ENSEIGNEMENTS

Code : DMA-L3-A01-S1

Algèbre I

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Olivier Debarre

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

1) Groupes

Sous-groupes distingués et groupes quotients, groupes simples. Action d'un groupe sur un ensemble. Formule des classes. Théorèmes de Sylow. Groupe abéliens de type fini. Théorème de Jordan-Hölder. Groupe dérivé, groupes résolubles.

2) Groupes de matrices et géométrie

Groupe linéaire, groupe projectif linéaire. Formes quadratiques, groupe orthogonal, décompositions en somme directe orthogonale. Formes alternées, groupe symplectique. Théorème de Witt, groupe de Witt d'un corps. Formes hermitiennes, groupe unitaire. Quaternions.

3) Algèbre multilinéaire

Produit tensoriel, algèbre tensorielle, algèbre symétrique, algèbre extérieure. Algèbre de Clifford, norme et groupe spinoriels.

4) Représentations des groupes finis

Représentations irréductibles, lemme de Schur, décomposition en somme de représentations irréductibles. Théorie des caractères, fonctions centrales, tables de caractères.

Cours : Le lundi de 10h45 à 12h15 et Le mardi de 10h45 à 12h15.

Code : DMA-L3-A02-S1

Intégration et probabilités de base

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Thomas Duquesne

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

Première partie: théorie de l'intégration.

- Tribus, mesures, fonctions mesurables, intégrales.
- Constructions.
- Espaces L_p , espaces L_2 .
- Mesures signées, théorème de Radon-Nikodym.
- Produits finis d'espaces mesurés, théorème de Fubini.

Seconde partie: probabilités de base.

- Formalisme probabiliste: événements, probabilités, variables aléatoires, espérance, inégalités.
- Lois : densités, fonctions de répartition, fonctions génératrices, lois usuelles.
- Indépendance, lemme de Borel-Cantelli.
- Convergence en probabilité, convergence presque sûre, lois des grands nombres.
- Convergence en loi, fonction caractéristique, variables Gaussiennes, théorème de la limite centrale.

Cours : Le lundi de 13h30 à 15h00 et le mercredi de 14h15 à 15h45.

Code : DMA-M1-B05-S1

Logique

Niveau : L3 ou M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Zoé Chatzidakis

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

1) Théorie naïve des ensembles

Théorème de Cantor-Bernstein

- Ordinaux et cardinaux et cofinalité
- Les différentes formes de l'axiome du choix

2) Théorie des modèles

- Langages, structures, formules, théories, modèles
- Théorèmes de complétude et de compacité
- Théorèmes de Löwenheim-Skolem
- Critères d'élimination des quantificateurs
- Une application à l'algèbre : Théorème d'Ax sur les fonctions polynomiales injectives.

3) Récursivité, indécidabilité, incomplétude

- Fonctions récursives
- Arithmétique de Peano, indécidabilité de l'arithmétique
- Théorèmes d'incomplétude de Gödel.

4) Retour à la théorie des ensembles

- Les axiomes de Zermelo-Frankel
- Modèles de la théorie des ensembles et hypothèse du continu

Cours : Le mardi de 9h00 à 10h30 et le mercredi de 9h00 à 10h30.

Code: DMA-L3-A04-S1

Topologie et calcul différentiel

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Vincent Millot

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

1/ Topologie générale :

Espaces métriques et espaces topologiques.

Topologies induites, topologies produit.

Complétude, compacité, Théorème de Tychonov, Théorème d'Ascoli.

Espace localement compact, quelques questions de métrisabilité,

Espaces normaux et théorème de prolongement de Tietze.

Connexité.

2/ Espaces de Banach

Espaces quotients, supplémentaires topologiques,

Dualité, espaces réflexifs, espaces de Hilbert.

Applications linéaires continues, adjoints, opérateurs d'image fermée,

Opérateurs de Fredholm, opérateurs compacts.

3/ Calcul différentiel dans les espaces de Banach.

Différentielle de Fréchet,

Différentielles d'ordre supérieur et applications multilinéaires,

Formules de Taylor.

Forme 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.

Bibliographie:

- [1] V. Arnold, Geometrical methods in the theory of ordinary differential equations, Grund. math. Wiss. 250, Springer Verlag, 1983.
- [2] N. Bourbaki, Topologie générale, chap. 1 à 4, Hermann, 1971.
- [3] H. Cartan, Cours de calcul différentiel, Hermann, 2nde éd.1977.
- [4] J. Dieudonné, Éléments d'analyse, Gauthier-Villars, 1979.
- [5] J. Dugundji, Topology, Wm. C. Brown Pub., 1989.
- [6] L. Schwartz, Topologie générale et analyse fonctionnelle, Hermann, Paris, 1970.

Cours : Le mardi de 13h45 à 15h15 et le mercredi de 10h45 à 12h15.

Code: DMA-L3-A05-S2

Analyse complexe

Niveau : L3 ou M1

Semestre: S2, ECTS: 12

Responsable: Olivier Biquard

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

- Fonctions holomorphes, fonctions analytiques, formule de Cauchy et ses (nombreuses) applications.
- Transformations conformes : théorème de Riemann, exemples.
- Fonctions méromorphes, fonctions entières.
- Quelques considérations sur la fonction Γ , sur la fonction ζ et sur les fonctions elliptiques.
- Fonctions harmoniques.
- Revêtements et théorème de Picard.

Références:

E.M. Stein, R. Shakarchi, Complex Analysis, Princeton University Press,
L.V. Ahlfors, Complex Analysis, 3rd Ed., McGraw-Hill

Cours : Le lundi de 10h30 à 12h00 et le mercredi de 14h30 à 16h00

Code: DMA-M1-B01-S2

Algèbre II

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Jan Nekovar

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

Ce cours va introduire des notions classiques d'algèbre commutative et de la théorie de Galois qui sont indispensables pour ceux qui souhaitent suivre des cours de M2 de théorie des nombres ou de géométrie algébrique.

Les prérequis sont un peu de théorie des groupes, les notions de base d'algèbre linéaire et le vocabulaire de base de la théorie des anneaux. La théorie abstraite sera motivée par des exemples divers de provenance géométrique ou arithmétique.

Nous commencerons par des propriétés de base de divisibilité. Nous décrirons ensuite la structure des modules de type fini sur un anneau principal et ses applications aux groupes abéliens de type fini et à la réduction des endomorphismes des espaces vectoriels de dimension finie.

Ensuite, nous aborderons les extensions de corps et la théorie de Galois, qui traduit des propriétés d'une extension de corps galoisienne en termes de son groupe de Galois. En particulier, la théorie décrit les équations polynomiales qui sont résolubles par radicaux.

Nous terminerons par quelques points d'algèbre commutative, en insistant sur leurs liens avec la géométrie.

Chapitre I : Anneaux commutatifs (propriétés de base)

Idéaux, divisibilité, irréductibilité, anneaux principaux, anneaux factoriels, anneaux euclidiens, anneaux noethériens.

Chapitre II : Modules

Produits directs, sommes directes, modules libres.

Produits d'anneaux, idempotents, groupes abéliens de torsion.

Suites exactes.

Modules de type fini sur les anneaux principaux, groupes abéliens de type fini, dualité pour les groupes abéliens finis, réduction des endomorphismes.

Chapitre III : Extensions de corps, théorie de Galois

Équations polynomiales, polynômes symétriques, résolvantes.

Extensions de corps, éléments algébriques et transcendants,

Corps de rupture, corps de décomposition, clôture algébrique.

Représentation régulière, norme, trace, discriminant.

Corps finis.

Séparabilité, théorème de l'élément primitif.

Extensions normales.

Extensions galoisiennes, correspondance de Galois.

Extensions cyclotomiques, théorie de Kummer, équations résolubles par radicaux.

Chapitre IV : Anneaux commutatifs (bis)

Localisation.

Extensions finies et entières d'anneaux.

Topologie de Zariski, dictionnaire algèbro-géométrique.

Lemme de normalisation de Noether.

Théorème des zéros de Hilbert (Nullstellensatz).

Anneaux locaux.

Dimension de Krull d'un anneau.

Théorème de Cohen-Seidenberg.

Degré de transcendance.

Cours : Le mardi de 11h00 à 12h30 et le vendredi 10h45 à 12h15

Code: DMA-M1-B02-S2

Analyse fonctionnelle

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Claude Viterbo

Volume horaire : 36h cours / 24h 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 15h45 à 17h15 et le mercredi 9h15 à 10h45.

Code: DMA-M1-B03-S2

Géométrie différentielle

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Patrick Bernard

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

1/ 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, flot d'un champ de vecteurs. Théorème de Frobenius.

2/ Formes différentielles :

Définitions, produit extérieur, dérivation extérieure. Cohomologie de de Rham. Intégration des formes différentielles, théorème de Stokes, dualité de Poincaré.

3/ Topologie différentielle :

Théorie du degré, indice de champs de vecteurs.

4/ Introduction aux groupes et algèbres de Lie. Espaces homogènes.

Bibliographie:

[God] C. Godbillon, Eléments de topologie algébrique, Hermann, 1971.

[Hir] M. Hirsch, Differential topology, GTM 33, Springer, 1976.

[Laf] J. Lafontaine, Introduction aux variétés différentielles, Press.Univ.Grenoble, 1996.

[Mil] J. W. Milnor, Topology from the differentiable viewpoint, Univ. Press Virginia, 1965.

[Spi] M. Spivak, Differential geometry, Publish or Perish, 1979.

Cours : Le lundi de 13h30 à 15h00 et le mercredi de 11h00 à 12h30.

Code: DMA-M1-B04-S2

Processus stochastiques

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Raphaël Cerf

Volume horaire : 36h cours / 24h TD

Révisions sur le cadre probabiliste.

Jeu de pile ou face : Marche aléatoire. Récurrence.

Séries de variables aléatoires : Convergence d'une série. Loi des grands nombres.

Convergence en loi : Théorème de la limite centrale. Vecteurs gaussiens. Loi de Poisson.

Conditionnement : Espérance conditionnelle. Martingales. Chaînes de Markov.

Mouvement Brownien.

Percolation.

Cours : Le lundi de 8h45 à 10h15 et le mardi de 14h à 15h30.

Code: DMA-L3-B17-S2

Aspects rigoureux de la mécanique statistique à l'équilibre

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Jérémie Bouttier et Guilhem Semerjian

Volume horaire : 34h cours/16h TD

L'objet de la mécanique statistique est l'étude du comportement de systèmes formés d'un grand nombre de degrés de liberté élémentaires en interaction. Ses prédictions les plus spectaculaires concernent l'existence de transitions de phase, c'est-à-dire de singularités dans les propriétés macroscopiques de tels systèmes lorsqu'un paramètre extérieur (la température notamment) franchit une valeur seuil. Si cette discipline trouve évidemment ses origines en physique, les modèles qu'elle considère sont aussi des objets d'étude pour les mathématiques, principalement en théorie des probabilités et en combinatoire. L'objectif du cours sera de rendre accessibles certains des résultats rigoureux de la physique statistique mathématique. Un de ses axes concernera les propriétés générales des modèles de dimension finie (existence de la limite thermodynamique pour l'énergie libre, conditions de stabilité, mesures de Gibbs) ainsi que leur relation, dans une limite appropriée, avec les approximations de champ moyen. Une importance particulière sera donnée aux modèles bidimensionnels (percolation, Ising, Potts, dimères, marches auto-évitantes...), pour lesquels de nombreux résultats exacts peuvent être obtenus par des méthodes combinatoires. Au passage seront introduits plusieurs outils de la combinatoire énumérative et analytique dont le champ d'application est plus vaste.

Cours : Le jeudi de 13h30 à 17h30

Code: DMA-M1-C06-S1

Modélisation et simulation numérique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Erwann Faou

Volume horaire : 30h cours/24h TD

Ce cours a pour objet de présenter certaines équations aux dérivées partielles issues de la physique et d'expliquer comment l'analyse mathématique guide la mise en oeuvre de méthodes numériques permettant la résolution de ces équations à l'aide de calculs par ordinateurs. La première partie de ce cours (8 séances) sera commune avec le cursus physique et mettra l'accent sur les différents types de problèmes rencontrés en physiques, de manière à motiver les différentes méthodes numériques que l'on peut rencontrer dans la littérature. La fin du cours sera de nature plus théorique et mettra l'accent sur l'analyse rigoureuse des méthodes numériques (la partie programmation, en Python, sera effectuée en TD).

La première partie du cours, commune avec le cursus physique, traitera des thèmes suivants :

- différences finies
- consistance / stabilité / convergence
- Théorème de Lax

- diffusion et dispersion numérique
- volumes finis
- Schémas conservatifs

- formulation variationnelle
- Théorie elliptique de base (Lax-Milgram)
- Notions sur les solutions faibles et fortes
- Applications éléments finis

- Résolution de grands systèmes linéaires
- méthodes spectrales (Fourier) / pseudo-spectrales
- aliasing

- Intégration en temps
- Méthode de splitting
- ordre élevé
- Méthodes symplectiques
- Comportement en temps long

La fin du cours sera adressée uniquement aux élèves du cursus math et abordera des notions plus complexes d'analyse numérique. En particulier :

- Equations aux dérivées partielles Hamiltoniennes (Schrödinger, ondes)

- Méthodes spectrales et pseudo-spectrales. Rôle pour le calcul de solutions d'équations pseudo-différentielles non locales (méthode de la FFT).

- Schémas semi-Lagrangiens et applications en dynamique des fluides (équations d'Euler et Vlasov)
- Méthode probabilistes pour les équations aux dérivées partielles

Cours : le mardi de 15h00 à 19h00

Code: DMA-M1-C08-S1

Statistique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Stéphane Boucheron

Volume horaire : 30h cours/24h TD

Objectifs : Ce cours vise à donner aux étudiants les bases fondamentales du raisonnement et de la modélisation statistique. L'accent est particulièrement mis dans cet enseignement sur l'utilisation pratique des nouveaux objets rencontrés.

Prérequis : Une bonne connaissance du calcul des probabilités et de l'algèbre linéaire.

Thèmes abordés :

Rappels de probabilités, estimation ponctuelle, estimation par intervalles, tests.

Estimateurs par maximum de vraisemblance.

Modèle linéaire : estimation, intervalles de confiance et tests.

Modèles exponentiels, exhaustivité.

Cours : le jeudi de 9h00 à 11h30

Code: DMA-M1-C09-S1

Topologie algébrique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Antoine Touzé

Volume horaire : 30h cours/24h TD

La topologie algébrique permet de décrire la "forme" des espaces topologiques. Cette description se fait au moyen d'invariants de type algébrique parmi lesquels on trouve : le groupe fondamental, les groupes d'homotopie supérieurs, les groupes d'homologie et de cohomologie singulière. Le calcul de ces invariants algébriques permet de répondre à des questions diverses (théorèmes de points fixes, prolongement d'applications continues, etc.) qui trouvent des applications en analyse, en géométrie et en algèbre.

Dans ce cours, nous introduirons les invariants les plus classiques, en nous basant sur des exemples concrets (graphes, surfaces, ouverts de \mathbb{R}^n , groupes de matrices, variétés, polyèdres, etc.), et en donnant des applications typiques.

Programme:

Théorie élémentaire de l'homotopie

Groupe fondamental d'un espace topologique

Théorie des revêtements

Homologie singulière d'un espace topologique
Introduction aux groupes d'homotopie supérieurs
Si le temps le permet: cohomologie singulière et dualité de Poincaré.

Références:

- [1] G. Bredon, Geometry and Topology, Springer, Corrected edition (June 24, 1993)
- [2] Y. Félix et D. Tanré, Topologie Algébrique - cours et exercices corrigés, Dunod, 2010
- [3] A. Hatcher, Algebraic topology Cambridge Univ. Press, 2002 (disponible en ligne sur le site de A. Hatcher)

Cours : Le mercredi de 13h15 à 15h45

Code: DMA-M1-C10-S1

Analyse des équations aux dérivées partielles

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Thomas Alazard

Volume horaire : 30h cours/24h TD

- I. Théorème de propagation des singularités
 - a. Analyse microlocale
 - b. Calculs pseudo-différentiel et paradifférentiel
 - c. Systèmes hyperboliques
 - d. Théorèmes d'Hörmander, d'Egorov et de Bony

- II. Théorie de De Giorgi – Nash – Moser
 - a. Equations elliptiques
 - b. Estimations de Schauder
 - c. Itérations de Moser, théorème de régularité de De Giorgi et Nash
 - d. Application au 19e problème de Hilbert

- III. Inégalités de Strichartz et de Bourgain
 - a. Equations dispersives
 - b. Estimations de dispersion et de Strichartz
 - c. Inégalités de Bourgain
 - d. Applications aux équations non linéaires

Idéalement, le cours et les TDs comprendront de nombreux compléments d'analyse : étude des espaces de régularité (Lebesgue, Sobolev, Hölder, Zygmund, BMO), fonctions maximales, intégrales oscillantes et inégalité de Van der Corput, lemme de Carleson...

Références :

- [1] Alain Grigis et Johannes Sjöstrand. Microlocal analysis for differential operators. An introduction. Cambridge University Press, Cambridge, 1994
- [2] Michael Taylor. Pseudodifferential operators and nonlinear PDE. Birkhäuser, 1993.
- [3] Jürgen Jost. Partial differential equations. Third edition. Springer, 2013.
- [4] Terence Tao. Nonlinear dispersive equations. Local and global analysis. CBMS, 2006.
- [5] Serge Alinhac et Patrick Gérard. Opérateurs pseudo-différentiels et théorème de Nash-Moser. EDP-Sciences, 1991.

Cours : Le lundi de 12h45 à 15h15

Code: DMA-M1-C12-S1

Systèmes dynamiques Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 12

Responsable : Bertrand Deroin

Volume horaire : 30h cours/24h TD

Ce cours est une introduction à la théorie des systèmes dynamiques. Les notions et principes de base seront illustrés à travers des exemples emblématiques issus de la physique et de la géométrie, notamment les systèmes dynamiques hamiltoniens, les systèmes dynamiques homogènes, l'itération des fonctions d'une variable complexe, les billards et les surfaces de translation, les feuilletages etc... Comme prérequis, des notions de calculs différentiels et de théorie de la mesure sont souhaitables.

Chapitre I. Vers une approche qualitative.

Notion de formes normales.

Impossibilité de résoudre les équations différentielles à l'aide de formules simples et problèmes de petits diviseurs.

Exemple d'étude qualitative : théorie de Poincaré-Bendixson. Nombre de rotation.

Chapitre II. Notion de chaos.

Sensibilité par rapport aux conditions initiales.

Les systèmes de Bernoulli

Notion de codage : exemples de partitions de Markov dans les systèmes différentiables.

Définition de l'entropie topologique.

Chapitre III. Théorie ergodique des systèmes conservatifs.

Théorème de récurrence de Poincaré.

Théorèmes ergodiques de Von Neumann et de Birkhoff : coïncidence des moyennes spatiales et temporelles.

Problème de l'ergodicité. Illustration par les flots homogènes : théorème de Moore.

Unique ergodicité. Exemple du flot horocyclique : théorème d'Hedlund.

Chapitre IV. Stabilité structurelle et espaces de paramètres.

Théorème de stabilité en présence d'hyperbolicité. Propriété d'Anosov.

Ballade dans l'ensemble de Mandelbrot.

Introduction à la renormalisation.

Cours : Le lundi de 9h15 à 11h45

Code: DMA-IN-E01-S1

Mathématiques pour littéraires et philosophes

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable : Jérémy Daniel

Volume horaire : 24h cours

Ouvert à tous, le cours de mathématiques pour littéraires propose un panorama des mathématiques à l'attention de non spécialistes.

On abordera à chaque séance un thème différent, traité de manière non technique.

Code: DMA-IN-E01-S2

Mathématiques pour littéraires et philosophes

Niveau: IN

Semestre: S2, ECTS: 3

Responsable : non communiqué

Volume horaire : 24h cours

Ouvert à tous, le cours de mathématiques pour littéraires propose un panorama des mathématiques à l'attention de non spécialistes.

On abordera à chaque séance un thème différent, traité de manière non technique.

Code: DMA-IN-E02-S1/S2

Mathématiques pour économistes

Niveau : IN

Semestre : S1+S2, ECTS : 6

Responsables : Valentine Roos / Matthias Gorny

Volume horaire : 48h cours + TD

"Le cours s'adresse aux élèves issus du concours B/L qui souhaitent approfondir leurs connaissances en mathématiques (semestre 1 : analyse – semestre 2 : probabilités et statistiques) dans l'optique d'un cursus d'économie. Le cours leur fournit les principaux outils en mathématique et en statistique leur permettant de suivre aisément les cours formalisés d'économie ainsi que les enseignements de statistiques/économétrie. Le cours est suivi d'un TD."

Code: DMA-IN-E03-S1

Statistiques pour littéraires

Niveau: IN

Semestre: S1, ECTS: 3

Responsable : Claire Zalc / Mathilde Mougeot

Volume horaire : 24h cours

Chiffres et Statistiques pour Littéraires

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, en rappelant les règles élémentaires de prudence et de bon sens.

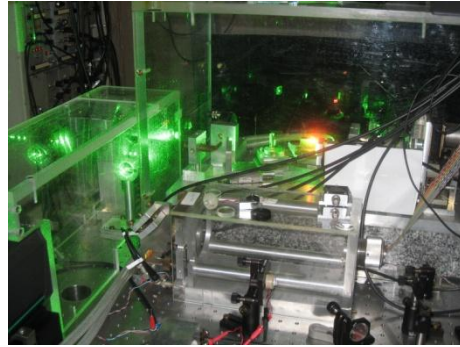
On privilégiera une approche pratique fondée sur des allers retours entre manipulation de données, lecture de textes et discussions sur les différentes méthodes.

Ce cours est ouvert à tous et ne nécessite aucun prérequis en mathématiques

L'évaluation sera faite à partir de lectures d'articles et d'analyses quantitatives sur un sujet au choix à discuter avec les enseignantes.

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 élèves 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 physique macroscopique et des systèmes complexes). 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-L3-A11-S2

Aspect rigoureux de la mécanique statistique à l'équilibre

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 12

Responsable : Guilhem Semerjian

Autres enseignants : Jérémie BOUTIER

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 34hcours/16h TD

L'objet de la mécanique statistique est l'étude du comportement de systèmes formés d'un grand nombre de degrés de liberté élémentaires en interaction. Ses prédictions les plus spectaculaires concernent l'existence de transitions de phase, c'est-à-dire de singularités dans les propriétés macroscopiques de tels systèmes lorsqu'un paramètre extérieur (la température notamment) franchit une valeur seuil.

Si cette discipline trouve évidemment ses origines en physique, les modèles qu'elle considère sont aussi des objets d'étude pour les mathématiques, principalement en théorie des probabilités et en combinatoire. L'objectif du cours sera de rendre accessibles certains des résultats rigoureux de la physique statistique mathématique. Un de ses axes concernera les propriétés générales des modèles de dimension finie (existence de la limite thermodynamique pour l'énergie libre, conditions de stabilité, mesures de Gibbs) ainsi que leur relation, dans une limite appropriée, avec les approximations de champ moyen. Une importance particulière sera donnée aux modèles bidimensionnels (percolation, Ising, Potts, dimères, marches auto-évitantes...), pour lesquels de nombreux résultats exacts peuvent être obtenus par des méthodes combinatoires. Au passage seront introduits plusieurs outils de la combinatoire énumérative et analytique dont le champ d'application est plus vaste.

Code: PHYS-L3-A16-S1

Mécanique des milieux continus

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Basile Audoly

Autres enseignants : Aurélie Fargette

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

Ce cours propose une introduction à la mécanique des milieux continus à partir de l'exemple des objets unidimensionnels (fils et poutres), ce qui permet de couvrir les notions fondamentales de mécanique dans un cadre technique épuré : description des efforts et du mouvement (points de vue Lagrangien et Eulérien), lois de comportement (élastique, visqueux, inextensible, etc.), hypothèse des petites perturbations, ondes linéaires et non-linéaires, vibration, principes variationnels et instabilités (flambage: non-linéarités géométriques, instabilité liées au comportement).

Ces notions sont illustrées par des exemples empruntés à la mécanique des solides et des fluides. Nombre de ces concepts, tels que phénomènes ondulatoires, instabilités et méthodes variationnelles, ont été historiquement 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

Introduction à la physique numérique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Vincent Croquette

Autres enseignants : Francesco Zamponi

Type d'enseignement : *cours /TD*
Volume horaire : 15h cours / 15h TD

Ce cours constitue une première introduction à la physique numérique. La première séance sera dédiée à obtenir une bonne familiarité d'interaction avec l'ordinateur à travers de l'interface ligne de commande, l'installation des logiciels nécessaires, etc. Dans la première partie du cours, on discutera le traitement du signal, par exemple à l'aide de la transformée de Fourier. Dans la deuxième partie, on introduira des exemples simples de simulation de système physique, tels que le système solaire, ou un modèle simple de transition ferromagnétique. Pendant le cours, on introduira des différents langages de programmation : des systèmes standard comme le C, on passera à des langages plus abstraits comme le Python, le C++ et Matlab. On discutera les avantages et les inconvénients de chacun de ces langages.

Code: PHYS-L3-B09-S2

Hydrodynamique

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 9
Responsable : Marc Rabaud
Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*
Volume horaire : 34h cours/34h TD

- Introduction à l'hydrodynamique : notion de milieu continu, cinématique
- Description Lagrangienne et Eulerienne, théorème du transport, équations de conservation
- Fluides parfaits, conditions aux limites, adimensionnement, équation de Bernoulli, paradoxe de d'Alembert
- Phénomènes capillaires : loi de Laplace, mouillage, effet de la gravité
- Ondes de surface : relation de dispersion, vitesse de groupe, sillages, énergie transportée
- Écoulements potentiels bidimensionnels : potentiel complexe des vitesses, portance sur une aile
- Établissement de l'équation de Navier-Stokes : tenseur des contraintes, conditions aux limites, adimensionnement
- Quelques solutions exactes de l'écoulement des fluides visqueux : force de traînée sur une sphère, réversibilité, cellule de Hele-Shaw
- Écoulements parallèles et théorie de la lubrification
- Les couches limites laminaires
- Dynamique de la vorticité : théorème de Kelvin, quelques exemples de tourbillons
- Instabilités hydrodynamiques : Rayleigh-Taylor, Kelvin-Helmholtz, Saffman-Taylor ; Critère de Rayleigh pour les écoulements cisailés
- Introduction aux écoulements turbulents : seuil de la turbulence, loi d'échelle de Kolmogorov, couche limite turbulente

Code: nouveau cours

Physique statistique hors équilibre et transitions de phase

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 9
Responsable : Bernard Derrida
Autres enseignants : Eric BRUNET, Benjamin LANGLOIS et Swann PIATECKI

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 34h cours/34h TD

- Rappels sur la physique statistique d'équilibre.
- Transitions de phase, champ moyen, systèmes magnétiques, percolation.
- Équation de Boltzmann, théorème H.
- Mouvement Brownien, équation de Langevin.
- Dynamique stochastique, équation de Fokker Planck.
- Méthode Monte Carlo.
- Théorème de fluctuation, relation de Jarzynski.
- Relations fluctuation dissipation, relations d'Onsager.
- Dynamique irréversible, problèmes de réaction diffusion.
- Dynamique de séparation de phase, vieillissement.

Code: PHYS-A01-S1

Physique statistique des systèmes en équilibre

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : Frédéric Van Wijland

Autres enseignants : Sebastian KAPFER, Christophe MORA et Jean-Noël AQUA

Type d'enseignement : *cours /TD*.

Volume horaire : 34h cours/34h TD

0 Objectifs de la description statistique

- 1. Gaz dans un récipient
- 2. La gaussienne (théorème de la limite centrale, grandes déviations)

1 Dynamique microscopique et postulats

- 1. Notion d'ensemble de Gibbs
- 2. Dynamique
- 3. Postulats

2 Ensemble microcanonique

- 1. Entropie et fonction de partition microcanonique
- 2. Équilibre thermodynamique
- 3. Le gaz parfait classique – 1ère version
- 4. Le gaz parfait classique – 2ème version
- 5. Systèmes sans extensivité

3 Ensemble canonique

- 1. Systèmes en contact avec un thermostat
- 2. Le gaz parfait
- 3. Magnétisme
- 4. Évolution temporelle et entropie dépendant du temps

4 Ensemble grand-canonique

- 1. Systèmes thermostatés en contact avec un réservoir de particules
- 2. Le gaz parfait
- 3. Autres ensembles de Gibbs

5 Solides

- 1. Structure et modélisation
- 2. Faits expérimentaux
- 3. Chaîne unidimensionnelle
- 4. Phonons

6 Théorie des liquides

- 1. Corrélations
- 2. Développement du viriel
- 3. Méthodes à haute densité
- 4. Un modèle exactement soluble unidimensionnel

7 Simulations numériques

- 1. Panorama introductif à l'expérimentation numérique
- 2. Algorithme de dynamique moléculaire
- 3. Dynamique dans des ensembles de Gibbs (Nosé-Hoover)

8 Statistiques quantiques pour les particules libres

- 1. Postulats
- 2. Ensemble canonique
- 3. Ensemble grand-canonique

9 Fermions

- 1. Propriétés thermodynamiques
- 2. Fermions libres à basse température (application aux métaux)
- 3. Semi-conducteurs
- 4. Fermions relativistes (graphène et naines blanches)

10 Rayonnement

- 1. Des équations de Maxwell aux photons
- 2. Gaz de photons dans l'ensemble canonique
- 3. Effet Casimir et expériences contemporaines

11 Bosons

- 1. Statistique de Bose-Einstein
- 2. Condensation de Bose-Einstein
- 3. Condensats piégés et expériences contemporaines
- 4. Hélium, spectre de Bogolioubov, critère de Landau

Code: PHYS-A02-S1

Introduction à la mécanique quantique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 9

Responsable : F. Chevy

Autres enseignants : Pierre-François COHADON, Wilfried MAINEULT, Antoine TILLOY

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 34h cours/34h TD

Description * :

1. Introduction : un monde quantique
2. Les postulats et les outils de la physique quantique
3. Intrication et complémentarité
4. Position et impulsion, puits et barrières
5. Oscillateur harmonique
6. Le problème à deux corps et le moment cinétique
7. Méthodes d'approximations
8. Conclusion : vers une information quantique

Code: PHYS-A03-S1

Mathématiques pour physiciens

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Michela Petrini

Autres enseignants : Amir Kashani-Poor, E. Baudin.

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 34h cours/34h TD

Description * :

- Rappels sur les questions de convergence
- Intégration
- Distributions
- Transformation de Fourier
- Probabilités
- Fonctions de variable complexe. Holomorphie. Calcul de résidus
- Transformation de Laplace
- Fonctions de Green
- Éléments de théorie des groupes

Code: PHYS-A04-S1

Projets de physique expérimentale 1

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsables : Christophe GISSINGER et Stéphane Fauve

Autres enseignants :

Type d'enseignement : Projet expérimental

Volume horaire : 30h 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 (Paris 6 ou Paris 7). Les binômes disposent de deux semaines, au terme de chaque projet, pour rédiger et remettre un rapport écrit.

Code: PHYS-A04-S2

Projet de physique expérimentale 2

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christophe GISSINGER et Stéphane Fauve

Autres enseignants :

Type d'enseignement : Projet expérimental

Volume horaire : 30h 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 (Paris 6 ou Paris 7). Les binômes disposent de deux semaines, au terme de chaque projet, pour rédiger et remettre un rapport écrit.

Code: PHYS-A05-S1

Eléments de mécanique analytique

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : S Fauve

Autres enseignants : Aurélie FRAGETTE et Swann Piatecki

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 16h cours/ 16h TD

Cette introduction aux principes variationnels et aux concepts et méthodes de la mécanique analytique est conçue comme un complément utile aux cours de mécanique quantique (L2) et de relativité et électromagnétisme (L7).

Programme du cours :

- Formulation variationnelle de la mécanique : principe de moindre action
- Formalisme lagrangien et applications
- Formulation hamiltonienne
- Transformations canoniques
- Méthode de Hamilton-Jacobi

Code: PHYS-A10-S2

Introduction à l'Astrophysique

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Patrick Hennebelle

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 :

- émission et transfert de rayonnement
- physique des intérieurs stellaires et évolution des étoiles
- objets compacts
- formation des étoiles et milieu interstellaire
- cosmologie

Code: PHYS-B03-S2

Relativité et électromagnétisme

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 9

Responsable : Alain Comtet

Autres enseignants : Igor FERRIER-BARBUT, Jihad MOURAD et Sebastian KAPFER

Type d'enseignement : *cours /TD*.

Volume horaire : 34h cours/34h 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.

Bibliographie :

J.D. Jackson, Classical Electrodynamics, John Wiley.

L.Landau, E. Lifchitz, Théorie du champ, Éditions Mir.

V.Ougarov, Théorie de la relativité restreinte, Éditions Mir.

R.U. Sexl, H.K. Urbantke, Relativity, Groups, Particles, Springer.

Code: PHYS-B04-S1

Projet de physique expérimentale 3

Niveau : L3

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Christophe GISSINGER

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Projet expérimental*

Volume horaire : 30h 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 (Paris 6 ou Paris 7). Les binômes disposent de deux 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 (L8a), pour l'autre, au second semestre (L8b) ;

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 (L8).

Code: PHYS-B04-S2

Projet de physique expérimentale 4

Niveau : L3

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Christophe GISSINGER
Autres enseignants :

Type d'enseignement : *Projet expérimental*
Volume horaire : 30h 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 (Paris 6 ou Paris 7). Les binômes disposent de deux semaines, au terme de chaque projet, pour rédiger et remettre un rapport écrit.

Code: PHYS-B07-S2

Stage expérimental en laboratoire

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 6
Responsable : Amir Kashani-Poor
Autres enseignants :

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-B08-S2

Ordres de grandeur et méthodes perturbatives

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 6
Responsable : Ken Sekimoto
Autres enseignants : Sylvain NASCIBENE

Type d'enseignement : *cours /TD*
Volume horaire : 32h cours / 32h TD

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 méthodes perturbatives font l'objet de la seconde partie du cours.

I. ANALYSE DIMENSIONNELLE ET SIMILARITÉ

Analyse dimensionnelle.
Similarité de première espèce et de seconde espèce.
Solutions auto-semblables et lois d'échelle.

II. EXEMPLES CHOISIS PARMIS LES SUJETS SUIVANTS

Ordres de grandeur en physique quantique, unités atomiques.
Conséquences sur quelques ordres de grandeur macroscopiques : densités, énergies de liaison, chaleur latente, et
État fondamental de n fermions, stabilité de la matière, cas des objets astrophysiques.
Interaction matière-rayonnement, temps de vie des états excités.
Diffusion d'une onde par des hétérogénéités : les différents régimes de diffusion en fonction de la longueur d'onde.
Ordres de grandeur relatifs à quelques phénomènes de transport : viscosité, conductivité électrique et thermique.
Lois d'échelle relatives au transport turbulent.
Bilans énergétiques de la terre.
Bilans énergétiques d'organismes vivants.

III. EXEMPLES DE MÉTHODES PERTURBATIVES

Couches limites et développements raccordés.
Approximation WKB.
Développements à échelles multiples.
Code: PHYS-C20-S2

Optique

Niveau : L3
Semestre : S2, ECTS : 6
Responsable : Frédéric Chevy
Autres enseignants : Pierre-François COHADON

Type d'enseignement : *cours* / *TD*
Volume horaire : 24hcours/24hTDs

L'optique reste au cœur de nombreuses applications en recherche aussi bien fondamentales qu'appliquées. Ce cours propose un panorama des développements modernes de ce domaine, de l'optique quantique jusqu'à l'optoélectronique en passant par la biophysique ou les mécanismes d'interaction lumière matière.

Plan :

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. Cohérence et interférométrie.
4. Description quantique de l'interaction atome-champ électromagnétique. Emission spontanée, émission stimulée, coefficients d'Einstein. Principe du laser.

5. Equations de Maxwell lissées, densité de polarisation, d'aimantation. Relations constitutives. Susceptibilité. Paquets d'onde.
6. Calcul de la polarisation pour les électrons (Drude Zener) et les phonons optiques. Couplage fort. Lyndane-Sachs –Teller.
7. Optique des solides « classique ». Les isolants et les conducteurs.
8. Excursion vers l'optique des solides « moderne » Miroirs de Bragg. Micro – cavités planaires. Cristaux photoniques. Optique des nano – objets.

Code: PHYS-S01-S1

Séminaire du Prédoctorat 1

Niveau : L3/M1

Semestre: S1, ECTS: 2

Responsable: Sylvain Nascimbène

Autres enseignants :

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, M1/S1, donne lieu à l'attribution de 2 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-S02-S2

Séminaire du Prédoctorat 2

Niveau : L3/M1

Semestre : S2, ECTS : 2

Responsable : Kris van Houcke

Autres enseignants :

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, M1/S1, donne lieu à l'attribution de 2 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-C02-S1

Structure fondamentale de la matière

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Stavros Katsanevas

Autres enseignants : T. Azeyanagi

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 32h cours/32h TD

- Les atomes
 - Corrections relativistes, Équation de Dirac.
 - Désintégrations d'états excités, Quantification de rayonnement, Émission spontanée.
- Les noyaux
 - Structure nucléaire, Rayons alpha, bêta, gamma.
 - Spin isotopique.
 - Modèle en couches.
 - Réactions nucléaires.
 - Astrophysique nucléaire.
- Les particules élémentaires
 - Phénoménologie, Modèle des quarks.
 - Théorie des champs relativiste.
 - Réactions et sections efficaces.
 - Théories de jauge et 'modèle standard'.
 - La gravitation quantique et introduction à la théorie des cordes.

Code: PHYS-C03-S1

Théorie statistique des champs

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Rémi Monasson

Autres enseignants : Guilhem SEMERJIAN

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 32h cours/32h TD

La physique statistique a pour objectif de comprendre les propriétés macroscopiques des systèmes comportant une multitude de composants microscopiques (particules, atomes, molécules, moments magnétiques, ...). Lorsque ces composants interagissent fortement entre eux, des phénomènes collectifs peuvent survenir, par exemple des changements macroscopiques abrupts consécutifs à de petites variations de paramètres extérieurs. Le but du cours est de montrer comment ces transitions de phase peuvent être quantitativement comprises à l'aide des outils et concepts de la théorie statistique des champs, qui constituent le langage moderne de la physique statistique théorique. En outre, des applications variées, allant de la physique de la matière condensée à la physique de la matière molle seront proposées.

Plan du cours :

Rappels sur les transitions de phase :

- ▶ champ moyen et importance des fluctuations
- ▶ lois d'échelle, exposants critiques
- ▶ idée de renormalisation : décimation
- ▶ notion d'universalité

Théorie statistique des champs :

- ▶ la marche aléatoire
- ▶ intégrale de chemin : introduction heuristique, analyse du cas unidimensionnel
- ▶ le champ libre
- ▶ le champ en interaction
- ▶ renormalisation : concepts et illustration sur le modèle $O(N)$ pour N grand

Applications :

- ▶ Polymères
- ▶ Cristaux liquides
- ▶ Percolation
- ▶ Dynamique à l'équilibre et hors-équilibre

- ▶ Transitions de phase discontinues : nucléation, métastabilité

Code: PHYS-M1-A03-S1

Condensed matter physics

Niveau : M1

Semestre: S1, ECTS: 6

Responsable: Abbay Shukla

Autres enseignants : Emmanuel Flurin et Kris van Houcke

Type d'enseignement : (*cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : 15h cours/15h TD

Cours obligatoire.

The aim of this course is to provide an introduction to condensed matter physics from the point of view of electronic properties and structure of crystalline matter. The approach will be that of classic textbooks of the field, as seen below from the topics to be covered. Throughout the course this approach will be supplemented by examples from recent research to emphasize on the vibrant nature of the field.

1. Crystal structure: structure, reciprocal lattice
2. Free electron model and beyond (crystal Hamiltonian, electronic and lattice degrees of freedom)
3. Excitations of the lattice: phonons, thermal properties
4. Electronic structure: electrons in a periodic potential, Fermi surface, energy bands
5. Semiconductors, Metals: fundamental electronic structure and properties.
6. Elementary excitations: plasmons, polaritons, excitons
7. Superconductivity and Magnetism : manifestation in condensed matter, phenomenology, basic concepts.

Code: PHYS-C06-S1

Physique expérimentale

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Pierre-François Cohadon

Autres enseignants : Thibault Balois et Léo Valon

Type d'enseignement :

Volume horaire : 1/2 jour hebdomadaire

Cette option, d'un semestre, consiste en une série de travaux pratiques effectués en binômes. Ils portent sur de nombreux thèmes de la physique classique (électronique, optique, fluides, thermodynamique...). Le but est d'apprendre à mener une expérience quantitative dans des domaines variés, si possible de façon automatisée, en utilisant par exemple l'environnement LabView. Il s'agira donc de mettre en oeuvre des expériences simples, de faire l'acquisition des données, d'analyser de manière critique les signaux obtenus pour vérifier une loi physique ou mesurer une grandeur pertinente. Les sujets couvriront une partie de ceux proposés à l'agrégation de physique et seront abordés dans l'esprit de l'épreuve de montage en attachant un soin particulier à la notion de mesure.

L'évaluation se fera par un contrôle continu et par une présentation orale où seront effectuées et commentées des expériences sur un sujet donné. Cette option peut également être vue comme une préparation anticipée à l'épreuve de montage de l'agrégation

Code: PHYS-C07-S1

Physique pour la biologie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Sylvie Hénon

Autres enseignants : Léo Valon

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 32h cours/32h TD

La physique appliquée à la biologie a connu un essor important depuis deux décennies. Le vivant fournit de beaux exemples d'applications de la physique qui en retour bénéficie d'un apport dans la description quantitative des phénomènes.

Mouvement Brownien, écoulements à faibles nombre de Reynolds, expériences en molécules uniques, moteurs moléculaires sont autant de thèmes qui pourront être abordés.

Aucune connaissance de biologie particulière n'est pré-requise pour ce cours.

Code: PHYS-C08-S1

Projet bibliographique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Amir Kashani Poor

Autres enseignants :

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 réaliste, 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-C11-S1

Introduction à la relativité générale

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Cédric DEFFAYET

Autres enseignants : Anastasia Fialkov

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

La théorie de la relativité générale est très bien vérifiée expérimentalement dans le système solaire avec la déviation de la lumière par le Soleil et l'avance du périhélie de Mercure. D'autre part la confrontation avec le pulsar binaire (un pulsar en orbite rapprochée autour d'une autre étoile à neutrons) a permis de vérifier l'existence du rayonnement gravitationnel. Le trou noir est une prédiction de la relativité générale et est très certainement une réalité en astronomie avec notamment la présence de trous noirs géants au centre des galaxies. De plus, la relativité générale est le fondement théorique de tous les modèles cosmologiques. Le cours consistera en

une initiation technique à cette théorie, qui sera suivie d'applications en astrophysique dans le domaine des ondes gravitationnelles et des trous noirs, et en cosmologie.

1. Place de la gravitation en astrophysique
2. Principe de relativité
3. Rappels de relativité restreinte
4. Principe d'équivalence
5. Notion de force gravitationnelle
6. Calcul tensoriel
7. Equations de la relativité générale
8. Tests classiques dans le système solaire
9. Ondes gravitationnelles
10. Effondrement gravitationnel et trous noirs
11. Introduction à la cosmologie

Code: PHYS-C16-S1

Physique numérique: approche numérique en physique macroscopique

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Dormy

Autres enseignants : Ludivine Oruba

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 32h cours/32h 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.

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

La première moitié du cours va permettre d'introduire les différentes méthodes numériques et de souligner les erreurs à éviter. La seconde partie sera consacrée à des projets développés par les élèves

Code: PHYS-D01-S2

Stage de recherche en laboratoire

Niveau : M1

Semestre : S2, ECTS : 30

Responsable : Jean-François Allemand

Autres enseignants :

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-G04-S1

Géomorphogénèse

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Bruno Andreotti

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

Le cours de Géomorphogénèse porte sur les origines physiques des phénomènes géologiques de surface faisant apparaître des "formes". D'une part, il s'agira de passer en revue quelques-uns ces phénomènes, en élaborant une modélisation élémentaire : rides et dunes, avalanches, dynamique des côtes sableuses, plissements et fractures, rivières et bassins versants, nuages, cercles et polygones de cailloux, etc. D'autre part, le cours sera l'occasion d'une initiation à la physique des milieux granulaires, à la physique des milieux continus (hydrodynamique et élasticité) et à la physique non-linéaire (lois d'échelles, instabilités, formation de motifs).

Code: PHYS-M1-A04-S1

Transformation d'énergie

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Stephan Fauve

Autres enseignants : Guillaume Michel

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

Transformations d'énergie

1. Discussion qualitative de quelques systèmes impliquant des transformations d'énergie :

- bilan énergétique de la terre (soleil, vents, courants, pluies, hydroélectricité, énergies fossiles, photosynthèse, géothermie),

- réactions chimiques,
- de la cellule à l'homme.

2. Rappels de thermodynamique :

- rendement de Carnot,
- pourquoi est-il utile de tirer parti de la transition liquide-vapeur?
- Quelques exemples,
- rendements à puissance maximale (approximation de Curzon et Ahlborn et modèles)

3. Limitations théoriques :

- cellules solaires
- thermoélectricité

4. Transformation d'énergie par l'intermédiaire d'instabilités :

- la convection vue comme une machine thermique,
- les instabilités thermoacoustiques
- l'effet dynamo et son efficacité comparée à celle de la thermoélectricité

5. Quelques systèmes naturels fonctionnant comme des machines thermiques :

- dynamique à grande échelle de l'atmosphère des planètes,
- le cycle des précipitations,
- amplification d'un cyclone.

6. Récupération d'énergies disponibles :

- la situation à la fin du 18ème siècle,
- des moulins à vent et voiliers aux éoliennes,
- photosynthèse et énergie solaire,
- chaleur latente de l'air humide

7. Quelques aspects relatifs à la fission ou la fusion :

- stabilité
- turbulence et dissipation; effet sur le rendement

8. Les transformations d'énergie à petite échelle :

- exemples
- rendement en fonction de l'échelle

Code: PHYS-G05-S1

Dynamique des systèmes planétaires

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Jacques Laskar

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

Depuis 20 ans, la dynamique des corps célestes, et en particulier des systèmes planétaires a considérablement évoluée. D'une part, la prise en compte des comportements chaotiques dans le Système solaire permet de mieux comprendre son évolution. D'un autre côté, la découverte des systèmes planétaires extrasolaires offre depuis 1995 un nouveau terrain d'investigation avec une très grande variété de systèmes qui impose une nouvelle approche plus globale de l'étude des mouvements planétaires. Le but de ce cours est à la fois de donner un aperçu de certains grands problèmes qui nécessitent une compréhension de la dynamique des systèmes Hamiltoniens, réguliers ou chaotiques.

Thèmes abordés :

- Problème des deux corps
- Résonance spin-orbite
- Mouvements des planètes. Mouvements séculaires
- Précession. Mouvement chaotique des obliquités
- Évolution à long terme des orbites planétaires.
- Théorie des paléoclimats
- Intégrateurs symplectiques
- Analyse en fréquence. Étude des mouvements chaotiques

Les séances de TD seront consacrées à l'étude de systèmes Hamiltoniens classiques par diverses méthodes : Méthodes perturbatives, intégration symplectique, analyse en fréquence. Elles permettront de donner une vision concrète aux notions de tores KAM (Kolmogorov, Arnold, Moser) et de mouvements chaotiques.

Code: PHYS-M1-A01-S1

Evolution and measurement of quantum states

Niveau: M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : C. Fabre

Autres enseignants : Sylvain Nascimbène

Type d'enseignement : *cours /TD*

Volume horaire : 15h cours / 15h TD

The aim of these lectures is to present different methods allowing us to characterize as precisely as possible the quantum states of an open physical system and the quantum measurement process. We will also study the evolution of the system under the effect of interactions, relaxation and measurement, quantum correlations and entanglement, and the conditional generation of quantum states. We will finally consider the quantum limits to physical measurements. The lectures will be illustrated by recent experimental examples.

- 1) Density matrix: pure and mixed states; case of qubits and "continuous variables" (x,p).
- 2) Quantum evolution of isolated and open systems, relaxation; general description using Kraus operators; evolution of quantum coherence, decoherence.
- 3) Quantum measurements: projective, imperfect; general description by a set of positive operators (POVM) ; correlations between successive measurements; Quantum Non Demolition measurement, weak and unread measurements.
- 4) Bipartite systems: local measurements: partial trace; bipartite measurements: correlations, classical or quantum; entanglement and separability; entanglement witnesses; evolution of entanglement.
- 5) Conditional measurements and conditional generation of a quantum state; Einstein Podolsky Rosen paradox, Bell inequality.
- 6) Complete characterization by quantum tomography of states, processes and detectors.

7) Quantum limits in measurements; Heisenberg inequalities for variances and correlations, Heisenberg-Osawa inequality for the perturbation of a system by the measurement. Cramer-Rao bound for the estimation of physical quantities.

Code: PHYS-M1-A02-S1

Quantum fluids

Niveau : M1

Semestre : S1, ECTS : 3

Responsable : Alice Sinatra

Autres enseignants : Kris van Houcke

Type d'enseignement : *cours* /TD

Volume horaire : 15h cours / 15h 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-M2-A0-S1

Approche statistique de la matière condensée

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Emmanuel Trizac, Christophe Texier et Olivier Bénichou.

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours*/TD

Volume horaire : 26hcours/26hTD

La première moitié du cours (E. Trizac) est commune aux parcours physique quantique et physique macroscopique et complexité (ex physique des liquides). L'objectif est de présenter les fondements de la mécanique statistique hors de l'équilibre. Le lien fondamental entre fluctuations et dissipation est mis au jour sur l'exemple de l'équation de Langevin, dont le sens physique est discuté. Ce cadre de travail est ensuite élargi pour présenter une vue d'ensemble sur les processus stochastiques, et pour aborder les processus irréversibles (sous l'angle macroscopique d'une part, par la théorie cinétique et l'équation de Boltzmann d'autre part). Pour la seconde moitié, on choisira entre :

- le cours de C. Texier consacré aux aspects quantiques (réponse linéaire, application du formalisme aux problèmes de dissipation quantique puis de transport électronique dans les métaux)
- le cours d'O. Bénichou qui développera la théorie des transitions de phase continues (théorie de Landau, effets des fluctuations, introduction aux méthodes du groupe de renormalisation).

Code: PHYS-M2-A1-S1

Atomes et photons

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Michel Raimond

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26hcours/26hTD

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

Biophysique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-François Joanny

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26hcours/26hTD

Description :

- Introduction à la biologie de la cellule
- ADN, courbure et torsion
- Mouvement Brownien, théorème de fluctuation dissipation
- Théorèmes de fluctuation, dépliement de l'ARN
- Physique statistique des Membranes modèles et réelles
- Cytosquelette actine, microtubules et moteurs moléculaires
- Hydrodynamique et bactéries
- Réseaux de transcription.
- Transcription networks

Code: PHYS-M2-A3-S1

Hydrodynamique physique

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : David Quéré

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Écoulements inertiels et en rotation

Vorticité: signification physique, équations de transport, théorème de Kelvin. Analogie électromagnétique. Création de vorticité par des forces non conservatives. Vorticité localisée : filaments de tourbillons isolés, vortex de Rankine, force de Magnus sur un filament tourbillon, anneaux tourbillons, dynamique d'un ensemble de tourbillons, allée de tourbillons et allée de

tourbillons de von Karman. Couches limites laminaires : Physique de la couche limite, équation de Blasius, équation de Falkner-Skan, décollement de couche limite. Couches limites thermiques et de concentration. Écoulements en rotation : Equations de mouvement et de transport de la vorticité dans un repère en rotation. Nombre de Rossby et d'Ekman. Vorticité potentielle. Écoulements géostrophiques et quasigéostrophiques. Ondes de Rossby et ondes inertielles. Écoulements secondaires : effets « spin-up » et feuilles de thé, couche d'Ekman, écoulements secondaires dans des conduites ou des canaux courbes.

Microhydrodynamique

Lubrification : rappels sur les écoulements parallèles et les conditions aux limites. Poiseuille, Couette et transitoires d'établissement. Écoulements faiblement non-parallèles et approximation de lubrification. Equation de Reynolds. Exemples : adhésion hydrodynamique, spin-coating... Faibles Reynolds : Equation de Stokes et propriétés (unicité, réversibilité, additivité, minimum dissipation). Forces et couples sur un objet en mouvement (exemple de mouvement de bâtonnet ou hélice). Cas du mouvement de sphères : force de Stokes, effets de parois proches, correction d'Oseen, effets instationnaires (masse ajoutée et histoire). Milieux poreux : introduction aux milieux poreux. Loi de Darcy. Écoulements en cellule de Hele-Shaw. Exemple d'écoulement à travers un barrage. Fluides non-newtoniens : Equation du mouvement. Les différents types de fluides nonnewtoniens (rhéofluidifiant, rhéoépaississant, fluide à seuil, thixotropes) et lois constitutives. Notion de viscosité élongationnelle et contraintes normales. Exemple d'écoulement de boues.

Écoulements à surface libre

Exemples d'écoulements à surface libre : amincissement gravitaire, coulures, impacts, pincements ; conditions aux limites spécifiques ; tension de surface. Mouillage et imprégnation (statique). Mouillage et imprégnation (dynamique). Physique du dépôt de liquide : le problème de Landau-Levich. Le coin liquide. Instabilités interfaciales (Plateau, Rayleigh, Taylor). Surfactants et films de savon. Coalescence ; systèmes fluidiques automoteurs. Ondes et rides ; sillages.

Code: PHYS-M2-A4-S1

Interfaces et matière molle

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Sylvie Hénon

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

La matière dite molle est un domaine foisonnant où la naïveté n'est pas de mise. Le présent cours présente les interactions de base dans les milieux considérés. Leurs conséquences sont illustrées d'une part dans le cas des solutions, dispersions et émulsions, d'autre part dans celui des films minces et interfaces, incluant capillarité et mouillage. Le cours met l'accent sur ordres de grandeur, observations et contingences expérimentales.

Code: PHYS-M2-A5-S1

Invariances en physique et théorie des groupes

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Bernard Zuber

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26 hcours/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 : Alain Sacuto

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Ce cours a pour objectif d'introduire le magnétisme et la supraconductivité en matière condensée. Une fois les concepts fondamentaux acquis ils seront illustrés par des thèmes de recherche actuels tels que la dynamique de spin, le magnétisme quantique ou encore les cuprates supraconducteurs. Les cours s'organiseront sur 12 séances de 2h (6 séances pour la partie magnétisme et 6 séances pour la partie supraconductivité) suivis de 12 séances des TDs.

Code: PHYS-M2-A7-S1

Matériaux fonctionnels

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Robson Ferreira

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26 hcours/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).

A) Hétérostructures de semiconducteurs

- Rappel des états massifs des semiconducteurs (ondes de Bloch et bandes d'énergies).
- Propriétés de transport ; la modulation de dopage et le transport dans les hétérojonctions.

- Processus optiques inter- et intra-bandes ; les lasers inter-bandes et à cascade quantique.
- Fondements physiques de l'électro modulation optique des puits quantiques.

B) Surfaces, nanostructures, jonctions et multicouches

- Surfaces, couches minces (cristallines et amorphes), texturation de surface
- Nucléation, croissance, interfaces, auto-organisation de nanostructures de surface
- Exemples : multicouches et interfaces d'oxydes, jonction supraconducteur - isolant - supraconducteur. Self energy non linéaire. Accord de phase et amplitude à une jonction. Effet Josephson et ses applications (SQUID).
- Optique des matériaux hétérogènes ; plasmonique et nano-optique

C) Exemples d'applications : en transport, optique et plasmonique

Code: PHYS-M2-A8-S1

Mécanique quantique: seconde quantification, méthodes d'approximation

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Philippe Lecheminant

Autres enseignants :

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-A9-S1

Physique non linéaire

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Martine Ben Amar

Autres enseignants :

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

Physique numérique : algorithmes et calculs

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Werner Krauth

Autres enseignants :

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'éq. 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 linéaire (numerical eigenvalue problem, Algorithmes d'Arnoldi et de Lanczos), Décomposition en valeurs singulières.

Code: PHYS-M2-A11-S1

Physique statistique et ouvertures

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Bernard Derrida

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

OUTILS DE BASE DE LA MECANIQUE STATISTIQUE

- Ensembles Statistiques
- Exemples de modes
- Transitions de phase
- Preuves rigoureuses (Peierls, Griffiths)
- Champ moyen
- Introduction a la renormalisation
- Dynamique Stochastique : Bilan detaillee et Methode Monte Carlo
- Equation de Langevin
- Systemes hors d'equilibre, Theoreme de fluctuation

PROBLEMES GEOMETRIQUES DE LA MECANIQUE STATISTIQUE

- Marches aleatoires, Lois de Levy
- Polymeres, limite $n \rightarrow 0$, Argument de Flory, dimension critique
- Percolation, limite $q \rightarrow 1$
- Processus de contact

SYSTEMES DESORDONNES ET APPLICATIONS

- Introduction, methode des repliques, problemes de moyennage,
- exposants de Lyapounov
- Critere de Harris, argument de Imry Ma
- Diffusion dans un potentiel aleatoire
- Introduction aux verres de spins
- Reseaux de neurones
- Modeles Simples d'evolution

Code: PHYS-M2-A12-S1

Propriétés structurales et électroniques des solides

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Julien Bobroff

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

1. Ordres en matière condensée
2. Intro rapide aux différents types d'ordre, symétries, groupes, ordres
3. périodiques, apériodiques, matière molle, Désordre et défauts
4. Interaction photon/neutron/electron-matière

5. Diffusion et absorption, cohérence, sources (synchrotron, pile neutrons, FEL), Spectroscopies d'absorption, Diffusion, Diffraction, Résolution de structure,
6. Cristaux désordonnés, Transitions de phases ; Diffusion aux petits angles ;
7. Dynamique ; Magnétisme : Diffusion magnétique des neutrons et des RX
8. Propriétés électroniques des solides
9. 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 : Nathalie Deruelle

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

Description * : 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 espaces-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 2 Cours seront consacrés à la Cosmologie et aux développements actuels de la théorie.

Code: PHYS-M2-A14-S1

Symétries brisées en théorie statistique des champs

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Marc Gabay

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

La théorie des champs s'avère un outil moderne et très puissant pour étudier les excitations collectives de basse énergie dans les systèmes fortement corrélés. Ce cours a pour but d'introduire les étudiants de deuxième année de Master à certaines applications récentes de la théorie statistique des champs en matière condensée. Après avoir exposé la théorie de Landau des transitions de phase, l'accent sera mis sur la formulation de Wilson du groupe de renormalisation et ses applications à la physique des phénomènes critiques.

Code: PHYS-M2-A15-S1

Symétries et théorie quantique des champs

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Jean-Noël Fuchs

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h 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

Théorie de la matière condensée

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Antoine Georges

Autres enseignants : Olivier Parcollet, Xavier Leyronas, Christophe Mora

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

L'objectif de ce cours est de présenter les outils théoriques nécessaires à la description théorique des matériaux et systèmes d'intérêt actuel en physique quantique de la matière condensée. Les liens étroits entre aspects formels et aspects physiques sont soulignés, en associant toujours les concepts introduits à des illustrations physiques.

La structure du cours est « en Y » : un tronc commun de 6 séances présente de façon générale le problème à N corps, qui traite des particules en interaction, et introduit le formalisme de la seconde quantification. Deux exemples sont ensuite discutés en détail : la description de

l'écrantage dans le gaz d'électrons par la théorie de la RPA et la transition superfluide-isolant du modèle de Hubbard bosonique.

Ensuite le cours se sépare en deux branches :

1) La première branche traite des fonctions de réponse et du transport. Elle commence par une introduction à la fonctionnelle de densité pour le calcul des structures électroniques. Les fonctions de réponse et de corrélation (spin-spin, densité-densité) sont ensuite discutées en lien avec les méthodes de spectroscopie (X, neutrons, RMN, Kramers-Kronig, causalité). Le cours finit par une introduction au transport avec la formule de Kubo, la notion de conductivité optique et l'équation de Boltzmann.

2) La seconde branche traite du magnétisme et de la superfluidité. Les origines physiques et les principes fondamentaux qui gouvernent le magnétisme sont exposés, avec à la fois l'étude des spins localisés et en interactions (modèles d'Heisenberg et Ising) et l'étude du magnétisme itinérant porté par des électrons délocalisés. La suite du cours est consacrée à la présentation de la superfluidité, phénomène central en physique de la matière condensée, que ce soit dans l'Hélium, les supraconducteurs, les gaz ultrafroids ou plus récemment dans les condensats de polaritons. Une introduction au transport électronique (équation de Boltzmann) est finalement donnée.

Code: PHYS-M2-A17-S1

Théorie quantique des champs (PT)

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Adel Bilal

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

- Rappels de mécanique quantique, invariance de Poincaré, petit groupe et états à une particule.
- État à plusieurs particules, bosons et fermions, matrice S.
- Calcul de la matrice S en théorie des perturbations, taux de transition, section efficace, décomposition en clusters.
- Champs quantiques : construction des champs scalaires, vectoriels et de Dirac, propagateurs de Feynman, théorème spin-statistique, théorème CPT.
- Règles de Feynman, fonctions à n points et formule de réduction.
- Formalisme canonique, symétries et courants conservés.
- Électrodynamique quantique.
- Intégrale fonctionnelle, fonctionnelles génératrices.
- Propagateurs complets, identités de Ward, nécessité de renormalisation.
- Calculs à une boucle en ϕ^4 et en électrodynamique quantique : fonction beta, calcul de g_2 .
- Éléments de la théorie générale de la renormalisation.
- Théories de jauge non-abélienne : quantification Faddeev-Popov, fantômes, symétrie BRST.

Code: PHYS-M2-A18-S1

Théorie statistique des champs (PT)

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : François David

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26h TD

- Intégrales de chemin en physique quantique et quelques applications.
- Intégrales fonctionnelles, théorie Euclidienne des champs et physique statistique.
- Phénomènes critiques, théorie de Landau, fluctuation et critère de Ginzburg.
- Comportements d'échelle et introduction au groupe de renormalisation de Wilson
- Relations avec la renormalisation en théorie perturbative des champs.
- Quelques applications en physique statistique, matière condensée et matière molle.

Prérequis

- Mécanique classique et quantique non relativiste.
- Physique statistique à l'équilibre pour les systèmes classiques (ensemble statistiques, théorie du champ moyen, fonctions de corrélations, transitions de phases) et quantiques (matrice densité, statistiques quantiques).
- Outils mathématiques de base pour la physique : opérateurs et espaces de Hilbert, intégration et distributions, transformée de Fourier, fonctions analytiques, quelques notions de probabilités et de théorie des groupes.

Code: PHYS-M2-A19-S1

Transport quantique et interférences électroniques aux échelles mésoscopiques

Niveau : M2

Semestre : S1, ECTS : 6

Responsable : Takis Kontos et Hélène Bouchiat,

Autres enseignants : Gwendal Fève

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 26h cours/26 hTD

Description : Néant

Code: PHYS-M2-A0-S2

Advanced Quantum Field Theory (ThP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Vincent Rivasseau

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h 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

Algèbre, intégrabilité et modèles exactement solubles

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jesper Lyke Jacobsen

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h 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

Atomes ultra-froids

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Frédéric Chevy et Fabrice Gerbier

Autres enseignants : Jérôme Beugnon

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16 hcours/16h 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 :

1. Radiative forces
2. Doppler cooling
3. Neutral particles trapping
4. Scattering length
5. Evaporative cooling
6. Bose-Einstein condensation
7. Atomic interferometry
8. Degenerate Fermi gases

Code: PHYS-M2-A3-S2

Biophysique expérimentale

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Vincent Croquette

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Le but de ce cours est de présenter différentes problématiques biologiques abordées expérimentalement par les physiciens essentiellement avec des méthodes optiques. La compréhension des problèmes posés par la biologie nécessite de développer de nouveaux outils physiques, que nous essayerons de vous présenter.

Le plan proposé sera en gros le suivant :

1- Rappels de biologie

- Les polymères du vivant On traitera successivement des polymères « idéaux » puis des polymères ayant des interactions (électrostatiques, volume exclu...). On discutera alors des cas de l'ADN double brin, simple brin, et des protéines. Nous présenterons un modèle simplifié de protéines pour comprendre leur repliement.
- Les outils traditionnels d'étude Introduction rapide aux méthodes classiques de séparation, de détermination des structures des macromolécules biologiques. Apport de la biologie moléculaire.
- Notion de biochimie Introduction à la cinétique enzymatique et à la notion d'interactions moléculaires. Importance des relations fonctions/structures.
- Notions de neurosciences Introduction à la physiologie du neurone et aux mécanismes de codage de l'information dans les réseaux de neurones.

2- Biophysique expérimentale

On peut aujourd'hui manipuler et/ou visualiser une molécule unique d'ADN ou de protéine, ce qui permet d'observer des comportements individuels et non plus des moyennes d'ensemble. On peut également manipuler une seule cellule et faire de l'imagerie in vivo avec une résolution sub-diffraction.

- Les techniques de micromanipulation Description comparative des différentes techniques utilisées (AFM, pinces optiques, pinces magnétiques, micro pipette). Mesure de forces et de distances à l'échelle du piconewton et du nanomètre. Courbe de force d'un polymère. Comparaison théories/expériences.
- Microscopies optiques. La microscopie optique a fait des progrès très importants ces dernières années. On peut distinguer au moins deux grandes avancées :
- Imagerie super-résolution. En fluorescence il est maintenant courant d'observer une seule molécule. On accède à la dynamique de la diffusion ou des réactions enzymatiques grâce à la FCS. Le FRET permet de mesurer la distance séparant deux molécules avec une précision

nanométrique, La microscopie à haute résolution permet maintenant un pouvoir séparateur qui dépasse les critères de la diffraction.

- Imagerie dans les tissus biologiques. Différentes techniques ont permis d'effectuer des expériences d'imagerie dans les tissus biologiques malgré leur forte diffusion. Les techniques de microscopie non-linéaires ou la tomographie optique cohérente (OCT) permettent ainsi d'obtenir des informations structurales et fonctionnelles à des profondeurs de plusieurs centaines de microns dans les tissus. Récemment, l'utilisation de l'optique adaptative pour corriger les aberrations optiques de l'échantillon a permis d'augmenter la résolution et la profondeur de pénétration de ces techniques. Nous présenterons et discuterons ces différentes méthodes avec des applications à l'échelle moléculaire, pour l'étude de moteurs par exemple, ou en neurosciences, pour l'étude du codage de l'information sensorielle ou motrice.
- Moteurs moléculaires Présentation des enzymes interagissant avec l'ADN. Intérêt des expériences sur molécules uniques. Présentation des enzymes agissant sur l'ADN (polymérase, topoisomérase, hélicase..) dans le cadre biologique et apport des expériences.
- Neurosciences. Pourquoi imager des tissus biologiques épais est difficile : problèmes de l'effet de section et de la diffusion en imagerie optique. Description de deux techniques permettant d'obtenir des sections optiques dans des tissus : l'OCT et la microscopie à deux photons. Applications aux neurosciences : imagerie d'activité de réseaux neuronaux dans des animaux en comportement : enjeux, difficultés techniques et exemples d'expériences.

Code: PHYS-M2-A4-S2

Corrélations électroniques, magnétisme, supraconductivité

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Michel Héritier

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Description : à venir

Code: PHYS-M2-A5-S2

Cosmologie (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jérôme Martin

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Description à venir

Code: PHYS-M2-A6-S2

Dynamique des fluides géologiques

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Claude Jaupart

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16hcours/16hTD

Description : à venir

Code: PHYS-M2-A7-S2

Fermions et bosons fortement corrélés

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Olivier Parcollet

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Ce cours constitue une introduction aux méthodes modernes du problème à N corps. Certaines techniques employées sont proches de celles introduites dans le cours de théorie des champs (fonctions de Green, méthodes diagrammatiques). On présentera également des techniques adaptées à la limite de couplage fort. On s'efforcera, sur des exemples simples, de faire le lien entre les méthodes théoriques introduites et des effets physiques observés. Ces exemples seront empruntés à la physique des solides. Cette année, le cours envisagera aussi des effets d'interactions entre électrons dans les systèmes mésoscopiques.

Code: PHYS-M2-A8-S2

Information quantique (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jean-Michel Raimond

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Ce cours introduit les concepts de base de la théorie quantique de l'information. On présentera les potentialités offertes par les expériences dans divers domaines (optique, RMN, manipulation d'ions ou d'atomes uniques).

Thèmes abordés

1. Information classique ou quantique : les ressources de la logique quantique
2. Communication quantique
3. Portes quantiques et structure d'un calcul quantique
4. Principe du calcul quantique, algorithmes quantiques
5. Décohérence et correction d'erreur

6. Exemples de mises en œuvre expérimentales :
 1. Résonance magnétique nucléaire
 2. Ions piégés
 3. Atomes en cavité

Code: PHYS-M2-A9-S2

Intégrale de chemin et applications en physique statistique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Alain Comtet

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Ce cours est une introduction à l'intégrale de chemin de Feynman et à sa version euclidienne, l'intégrale de Wiener. Un des objectifs est de présenter le lien entre la description trajectorielle et les techniques opératoires en traitant en parallèle la mécanique quantique et les processus de diffusion. Nous donnons une dérivation de la formule de Feynman-Kac et proposons des applications à l'étude de fonctionnelles du mouvement Brownien qui interviennent en physique statistique, physique quantique et physique des polymères. D'autres applications à l'étude des statistiques quantiques sont proposées.

Code: PHYS-M2-A10-S2

Introduction à l'analyse théorique et à la modélisation des réseaux génétiques

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Vincent Hakim

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Les connaissances sur le fonctionnement des cellules et des organismes vivants progressent rapidement grâce aux progrès impressionnants des techniques de biologie moléculaire et d'imagerie. Cependant, comprendre précisément la dynamique des organismes biologiques, leur développement et leur évolution, demeure un défi majeur. Afin d'expliquer des données biologiques chaque jour plus nombreuses et plus précises, il convient souvent de considérer les organismes comme des systèmes non linéaires, stochastiques et en interaction, dont l'étude requiert de nouvelles méthodes et approches issues de la physique théorique. Les dix dernières années ont ainsi vu l'essor d'une « biologie quantitative » qui allie expérience et modélisation afin d'expliquer des phénomènes biologiques complexes. Ce cours est une introduction à ce domaine en pleine expansion où les concepts et techniques de la physique statistique et de la physique non-linéaire jouent un rôle primordial.

Descriptif détaillé du cours

1. Régulation des gènes : description des différentes étapes.
2. Grands réseaux, motifs et petits circuits génétiques.
3. Bruit dans les réseaux génétiques.
4. Limitations physiques au traitement de l'information.
5. Formation de structure spatiale et expression génétique.

6. Modélisation stochastique des séquences biologiques.
7. Génétique des populations et évolution moléculaire.

Code: PHYS-M2-A11-S2

Introduction à la chromodynamique quantique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Matteo Cacciari

Autres enseignants :

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-A12-S2

La physique de la matière molle : auto-assemblage et dynamique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Wiebke Drenkhan

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Soft matter is an important sub-class of condensed matter. It includes a wide range of intriguing substances like colloids, polymers, liquid crystal or foams and emulsions. We experience the physical properties of such systems every day: milk, paint, cosmetics, gels or shaving foams, just to mention few of them.

Soft matter systems typically consist of a large number of small elements whose interaction energies are comparable to thermal energy. At this weak energy scale, entropy is often an important key player in controlling the materials behaviour in contrast to traditional *hard* matter. As a result, Soft Matter systems display an extraordinary rich and, sometimes, counterintuitive behaviour even at room temperature. The same material may behave like a fluid or like a solid, depending on the experimental conditions. Materials may harden with increasing temperature or under mechanical solicitation and substances may become more soluble upon decreasing the temperature. The interactions with light can be highly non-trivial and photonic properties of soft matter are of great interest.

Understanding the governing physical principles of soft matter is a challenge that requires a joint theoretical, computational and experimental effort. In combining efficiently these three dimensions, Soft Matter research has advanced significantly over the last 30 years and provides now a very important and illustrative playground for the physicist who needs to relate the

physics of the material on a microscopic level to its macroscopic behaviour. On the other side, Soft Matter can be the ideal test ground for statistical mechanics concepts. Moreover, Soft Matter science is beginning to conquer (and capture) the living world at the ever-growing interface between physics and biology.

Combining theory, experiments and computer simulations - and using a wide range of example systems - this course aims to introduce some of the key concepts of Soft Matter Science. In particular, the concept of coarse-graining will be introduced, opening the route to the reduction to the degrees of freedom of soft matter system to make it theoretically amenable. We will lay the basis of the theory behind the treatment of the static and dynamics properties of some soft matter systems. The connection to real systems will be always stressed and some of the most striking properties of Soft Matter systems will be illustrated by simple hands-on experiments. Beyond learning about the well-understood and well-accepted part of Soft Matter Science, the students will be in touch with partially solved or open scientific problems through a « Journal club » at the end of each course block, in which some of the most important scientifically articles of the field will be discussed by the students.

Code: PHYS-M2-A13-S2

Matière de Dirac, topologie et interactions dans les systèmes à plusieurs particules

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pascal Simon

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Au cours des dernières années, la physique de la matière condensée a connu des progrès spectaculaires grâce à la synthèse de nouveaux matériaux carbonés comme les nanotubes ou le graphène et plus récemment avec l'émergence de nouveaux composés exotiques nommés isolants topologiques. Les propriétés électroniques de tous ces matériaux ont en commun qu'elles sont en partie décrites par les solutions de l'équation de Dirac en basse dimension. Simuler la matière de Dirac in situ à partir d'atomes froids piégés dans des réseaux optiques spécifiques constitue également une nouvelle direction pour l'optique quantique. Ce cours a pour objectif d'introduire ces nouveaux concepts à des étudiants de niveau Master 2.

Code: PHYS-M2-A14-S2

Milieux et écoulements granulaires et poreux

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Eric Clément

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Mélanges, tas de sable, chaos, milieux granulaires secs et humides, milieux poreux, contacts solides.

Code: PHYS-M2-A15-S2

Modélisation ab initio de la matière condensée : introduction pratique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Jacek Goniakowski

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Les avancées théoriques et la réduction du coût de calcul ont provoqué une démocratisation considérable de la modélisation ab initio ; plusieurs codes ont été commercialisés, leur utilisation croît d'une manière exponentielle, et les chercheurs deviennent de plus en plus sensibles à leurs résultats. En tant qu'aide à l'analyse et à l'interprétation des données expérimentales, la modélisation ab initio est désormais devenue un outil presque incontournable. En outre, ses capacités prédictives en font un véritable « expérience à l'ordinateur », capable d'identifier sans ambiguïté des mécanismes microscopiques sous-jacents aux phénomènes ou aux propriétés étudiées.

L'option propose une initiation à la modélisation ab initio, axée sur le côté pratique. Le cours magistral donne un aperçu général de ce type d'approches, un bref rappel des approximations sous-jacentes, une illustration de leur potentiel pour différents types d'applications, et une mise en garde contre leurs limitations. Il traite les aspects de construction des modèles, décrit la démarche calculatoire nécessaire à l'estimation de différentes caractéristiques physico-chimiques, et illustre les résultats par des exemples tirés de publications récentes. Le cours magistral est accompagné d'un volume équivalent de travaux dirigés. Dans leur cadre, à l'aide de(s) code(s) utilisés actuellement dans la recherche, les étudiants auront l'occasion de faire eux-mêmes des simulations ab initio simples, puis, au cours des séances successives, de réaliser leurs mini-projets numériques. Le cours s'adresse à un public large : il ne nécessite pas des connaissances en programmation.

Code: PHYS-M2-A16-S2

Nanophysique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Odile Stephan

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Il est aujourd'hui possible, grâce aux techniques de synthèse et de nanofabrication, de réaliser de nouveaux systèmes de dimensions nanométriques qui présentent des propriétés spectaculaires liées à leurs faibles dimensions (propriétés optiques, propriétés de transport, nanomagnétisme par exemple). Outre l'intérêt qu'ils présentent pour de nouvelles applications, ils constituent des systèmes modèles pour la mise en évidence d'effets physiques fondamentaux (transport polarisé en spin : magnéto-résistance géante et transfert de spin, exaltation optique). La compréhension de tels effets ne peut se faire sans une caractérisation préalable à des échelles nanométriques, voire subnanométrique de la structure et des excitations de ces systèmes, rendue récemment possible par la mise au point de techniques de microscopies à haute résolution spatiale et de modes spectroscopiques associés. Dans ce cours, nous présenterons quelques phénomènes physiques propres à ces nano systèmes ainsi que les techniques développées spécifiquement

pour créer, manipuler et observer des objets à ces échelles, ainsi que pour en mesurer les propriétés.

Code: PHYS-M2-A17-S2

Nanostructures semiconductrices (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Robson Ferreira

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Le contrôle du processus de fabrication des cristaux semi-conducteurs rend sans conteste ces matériaux sources de nombreuses utilisations : diodes, transistors, lasers par exemple. Il permet aussi d'importantes et très vivantes études fondamentales, où les confinements des électrons et/ou photons permettent d'explorer des phénomènes issus du couplage lumière-matière inédits en matière condensée. C'est en fait un domaine où la physique quantique fondamentale du solide et les applications "hautes technologie" sont intimement liées. Des progrès majeurs ont été effectués depuis que l'on sait contrôler à une monocouche atomique près les épaisseurs des couches planaires, rendant possible la fabrication de multicouches aux propriétés fondamentalement nouvelles liées au caractère bidimensionnel du système. Plus récemment, on a su structurer latéralement ces couches de manière à obtenir des systèmes unidimensionnels et même zérodimensionnels, à une échelle, bien inférieure au micromètre donc nanométrique, où la description quantique est indispensable. Ce cours traite des propriétés électroniques et optiques fondamentales de ces nanostructures de semi-conducteurs en rappelant celles des matériaux massifs. Il décrit d'abord les états électroniques, avant d'envisager les deux grands domaines des phénomènes optiques intrabande (les lasers à cascade quantique et le couplage ultra-fort en cavité) et interbandes (les polaritons de micro-cavités et les boîtes quantiques).

Code: PHYS-M2-A18-S2

Non-linear dynamics and temporal chaos

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Laurette Tuckerman

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire: 16h cours/16h TD

Bifurcation theory Pitchfork, saddle-node, transcritical and Hopf bifurcations

Jordan blocks and transient growth, global bifurcations **Thermal convection and the Lorenz model**

Boussinesq approximation, linear stability analysis, Lorenz model **Symmetry** Reflection : symmetries of vector fields.

Rotation: circle pitchfork and drift pitchfork Groups: Z_n and D_n , $SO(2)$ and $O(2)$. Equivariance and invariance, isotropy lattice Standing and traveling waves in thermosolutal convection.

Mappings and period-doubling

From continuous flows to discrete maps: Poincaré sections. Logistic mapping, Feigenbaum-Coulet-Tresser period-doubling cascade Periodic windows: Sharkovskii's Theorem.

Floquet theory and fluid dynamics: Faraday instability, cylinder wake, convection
Quasiperiodicity and intermittency

Tori, circle maps, frequency locking, Arnold tongues, winding number, golden mean
Intermittency, Lyapunov exponent. **Stripes, Patterns and Instabilities** Swift-Hohenberg
equation.

Rolls, squares and hexagons. Eckhaus and zig-zag instabilities

Fronts and reaction-diffusion systems

Turing patterns, excitable media, Lyapunov functionals, spatial analysis. **Hamiltonian systems**
Integrable systems: pendulum, twist maps, action-angle variables Non-integrable perturbations :
Poincaré-Birkhoff and KAM Theorems Applications : three-body problem, billiards, blinking
vortex. Ruelle-Takens route to chaos Nonlinear systems ODEs : Rossler system, van der Pol and
Duffing oscillators Maps : sine circle and Hénon map Excitable media : FitzHugh-Nagumo,
Barkley, Brusselator and Gray-Scott models PDEs : Kuramoto-Sivashinsky, Swift-Hohenberg,
Ginzburg-Landau equations

Code: PHYS-M2-A19-S2

Optique non-linéaire et quantique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : François Hache

Autres enseignants :

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-A20-S2

Physico-chimie des polymères

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Françoise Brochard-Wyart

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Lois d'échelle statiques et dynamiques pour des polymères neutres et chargés (approche
statistique et modèle de Flory, temps de relaxation, chaînes sous écoulement).
Bio-polymères (nano-manipulations d'une chaîne unique, de l'ADN à l'actine, élasticité et
longueur de persistance). Polymères en géométrie confinée et translocation de l'ADN.
Les régimes de concentration (fondus et semi-dilués). Polymères aux interfaces (techniques de
greffage, configuration). Chaînes réticulées (élastomères et gels gonflés).

Code: PHYS-M2-A21-S2

Physique des particules : le modèle standard (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Dirk Zerwas

Autres enseignants :

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, α_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-A22-S2

Probabilités pour physiciens

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Michel Bauer

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Au début de la mécanique statistique, Maxwell écrivait "La vraie logique du monde est celle du calcul des probabilités". Les années lui ont donné amplement raison. Cependant, les méthodes des physiciens et des mathématiciens ont rapidement divergé : ils continuent à s'intéresser bien souvent aux mêmes problèmes, mais avec des langages très différents.

L'objectif de ce cours est de présenter pour des physiciens les bases de l'approche probabiliste mathématique. Même si cela nécessite un peu de formalisme, celui-ci présente des côtés assez intuitifs pour être expliqué, compris et appliqué sans passer systématiquement par des preuves rigoureuses.

Après une introduction aux bases des probabilités, les cours présentera les processus stochastiques les plus courants (marche aléatoire, processus de Poisson, Brownien, etc), les martingales et le calcul stochastique.

La puissance de ces outils sera illustrée par des applications aux systèmes hors d'équilibre, aux systèmes désordonnés, aux transitions de phase, etc.

Code: PHYS-M2-A23-S2

Quantum measurements

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre-François Cohadon et Benjamin Huard

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Description :

Quantum mechanics deeply modifies the classical understanding of what a measurement is. In particular, the outcome of a measurement is a random number, whose statistics can be predicted. Besides, the measurement process modifies the state of a system so that the results of two consecutive measurement can be more correlated than classically allowed.

In this course, we will tackle quantum measurement from the perspective of recent experiments exploring a vast diversity of quantum systems (cavity QED, circuit QED, optomechanics, qubits...). In a first part, we will review the most general theory of measurement. Then, we will show how the Heisenberg uncertainty principle affects measurements. In particular, the fact that physical quantities fluctuate even at zero temperature sets limits on how precise a measurement can get. We will also present ways to go beyond these limits using quantum noise squeezing.

In more details, we will address the following points.

1- Generalized measurement theory

- projective measurements,
- weak measurement, measurement operators and POVM,
- continuous measurement with perfect efficiency,
- finite efficiency and stochastic master equation,
- quantum feedback,
- generalization of quantum mechanics to past and future information.

2- Classical and quantum noise

- spectral density and quantum spectral analyzers,
- quantum constraints on the noise,
- application to measurement rate and decoherence.

3- Amplification

- quantum limits on amplification,
- input/output theory,
- link with measurement theory.

4- Evading quantum limits for detection

- avoiding backaction with double sideband detectors,
- generating a squeezed state,
- going beyond the standard quantum limit using squeezing.

Code: PHYS-M2-A25-S2

Stage ICFP

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 18

Responsable : Gérald Bastard

Autres enseignants :

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

Sujets avancés en mécanique statistique

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Hendrik Hilhorst

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-A27-S2

Supraconductivité

Niveau : M2

Semestre: S2, ECTS : 3

Responsable: Roland Combescot

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Cours d'introduction à la supraconductivité, où une couverture assez large du domaine est recherchée, tout en restant précis sur tous les points essentiels.

Code: PHYS-M2-A28-S2

Symétries brisées et transitions de phase quantiques

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Philippe Lecheminant

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

L'objectif de ce cours est d'introduire les techniques du problème à N corps, dans le formalisme de l'intégrale fonctionnelle, et leurs applications dans le domaine de la matière condensée et de la physique des gaz atomiques ultrafroids. On étudiera en particulier le phénomène de brisure spontanée de symétrie (magnétisme, superfluidité et supraconductivité) et les transitions de phase quantiques (antiferromagnétisme quantique, transition suprafluide-isolant de Mott, etc.). Pré-requis : Une bonne connaissance de la seconde quantification est demandée et des notions sur la théorie de Landau des transitions de phase sont souhaitables.

Plan du cours

Chapitre 1 : Approche fonctionnelle pour le problème à N corps

- États cohérents (bosons/fermions)
- Intégrales fonctionnelles

Chapitre 2 : Brisure spontanée de symétrie (magnétisme, superfluidité et supraconductivité)

- Notions générales sur la brisure spontanée de symétrie
- Brisure spontanée d'une symétrie globale continue
- Superfluidité et supraconductivité

Chapitre 3 : Transitions de phase quantiques

- Rappels sur les transitions de phase et les phénomènes critiques
- Transitions de phase à température nulle, effet de la température
- Exemples de transitions de phase quantiques

Code: PHYS-M2-A29-S2

Théorie des cordes

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Michela Petrini

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

- Cordes classiques ouvertes et fermées (Action de Nambu, action de Polyakov, développement en modes propres, conditions de bords, contraintes de Virasoro)
- Quantification des cordes bosoniques (quantification covariante, jauge du cône de lumière, quantification BRST, dimension critique)
- Notions de base de théorie conforme bidimensionnelle (quantification radiale, opérateur énergie-impulsion, algèbre de Virasoro, charge centrale, boson compact libre, fermion libre, fonction de partition)
- Opérateurs de vertex et amplitudes de diffusion (amplitude de diffusion à l'ordre des arbres, énergie du vide à une boucle, finitude ultraviolette)
- Champs de fond non-triviaux (modèle de sigma non-linéaire, fonctions beta, théorie effective à basse énergie)

- Supersymétrie et supercordes (projection, GSO, cordes de type IIA,IIB, type I et cordes hétérotiques)
- Compactification (copactification toroïdale, états de Kaluza-Klein, orbifolds, variétés Ricci-plates)
- D-branes (Définition, action de volume d'univers, interactions, solutions classiques)
- Dualités (Etats BPS, théorèmes de non-renormalisation, instantons, équivalences entre théories de supercordes et supergravité a onze dimensions.)

Code: PHYS-M2-A30-S2

Théories de jauge des interactions électrofaibles

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Pierre Binetruy

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Description à venir

Code: PHYS-M2-A31-S2

Turbulence (CFP)

Niveau : M2

Semestre : S2, ECTS : 3

Responsable : Marc-Etienne Brachet

Autres enseignants :

Type d'enseignement : *cours/TD*

Volume horaire : 16h cours/16h TD

Loi de Kolmogorov, fonctions de structures, intermittence inertielle et dissipative. Structures cohérentes et champ de pression. Filamentation. Simulations numériques. Dynamique de la vorticité.

Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société - Environmental Research and Teaching Institute CERES-ERTI

Site Web: <http://www.environnement.ens.fr/>

Adresse : 24 rue Lhomond, 75005 Paris



Le changement climatique et ses conséquences, la déforestation et la réduction de la biodiversité, la désertification ou, de façon plus générale, l'anthropisation croissante de la surface des continents et le développement de pollutions à grande échelle 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, 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-ERTI a donc pour vocation de :

1. Fournir et coordonner un **enseignement pluridisciplinaire** de haut niveau sur l'environnement
2. De développer une **recherche originale et pluridisciplinaire**, inspirée par les acquis de la théorie des systèmes dynamiques et complexes et s'appuyant sur les disciplines présentes à l'ENS

L'enseignement du CERES

Le CERES propose les enseignements suivants :

- **Ateliers pluridisciplinaires** (4 ECTS) : 4 UE indépendantes 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.
- **Projet individuel** encadré par un enseignant du CERES ; recherche bibliographique et rédaction d'un rapport ou article ; ou stage de recherche au sein du CERES. Les projets individuels ont lieu pendant tout un semestre.
- **Stage** effectué à l'extérieur du CERES (laboratoire de recherche ou administration), co-encadré par le CERES.
- **Cours complémentaires** en collaboration avec les départements de Géographie et des Géosciences.

Les enseignements sont ouverts à tous les étudiants de l'ENS, de tous les départements, scientifiques ou littéraires.

Les élèves intéressés peuvent valider une **mineure Environnement** (≥24 ECTS) en complétant les ECTS acquis lors des ateliers par un projet individuel, un stage et/ou des UE en environnement des autres départements.

Les « ateliers pluridisciplinaires » du CERES

Les sujets abordés par les quatre ateliers changent chaque année mais sont liés à des thèmes récurrents qui sont :

- « 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 tel 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.
- « Gouvernance de l'environnement ». Appréhender les liens entre environnement et aménagement des territoires.
- « 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.

Contact

David Claessen (directeur des études du CERES) tel : 01 44 32 27 21, david.claessen@ens.fr
Ionela Tranca (secrétariat) tel : 01 44 32 27 20, ionela.tranca@ens.fr

LES ENSEIGNEMENTS

Une « retraite » sur le site de Foljuif est organisée par le CERES en début d'année universitaire pour les élèves intéressés par les questions d'environnement. Durant deux jours se succèdent exposés et discussions dans une atmosphère conviviale. Le domaine de Foljuif est un centre d'enseignement et de recherche de l'ENS, située en lisière de forêt près de Nemours. Il abrite des expérimentations de terrain en écologie et héberge de nombreux stages et séminaires.

Code: CERES-AA-01-S1

Modélisation de systèmes complexes en environnement

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : CLAESSEN David

Autres enseignants : GHIL Michael

Type d'enseignement : *cours, projet*

Volume horaire : 40h

Horaire : Jeudi 12h00 à 14h00 (S1). Salle : salle de cours du CERES (24 rue Lhomond).

Objectifs pédagogique : notions de bases de la modélisation de systèmes dynamiques et de systèmes complexes ; application à un problème environnemental : exploitation des ressources

vivantes et renouvelables. Mots clés : comportement émergent, agents interactifs, adaptation, coopération, « *the edge of chaos* », « *the tragedy of the commons* »,
Deux cours théoriques aborderont la théorie des systèmes complexes et des dynamiques et des bifurcations. 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-03-S1

Pollution atmosphérique

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : LOÏE Marie-Dominique

Autres enseignants : KERGOMARD Claude

Type d'enseignement : Cours et conférences + projet en groupes de 2 ou 3 étudiants

Validation : rapport écrit et soutenance orale

Volume horaire : 40h.

Horaire : le mardi de 17h30 à 19h30

Lieu : salle de cours du CERES

Objectif pédagogique. Pollution atmosphérique/qualité de l'air : les deux termes s'appliquent à la même 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. Les thèmes abordés seront donc : les processus physico-chimiques de la pollution atmosphérique ; les outils de mesure et inventaires des sources de pollution ; le risque sanitaire ; la gestion territorialisée de la qualité de l'air ; les choix économiques et sociaux associés au risque.

Code: CERES-AA-02-S2

Les changements climatiques et Paris Climat 2015

Niveau : AA

Semestre : S1, ECTS : 4

Responsable : Denis-Didier ROUSSEAU

Autres enseignants : Michael GHIL, Claude KERGOMARD

Type d'enseignement : cours, conférences, projet

Volume horaire : 40h

Horaire : Mardi 17h30 à 19h30.

Lieu : salle de cours du CERES

Objectif pédagogique. Tempêtes, canicules, tsunamis ... vivons-nous désormais dans une planète à haut risque ? Qu'en est-il du climat, cette ressource principale de toute vie sur Terre ? Qu'est-ce que le changement climatique ? Quelles en sont les causes et les conséquences ? Quelles sont les certitudes et les incertitudes scientifiques auxquelles nous sommes confrontés dans ce domaine ? Où est le débat, sur la science du climat ou sur les enjeux sociétaux ? À quoi devons nous nous attendre pour les décennies à venir, en termes d'impacts du changement climatique prévus au Nord comme au Sud ? Comment devons-nous agir, selon quelles temporalités, à quels niveaux (individuel, local, national, planétaire) ? Quels sont les outils scientifiques, économiques, politiques, philosophiques à notre disposition et ceux qui restent à inventer ? Les enjeux de Paris Climat 2015 (COP21).

Code: CERES-AA-04-S2

Sujet à confirmer

Niveau : AA

Semestre : S2, ECTS : 4

Responsable : ATER du CERES

Autres enseignants : (à confirmer)

Type d'enseignement : (*cours /TD, stage type de projet, exposé, séminaire, groupe de travail, etc.*)

Volume horaire : 40h

Le contenu de cette UE sera défini à la rentrée 2013. Les informations seront en ligne sur le site web du CERES, <http://www.environnement.ens.fr/enseignement/ateliers-les-ue/>

Code: CERES-AA-ST2-A

Projet individuel

Niveau : AA

Semestre: S1 ou S2, ECTS: 4

Responsable : David Claessen

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 (par exemple de la modélisation ou analyse de données). 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: 4

Responsable : David Claessen

Autres enseignants :

Type d'enseignement : stage

Volume horaire : l'équivalent d'un mois en temps plein

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/>

Des **cours complémentaires** en collaboration avec les départements de Géographie et des Géosciences et avec les institutions de PSL, peuvent également être validés dans le cadre de la Mineure environnement au sein du Diplôme de l'ENS. Il s'agit des cours suivants :

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 d'autre « pomme » (petit œuvre multimédia) sur une question environnementale. Le cours prend forme de 3 x 3 jours complets et intensifs (hébergé à Fontainebleau ou ailleurs), repartitionnées sur le S1. Le cours inclus : des formations d'initiation à la création de « pommes », 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.

Les grands débats de l'environnement

- (S1), 12 x 2h, responsable Magali Reghezza, Géographie

Géopolitique de l'environnement

- (S1) responsable Magali Reghezza, Géographie

Biogéochimie

- (S1, 3 ECTS) responsable Pierre Barré, Géosciences, lundi 17h30-19h30

Sols: biologie, géologie et interaction entre vivant et minéral: conséquences pour notre avenir

- (S1, 3 ECTS) responsable Bruce Velde, Géosciences

Enseignements, Activités d'ouverture

Au théâtre ce soir

Responsable : Laetitia Dumont-Lewi

Semestre : S1

Crédits : 3 ECTS

Ce cours d'introduction à l'analyse de spectacles propose aux étudiants non spécialistes une série de six spectacles choisis dans la programmation de divers théâtres parisiens. Un jeudi sur deux, nous irons voir un spectacle (théâtre, danse, cirque) sur lequel nous réfléchirons ensemble le jeudi suivant. La liste des spectacles sera donnée à la rentrée et sur le site du DHTA.

Horaire : Le jeudi de 18h à 20h, par quinzaine ; les semaines sans cours seront consacrées à des sorties au théâtre.

Premier cours/présentation du programme et inscriptions : jeudi 25 septembre

Validation : assiduité aux spectacles et au cours, intervention orale ou devoir écrit.

CONTACTS UTILES

Direction des études :

Directeur des études Sciences :
Christian Lorenzi
christian.lorenzi@ens.fr
01 44 32 31 13

Directrice des études Lettres
Françoise Zamour
francoise.zamour@ens.fr
01 44 32 32 31

Directeurs des études des départements scientifiques

Biologie	Stéphane LE CROM	stephane.lecrom@ens.fr	01 44 32 23 72
Chimie	Jean-Bernard BAUDIN	jean-bernard.baudin@ens.fr	01 44 32 35 09
Études cognitives	Benjamin SPECTOR	benjamin.spector@ens.fr	01 44 32 26 63
Géosciences	Jean-Philippe DUVEL	jean-philippe.duvel@ens.fr	01 44 32 22 37
Informatique	Marc POUZET	Marc.pouzet@ens.fr	01 44 32 21 66
Mathématiques	Claude VITERBO	claud.viterbo@ens.fr	01 44 32 20 87
Physique	Jean-François Allemand	jean-francois.allemand@ens.fr	01 44 32 35 95

CERES David Claessen davis.claessen@ens.fr 01 44 32 27 24

Service des Admissions et des études : sae@ens.fr
Accueil 01 44 32 31 08

Site Web de l'École normale supérieure : <http://www.ens.fr/>

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)