Catalogue des cours sélectionnés

1 : MAP311 Aléatoire
2 : MAP431 Analyse numérique et optimisation
3 : MAP432 Chaînes de Markov et martingales en temps discrets
4 : MAP433 Introduction aux méthodes statistiques
5 : MAP441 Modal de Mathématiques Appliquées
6 : MAP411 Modélisation mathématique
7 : MAP641M4S A course on homogeneization
8 : MAP681 Analyse théorique et numérique des systèmes hyperboliques de lois de conservation
9 : MAP553 Apprentissage statistique et estimation non paramétrique
10 : MAP568 Asset Pricing in the Derivatives Market
11 : MAP593 Automatique et Recherche Opérationnelle
12 : MAP554 Communication Networks, Algorithms and Probability
13 : MAP561 Control : Basic Concepts and Applications in Mechanics
14 : MAP582 Création de Start-Up Technologique
15 : MAP572 Electromagnétisme et Acoustique dans l'industrie aéronautique et automobile : de la modélisation au calcul haute performance
16 : EXT602M ENSIMAG : présentation
17 : MAT561 Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides
18 : MAP591 Image et signal
19 : MAP000 L'enseignement des Mathématiques Appliquées
20 : MAP300 Les bases des Mathématiques Appliquées
21 : MAP601G M2 : Mathématiques, vision, apprentissage
22 : MAP601A M2 Equations aux dérivées partielles et analyse numérique
23 : MAP595 Mathématiques financières
24 : MAP564 Méthodes de Monte-Carlo et processus stochastiques: du linéaire au non-linéaire
25 : MAP683 Méthodes de potentiels retardés pour les ondes acoustiques et électromagnétiques
26 : MAP682 Méthodes mathématiques pour les problèmes inverses
27 : MAP563 Modèles aléatoires en Ecologie et Evolution
28 : MAP552 Modèles stochastiques en finance
29 : MAP592 Modélisation et calcul scientifique
30 : MAP556 Modélisation mathématique pour l'écologie, l'environnement et l'économie
31 : MAP594 Modélisation probabiliste et statistique
32 : MAP562 Optimal Design of Structures
33 : MAP583 Outils mathématiques et simulations numériques pour la mécanique quantique
34 : MAP590 Présentation des options de Mathématiques appliquées
35 : MAP551 Probability Theory for Financial Economics
36 : MAP500 Programme d'Approfondissement de Mathématiques Appliquées
37 : MAP573 Projet en Ecologie Statistique
38 : MAP571 Projet Personnel de Mathématiques Appliquées
39 : MAP581 Projet personnel de Mathématiques Appliquées

40 : MAP587 Projets de modélisation en écologie, environnement et climat
41 : MAP600 Quatrième année
42 : MAP557 Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications
43 : MAP555 Signal Processing
44 : MAP565 Times Series Analysis
45 : MAP567 Transport et diffusion
46 : MAP559 Variational Methods for Computational Fluid Dynamics

MAP311 Aléatoire

Ce cours introduit les notions de base de la théorie des probabilités, c'est-à-dire l'analyse mathématique de phénomènes dans lesquels le hasard intervient. Il insistera en particulier sur les deux notions majeures qui sont les fondements de cette théorie: le conditionnement et la loi des grands nombres. L'enseignement a pour objectif l'acquisition du raisonnement probabiliste et l'apprentissage de la modélisation probabiliste et de la simulation. Cette modélisation est fondamentale dans de nombreux domaines d'applications. Le cours est illustré par de nombreux exemples concrets et des expérimentations numériques. Il offre aussi une petite ouverture statistique.

Pendant cet enseignement, les élèves réaliseront un projet de simulation en binôme qui sera pris en compte pour la note du module.

Contenu :
1 - Espace de probabilité - Expérience et événement aléatoires - Probabilité sur un espace fini - modèles d'urnes - Tribu - Probabilité sur un espace dénombrable - Conditionnement et indépendance.

2 - Espace fini ou dénombrable - Variable aléatoire - Espérance et variance - Lois usuelles (binomiale, Poisson) - Lois conditionnelles et indépendance.

3 - Variables aléatoires réelles et vecteurs aléatoires - Loi d'une variable aléatoire réelle - Simulation - Moments - Densité de probabilité - Lois usuelles (exponentielle, normale) - Vecteurs aléatoires - Calcul de lois - Simulation par méthode du rejet.

4 - Convergence de suites de variables aléatoires - Loi des grands nombres - Méthode de Monte-Carlo.

5 - Fonction caractéristique - Vecteurs gaussiens - Convergence en loi - Théorème de la limite centrale - Intervalles de confiance.

6 - Modèles dynamiques aléatoires - Marche aléatoire simple - Processus de branchement - Files d'attente - Quelques mots sur les suites récurrentes aléatoires discrètes.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 28
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : vendredi 17 mai 2013

MAP431 Analyse numérique et optimisation

Les mathématiques appliquées ont une triple vocation de modélisation des problèmes scientifiques ou industriels, d'analyse mathématique, et de résolution numérique de ces problèmes. L'objectif de cet enseignement est de présenter les outils nécessaires d'analyse numérique et d'optimisation pour atteindre ce triple but. L'enseignement combinera des concepts mathématiques théoriques et une mise en oeuvre

pratique (à l'aide des logiciels Scilab et FreeFem ++) sur des exemples d'applications concrètes.
La note de module prendra en compte un mini-projet de simulation numérique et un devoir "à la maison" en plus des habituels contrôles écrits.
Ce cours est particulièrement recommandé aux élèves qui comptent s'intéresser aux aspects de simulation numérique dans les sciences de l'ingénieur.

1) Modélisation simple de phénomènes stationnaires et instationnaires issus de la physique, mécanique, chimie, finance, etc. Simulation numérique par différences finies. Stabilité, consistance, et convergence des schémas numériques.

2) Analyse mathématique des équations aux dérivées partielles issues de la modélisation. Formulations variationnelles, lemme de Lax-Milgram, espaces d'énergie (espaces de Sobolev), solutions faibles. Propriétés qualitatives des solutions : principe du maximum, régularité, etc. Fonctions propres et valeurs propres, résolution des problèmes instationnaires (paraboliques ou hyperboliques).

3) Résolution numérique des équations aux dérivées partielles. Méthode des éléments finis. Schémas explicite ou implicite en temps. Résolution de systèmes linéaires, calcul de valeurs propres. Mise en oeuvre pratique sur ordinateur.

4) Optimisation en dimension finie ou infinie. Minimisation sous contraintes. Conditions d'optimalité, multiplicateurs de Lagrange. Convexité, dualité. Algorithmes de type gradient.

5) Programmation linéaire. Algorithme du simplexe, polyèdres entiers.

Référence bibliographique :
Analyse Numérique et Optimisation par Grégoire Allaire (2005)
Fiche détaillée Ouvrage disponible auprès des Editions de l'Ecole Polytechnique.

Niveau requis
Pour les élèves ayant effectué leurs études en France : aucun autre prérequis que le niveau de connaissances acquis en classes préparatoires ou en premier cycle universitaire.

Pour les autres élèves : algèbre linéaire, calcul différentiel, équations différentielles ordinaires.

Modalités d'évaluation
Un contrôle hors classement de 2 heures à mi-parcours.
Un devoir "maison".
Un mini-projet de simulation numérique.
Un contrôle classant de 4 heures en fin de cycle.
Une évaluation de la présence et du travail fourni en Petite Classe.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 72
Crédits ECTS : 10
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP432 Chaînes de Markov et martingales en temps discrets

Le temps est un paramètre important dans les problèmes qui concernent les ingénieurs : fiabilité des systèmes, files d'attente, évolution des systèmes biologiques, économiques etc. Il est aussi un élément essentiel du choix de décision "optimal".
Lorsque le système dynamique étudié est aléatoire, la distinction du "passé" (connu) et du futur à "estimer " est à la base de la théorie des processus de Markov et des martingales.

Plusieurs questions naturelles se posent dans la modélisation de ces phénomènes : l'existence de situation d'équilibre, la simulation des phénomènes, l'estimation des paramètres du modèle...

Récemment ces processus ont été utilisés dans la résolution de problèmes déterministes tels que la recherche du minimum d'une fonction et autres algorithmes stochastiques. Le choix optimal de la date de prise de décision ouvre le champ des problèmes de contrôle stochastique et de leurs applications aux Mathématiques financières.

Contenu:

1 -Rappels de théorie de la mesure et de théorie des probabilités.

2 - Espérance conditionnelle. Application au filtre de Kalman-Bucy. Temps d'arrêt et information.

3 - Chaînes de Markov : premières définitions, problème de Dirichlet. Excursions indépendantes.

4 - Loi invariante : existence en espace d'état fini, classification des états, récurrence positive et existence de loi invariante en espace d'état dénombrable.

5 - Théorème ergodique, théorème central limite, convergence des lois marginales. Applications (PageRank de Google, algorithmes stochastiques de Hasting Metropolis, Recuit simulé).

6 - Martingales et temps d'arrêt. Décomposition des surmartingales. Inégalités de Doob. Martingales fermées.

7 - Convergence des martingales. Applications à l'algorithme stochastique de Robins-Monroe. Dynamique des populations et processus de Galton-Watson.

8 - Arrêt optimal. Enveloppe de Snell en horizon fini, puis infini. Problème de la secrétaire. Application à la finance.

9 - Applications en biologie et en mécanique statistique.

Référence bibliographique :
Chaînes de Markov et martingales en temps discrets, Nizar Touzi (2009)

Niveau requis
Bonne connaissance du cours de tronc commun MAP311.

Modalités d'évaluation

Un contrôle classant à la fin du cours. Une évaluation de présence et du travail fourni en Petite Classe.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP433 Introduction aux méthodes statistiques

Cet enseignement a trois objectifs. Le premier objectif est de fournir les outils de statistique mathématique permettant de mettre en oeuvre toutes les étapes de la modélisation d'un phénomène concret depuis le choix du modèle probabiliste jusqu'à son estimation et son évaluation. Le deuxième objectif est de décrire, dans le cours et dans les petites classes, des exemples concrets de modélisation dans divers domaines (traitement du signal, économétrie, sciences de l'environnement, etc.). Le troisième objectif est de transmettre, notamment à travers le projet (facultatif), un savoir-faire pratique fondé à la fois sur la maîtrise des outils théoriques et sur leurs applications à partir d'un logiciel informatique comme Scilab.

Programme prévisionnel (en 9 séances de 1h30 chacune)

1. Echantillonnage, fonction de réparition empirique et intervalles de confiance. Test de Kolmogorov-Smirnov. Le point de vue asymptotique et non-asymptotique.

2. Modélisation et expérience statistique. Paramétrisation.

3. Méthodes d'estimation classique en densité et régression paramétrique : substitution, M-estimation, maximum de vraisemblance, modèle linéaire et moindres carrés. Propriétés asymptotiques.

4. Théorie asymptotique paramétrique pour l'estimation. Notion d'efficacité asymptotique et ses limites.

5. Décision statistique et tests. Points de vue non-asymptotique, Neyman-Pearson, p-valeur et lien avec les intervalles de confiance.

6. Tests aymptotiques. Convergence d'un test, vitesse de séparation des hypothèses.
Tests d'adéquations à un modèle paramétrique, test du Chi-deux.

Modalités d'évaluation
Contrôle de connaissances (écrit) et mini-projet facultatif (en binôme)

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP441 Modal de Mathématiques Appliquées

Initiation à plusieurs domaines des Mathématiques Appliquées par la démarche expérimentale

Il s'agit de mettre en œuvre les outils mathématiques acquis par les élèves et de les initier à la démarche de modélisation de phénomènes réels par des méthodes numériques.
Chaque parcours repose sur des méthodes mathématiques différentes et des connaissances préalables spécifiques. Après trois ou quatre séances de cours complémentaires, les élèves, répartis en binômes, passeront aux travaux pratiques encadrés. Ils devront mener à bien un projet de modélisation ab initio et rédiger un mémoire détaillé où seront confrontés les résultats numériques obtenus aux phénomènes dont ils auront choisi l'étude.

SEMESTRE 2 - PERIODE 1

Systèmes dynamiques, applications et simulations (SDAS) - Yacine Chitour
Le but de ce module est de présenter certaines problématiques des équations différentielles ordinaires (EDO) par leurs aspects théoriques et numériques.
Dans un premier temps, on étudiera le comportement asymptotique des EDO à travers des applications à la biologie, a la mécanique et a la recherche d'algorithmes numériques pour l'algèbre linéaire.
Dans un deuxième temps, on introduira les systèmes dynamiques contrôlés par une approche géométrique. On appliquera ces concepts à la modélisation du vivant (vision, marche humaine) et de questions macroéconomiques (contrats d'assurance) ainsi qu'à l'étude des systèmes à commutations et satures.
Chaque thème comportera un aspect théorique ainsi qu'une mise en œuvre numérique.

Pré-requis :
Les élèves qui désirent suivre ce parcours doivent impérativement avoir suivi aussi le module MAT431 sur les systèmes dynamiques.

SEMESTRE 2 - PERIODE 2

Simulation numérique aléatoire (SNA) - Emmanuel Gobet
Les modèles aléatoires sont devenus incontournables tant d'un point de vue théorique que pratique. Les applications concernent la physique, la biologie, la finance et les sciences de l'ingénieur.
Après quelques séances sur les techniques de simulation aléatoire, nous approfondirons les méthodes pour l'analyse des évènements rares. Des projets de modélisation et simulation seront proposés, en lien par exemple avec la dynamique des populations, les risques en finance ou la sureté aérienne.
Notons qu'il est envisageable de former des binômes ``à cheval'' sur les parcours SNE et SNA (par exemple, certaines techniques de résolution d'équations aux dérivées partielles reposent sur des méthodes probabilistes).

Pré-requis :
Les élèves qui désirent suivre ce parcours doivent impérativement avoir suivi soit le module MAP432, soit le module MAP433.

Simulation Numérique d'Equations aux Dérivées Partielles (SNE) - François Alouges
Un grand nombre de phénomènes physiques et biologiques sont couramment modélisés par des équations

aux dérivées partielles (par exemple pour les écoulements fluides ou fluide-particules, les solides déformables, les propagations d'ondes, etc.). L'objectif de ce parcours est de mettre concrètement en œuvre, sur des exemples de tels problèmes, une démarche de modélisation et de résolution numérique.

Pré-requis :
Les élèves qui désirent suivre ce parcours doivent impérativement suivre aussi le module MAP431

Modalités d'évaluation
Rapport écrit et soutenance orale

Responsable : Yacine CHITOUR
Période : Printemps
Nombre d'heures : 54
Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : vendredi 22 février 2013

MAP411 Modélisation mathématique

L'objectif de cet enseignement est de donner une présentation des mathématiques appliquées plus centrée sur la modélisation et la résolution numérique de problèmes scientifiques ou industriels, et moins sur l'analyse mathématique. Les applications illustrant ce cours porteront aussi sur l'optimisation et la commande des systèmes.

1. Modélisation simple de phénomènes stationnaires et instationnaires issus de la physique, mécanique, chimie, finance, etc. Problèmes d'identification de paramètres, de commande de systèmes distribués.

2. Simulation numérique uni-dimensionnelle par différences finies.

3. Stabilisation et commande par feedback. Commande optimale. Optimisation. Conditions d'optimalité, multiplicateurs de Lagrange, algorithmes.

Niveau requis
Ce cours est accessible sans pré-requis mathématiques en particulier il n'est pas nécessaire d'avoir suivi des cours de la formation MAT / MAP autre que le tronc commun.

Modalités d'évaluation
Un contrôle de connaissances d'une heure trente basé sur des questions de cours. En complément, vous aurez un mini-projet à faire en binôme qui vous permettra d'approfondir et d'appliquer les notions de ce cours. La validation du mini-projet se fera par la remise d'un court rapport (5 à 6 pages accompagnées des codes de vos expériences numériques) suivi d'une soutenance de 15 minutes. Lors de la soutenance, il vous sera demandé d'exécuter vos programmes.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36

Crédits ECTS : 5
Dernière mise à jour : mardi 19 février 2013

MAP641M4S A course on homogeneization

This course is an introduction to homogenization theory with a view on multiscale modelling and numerical simulation. Mathematically, homogenization can be defined as a theory for averaging partial differential equations. It has many potential applications, including the derivation of effective properties for heterogeneous media, the rigorous definition of composite materials, the macroscopic modelling of microscopic systems and the design of multiscale numerical algorithms. We shall illustrate these issues by considering various examples from continuum mechanics, physics or porous media engineering.

We first deal with the homogenization of periodic structures by the method of two-scale asymptotic expansions which will be rigorously justified by the notion of two-scale convergence. We shall discuss issues related to correctors, boundary layers, error estimates as well as some generalizations to the non-periodic case. We then use this periodic homogenization theory as a modelling tool for deriving macroscopic models for heterogeneous media. Finally we introduce so-called multiscale finite element methods for performing numerical homogenization.

Responsable : Grégoire ALLAIRE
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 24
Crédits ECTS : 3
Dernière mise à jour : mardi 07 février 2012

. Analyse théorique et numérique des systèmes hyperboliques de lois de conse

Ce cours est consacré aux systèmes hyperboliques de lois de conservation dont l'exemple le plus représentatif (qui sera traité en détail dans le cours) est celui des équations de la dynamique des gaz. Le cours développera à la fois des aspects théoriques et numériques. Chaque séance comprendra une partie théorique et une partie numérique. Le plan du cours est donc double et sera suivi en parallèle.

1. Introduction à l'analyse théorique: lois de conservation et équations aux dérivées partielles du 1er ordre, exemples et motivation physique, hyperbolicité des systèmes, explosion en temps finie des solutions régulières, notion de solutions faibles, condition de saut de Rankine-Hugoniot, chocs et détentes, condition d'entropie.
2. Analyse théorique des équations scalaires : existence et unicité, théorème de Kruzkov, problème de Riemann

3. Analyse théorique des systèmes hyperboliques : entropie, symétrisation, systèmes linéaires à coefficients constants, définition des types d'ondes, champs vraiment non linéaire et linéairement dégénéré, critère de Lax, problème de Riemann.
4. Dynamique des gaz : entropie et thermodynamique, modèle isentropique, formulation lagrangienne, résolution du problème de Riemann.

1. Introduction à l'analyse numérique : méthodes de différences finies, stabilité, consistance et précision des schémas, schémas conservatifs, théorème de Lax-Wendroff.
2. Schémas numériques pour les équations scalaires : méthode de Godunov en 1-D, schémas monotones et entropiques, schémas TVD d'ordre 2, méthode de Van Leer.
3. Schémas numériques 1-D pour les systèmes : schémas centrés, à décomposition de flux, de type Godunov avec solveur exact ou approché du problème de Riemann, schéma de Roe, ordre 2 et méthode de Van Leer.
4. Volumes finis multi-dimensionnels : définition et implémentation numérique, traitement des termes sources, implicitation en temps, termes diffusifs, conditions aux limites.

Période : Automne
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP553 Apprentissage statistique et estimation non paramétrique

Le traitement statistique des données multidimensionnelles, en particulier, des données en très grande dimension est maintenant un enjeu important dans plusieurs domaines, tels que la technologie de l'information, la biostatistique, le marketing, la finance. La Théorie de l'Apprentissage Statistique offre des méthodes efficaces qui sont aujourd'hui couramment appliquées dans la pratique pour le traitement de ce genre de données. Elle utilise plusieurs idées de la théorie d'Estimation Non-paramétrique qui traite de l'estimation d'une fonction inconnue appartenant à une large classe fonctionnelle. Le but de ce cours est de donner une introduction mathématique à la Théorie de l'apprentissage statistique et à l'Estimation Non-paramétrique.
Nous allons également présenter quelques algorithmes principaux de réalisation.

PROGRAMME :

Analyse en composantes principales
Initiation à l'estimation non-paramétrique de densité et de régression
Classification
Minimisation du risque empirique. Inégalités de concentration. Processus
Empiriques, complexité. Théorie de Vapnik-Chervonenkis
Algorithmes efficaces. Support Vector Machines et Boosting
Overtting et régularisation. Méthodes pénalisées. Réduction de dimension et sélection de variables. Parcimonie

Modalités d'évaluation
Examen final et projet

Responsable : Alexandre TSYBAKOV
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP568 Asset Pricing in the Derivatives Market

Derivative products are an important way for the investors to protect themselves against market risks in the future. The stochastic calculus has enabled the development of this industry. In this course, we will describe the financial products and the methods used by the market to price and hedge them. First, we explain the main concepts of option pricing in the simple framework of discrete-time financial markets and finite probability spaces. Next, after introducing the necessary tools of stochastic calculus, we review the Black-Scholes option pricing theory and the basics of optimal asset allocation in continuous time.

List of topics :
1. Discrete-time financial markets: no-arbitrage, market completeness; optimal portfolio choice.
2. The Cox-Ross-Rubinstein model (binomial tree) and its continuous-time limit.
3. Brownian motion, stochastic integration with respect to Brownian motion and Itô's formula.
4. Continuous-time financial markets and the Black-Scholes model.
5. Optimal asset allocation in continuous-time financial markets; Merton's portfolio problem.

References:
Peter Tankov, Nizar Touzi, "No-arbitrage theory for derivatives pricing", poly Ecole Polytechnique
Darrel Duffie, "Dynamic asset pricing theory", Princeton University Press (2001)

Only for PA QEF students

Modalités d'évaluation
Un examen écrit.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 22 avril 2013

MAP593 Automatique et Recherche Opérationnelle

Coordinateur d'option :
François Alouges
Mail: francois.alouges@polytechnique.edu

Responsables de l'option:
Frédéric Bonnans
Mail: frederic.bonnans@polytechnique.edu

Yacine Chitour
Mail: chitour@cmap.polytechnique.fr

Stéphane Gaubert
Mail: stephane.gaubert@inria.fr

Secrétariat du Département de Mathématiques Appliquées
Tél: 01 69 33 46 01.
Fax: 01 69 33 46 46.
Mail: departement@cmapx.polytechnique.fr

Cette option regroupe deux disciplines complémentaires : l'automatique, art de la commande de systèmes dynamiques, et la recherche opérationnelle, qui met en œuvre les techniques d'optimisation continue et discrète. Ces deux secteurs connaissent une demande soutenue.
L'automatique (Frédéric Bonnans et Yacine Chitour) est très utilisée depuis longtemps en aéronautique et dans les processus de production (chimie, cimenteries, laminage, biotechnologies). Avec l'invasion de l'électronique elle devient un élément-clé dans de nouveaux secteurs comme l'automobile. Elle intervient aussi dans la commande de grands systèmes.
La recherche opérationnelle (Frédéric Bonnans et Stéphane Gaubert) est la technique fondamentale de résolution des problèmes de gestion complexes : plans de production, horaires de transport, affectation de moyens, conception de réseaux, investissements.
Ces deux disciplines sont présentes dans les grandes entreprises mais aussi dans de petites sociétés. Elles occupent une place importante dans les universités françaises comme étrangères.

Stage d'avril à juillet :
L'option "Automatique et Recherche Opérationnelle" est conçue pour des élèves qui cherchent une formation dans cette spécialité, soit pour aborder un problème industriel, soit pour s'initier à la recherche et ce, quel que soit le choix ultérieur de leur carrière. Pour les élèves très motivés qui veulent s'expatrier durant leur stage d'option, il est possible de trouver des sujets de stages dans des universités ou des petites sociétés étrangères.

Exemples de stages effectués les années passées :
Automatique :
- Stabilisation de satellites d'astéroïdes
- Commande optimale dans le domaine spatial
- Planification de trajectoires de robots

Recherche opérationnelle :
- Optimisation de réseaux telecom
- Gestion de voies ferrées

- Optimisation de production électrique
- Gestion de réserves de gaz

Organismes d'accueil proposant des stages :
- Laboratoires publics de recherche :
IFREMER, IFP, INRIA, ONERA, Ecoles d'ingénieurs et Universités.

- Grandes entreprises et centres de recherche appliquée :
Air Liquide, Air France, Bouygues, France Telecom, EDF, GDF, SNCF.

- Organismes d'accueil à l'étranger :
Universités américaines (Columbia, San Diego) ou européennes, ainsi que quelques sociétes.

Responsable : Frédéric BONNANS, Stéphane GAUBERT, Yacine CHITOUR
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP554 Communication Networks, Algorithms and Probability

Réseaux de communication, Algorithmes et Probabilités

Les objectifs de ce cours sont :

1) Donner les bases mathématiques nécessaires pour la modélisation probabiliste de modèles discrets que l'on rencontre dans de très nombreux domaines d'application : biologie, réseaux de communication, neurosciences, etc...

2) Introduire par des exemples la notion d'algorithme et ensuite la formalisation mathématique de la notion d'algorithme optimal. La conception d'algorithme est une phase cruciale dans la résolution de problèmes d'ingénierie complexes.

1) et 2) sont deux aspects inséparables : modélisation, conception et ensuite analyse.

3) Présenter un panorama des réseaux actuels et de leurs évolutions les plus récentes : Algorithme de transmission de l'information TCP, algorithmes de partage de ressource, ou encore algorithme de résolution des conflits d'accès. Diffusion et Recherche de l'information dans les réseaux sociaux.

Programme :

1) Processus de Poisson. Modélisation markovienne. Algorithmes de recherche sur le web: Étude de la notion de Pagerank. Application à l'algorithme de Recherche de Google. Problématique des réseaux sociaux.

2) Le problème de l'accès partagé à une ressource commune. Les algorithmes Aloha, Ethernet et le Protocole en arbre. Étude de la stabilité des algorithmes d'accès: critères de stabilité et d'instabilité.

3) Transmission de L'information dans le réseau Internet: Algorithmes et Étude d'un modèle probabiliste. Les phénomènes de dépendance longue dans le réseau Internet. L'architecture générale des réseaux de contenus (Youtube, Facebook, Apple, Amazon, ...).

Référence bibliographique :
Réseaux de communication, algorithmes et probabilités par Philippe Robert (2010)

Ce cours accepte un maximum de 60 élèves

Cours dispensé en anglais

Responsable : Philippe ROBERT
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP561 Control : Basic Concepts and Applications in Mechanics

(Automatique : Concepts généraux et application en ingéniérie)

L'automatique est la science de la commande des systèmes dynamiques. Elle joue un rôle essentiel en aéronautique et espace et dans les processus de production (matériaux et produits finis).
L'introduction de l'électronique fait que son usage se généralise dans l'automobile, la robotique, etc.
L'automatique intervient aussi pour la commande de grands systèmes : pilotage de réseaux de service (gaz, électricité), régulation de niveaux de rivières, gestion durable de populations de poissons.

Le cours commence par quelques exemples pratiques, à travers lesquels les problématiques fondamentales de l'automatique sont mises en évidence, suivis de brefs rappels sur les systèmes dynamiques avec un accent particulier sur les équations différentielles ordinaires, leur stabilité et leur comportement asymptotique. Seront ensuite abordés les concepts de contrôlabilité, stabilisation et observabilité pour les systèmes commandés linéaires, ainsi que leurs caractérisations et leurs conséquences pour la commande des systèmes. On appliquera ces concepts pour la planification de trajectoires.

L'étude des systèmes commandés non linéaires est ensuite brièvement abordée par une rapide introduction au contrôle géométrique non linéaire et son outil de base, le crochet de Lie. Enfin, la dernière partie du cours s'attache à présenter les questions liées à l'optimisation des systèmes dynamiques par les méthodes de commande optimale.
On commencera par la théorie linéaire-quadratique (LQ) avec une application au filtre de Kalman

déterministe
et on poursuivra par la minimisation du temps pour les systèmes commandés linéaires. On terminera par une présentation du Principe du maximum de Pontryaguine (PMP) qui permet d'écrire des conditions d'optimalité et à certaines de ses applications pour des synthèses optimales.

Ce cours accepte un maximum de 80 élèves.

Cours dispensé en anglais

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP582 Création de Start-Up Technologique

L'objectif est de faire découvrir le processus de création et de croissance des start-up technologiques, leur environnement technique, marketing et financier, en lien avec l'innovation et la recherche. Une présentation du monde des start-up sera faite en quelques séances, complétée par des conférences faites par des créateurs de start-up technologiques, des investisseurs et des responsables de valorisation industrielle.

Dans le cadre de cet enseignement d'approfondissement, par groupes de 4, les élèves développeront un projet de création de start-up basé sur une innovation technologique, de préférence lié à leur programme d'approfondissement. Les élèves pourront partir de résultats de recherche des laboratoires de Polytechnique, ou d'idées développées lors d'un projet scientifique, ou de technologies développées par des start-up de l'incubateur de l'X ou d'ailleurs.
Ce projet de start-up sera concrétisé sous la forme d'un business plan, incluant les points essentiels de différentiation et de valorisation par l'innovation technologique, qui sera présenté oralement à un jury d'investisseurs, comme lors d'une recherche de financements. Une méthodologie d'écriture d'un business plan sera présenté aux élèves, mais une place importante est laissée au travail personnel.

Numerus clausus:80

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP572 Electromagnétisme et Acoustique dans l'industrie

aéronautique et automobile : de la modélisation au calcul haute performance

Cours non proposé pour l'année scolaire 2012/2013

Cet enseignement d'approfondissement présente deux méthodes numériques largement diffusées dans le monde industriel pour la résolution des phénomènes de propagation d'ondes, la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis de frontière. Nous en présenterons des applications industrielles comme la réduction du bruit des avions ou des voitures, la Compatibilité Electromagnétique qui permet d'assurer le bon fonctionnement des systèmes électriques embarqués, l'installation des antennes afin d'assurer une bonne couverture et diminuer les effets parasites de couplages entre antennes.

Même si les deux physiques concernées semblent très éloignées l'une de l'autre, une approche commune mathématique et numérique permet de mutualiser les développements numériques et la compréhension des notions clés : causalité et condition de radiation, dispersion numérique, écriture sous forme intégrale des équations...

Le cours est composé de séances magistrales introductives permettant d'aborder la modélisation théorique et numérique, de séances en petits groupes pour analyser le cas simplifié mais très instructif de la dimension 1, des séances pratiques permettant d'utiliser des logiciels industriels dans un contexte tridimensionnel. Un polycopié est disponible rassemblant l'ensemble des résultats utiles.

Des projets de modélisation numérique seront proposés aux élèves consistant en une étude voisine du travail d'un ingénieur d'étude en milieu industriel.

Modalités d'évaluation
Un projet de modélisation numérique et une évaluation de la présence et du travail fourni en séance.

Responsable : Isabelle TERRASSE
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 17 septembre 2012

EXT602M ENSIMAG : présentation

L’Ensimag, École Nationale supérieure d’Informatique et de Mathématiques appliquées, forme des ingénieurs de très haut niveau, généralistes du traitement de l’information et de la modélisation. Tout en s’appuyant sur les technologies les plus récentes, et en donnant aux élèves des méthodologies et un savoir-faire très professionnel, cette formation s’appuie sur des bases théoriques et conceptuelles très solides et complètes, ce qui garantit à ses diplômés une grande faculté d’assimilation des outils et systèmes auxquels ils seront confrontés, et une excellente adaptabilité aux évolutions futures des technologies.

Ecole Nationale d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble
681 rue de la Passerelle Domaine Universitaire BP 72 38402 SAINT MARTIN D'HERES Cedex
http://www.ensimag.fr

Contact administratif et académique :
Prof. Roland Groz
Tél 04 76 82 72 14
Fax 04 76 82 72 87
Roland.Groz@imag.fr

Contact pédagogique :
Directeur des études : Hervé Guiol
Tel 04 76 82 72 78
Fax 04 76 82 72 99
Herve.Guiol@imag.fr

Contact stages en co-tutelle :
Roland Groz

L'établissement / Les grands domaines de compétence :
L'Ensimag, École Nationale supérieure d'Informatique et de Mathématiques appliquées, forme des ingénieurs de haut niveau, généralistes du traitement de l'information et de la modélisation. Tout en s'appuyant sur les technologies les plus récentes, et en donnant aux élèves des méthodologies et un savoir-faire très professionnel, cette formation s'appuie sur des bases théoriques et conceptuelles très solides et complètes, ce qui garantit à ses diplômés une grande faculté d'assimilation des outils et systèmes auxquels ils seront confrontés, et une excellente adaptabilité aux évolutions futures des technologies.

L'Ensimag est située sur le campus de Grenoble, au coeur des Alpes françaises, 2è pôle de recherche français après Paris. L'Ensimag est elle-même au coeur de ce campus, 2ème campus universitaire de France (60000 étudiants), à 15 minutes du centre ville, dans un écrin de verdure et de montagnes.

Les diplômes préparés :
Diplôme d'ingénieur de Grenoble INP Ensimag.
La promotion est d'environ 170 ingénieurs diplômés, auxquels s'ajoutent une quinzaine d'étudiants en double diplôme issus des universités membres du réseau Européen CLUSTER, regroupant les principales universités technologiques formant dans les disciplines d'ingéniérie (KTH, ICL, U. Karlsruhe, U. Darmstadt, UPC, Politecnico di Torino, EPFL...).

Master recherche:
Les étudiants peuvent suivre en parallèle un des masters de recherche (M2R) joints entre l'INP et l'Université Joseph Fourier.

Les débouchés :
La formation complémentaire proposée par l'Ensimag assure une spécialisation qui fait des élèves de véritables professionnels du domaine de l'informatique et des mathématiques appliquées, qui seront en particulier capables d'assurer des taches de recherche et développement avancé au plus haut niveau ; cette formation est orientée vers l'architecture, la conception, la réalisation et la mise en oeuvre d'applications et de grands systèmes informatiques et de télécommunications.

Elle s’appuie sur les connaissances acquises à l’École polytechnique dans le cadre des majeures d’informatique, et leur donne les capacités professionnelles visées de plusieurs façons :

• en complétant le cursus préalable des élèves, pour leur assurer une bonne connaissance de toutes les composantes du domaine qu’il est nécessaire de maîtriser ;

• en assurant une formation méthodologique très poussée, en particulier dans le domaine du développement de gros logiciels ;

• en leur donnant des connaissances précises dans le domaine des sciences de l’entreprise (économie, gestion, droit), et en leur assurant, à travers un stage de 5 mois, une première immersion dans le monde professionnel.

Période : Automne & Printemps
Crédits ECTS : 90
Dernière mise à jour : jeudi 01 mars 2007

quation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux su

Le but de ce cours est de montrer comment l’étude d’un même modèle mathématique peut apporter des informations pertinentes pour des phénomènes aussi variés que la physique de la matière condensée, l’optique non linéaire, la mécanique ou les phénomènes d’invasion biologiques.

Nous introduirons certains outils d’analyse mathématique non linéaire: calcul des variations, analyse spectrale, théorie des perturbations, étude d’ondes progressives, principe du maximum, théorie des fonctions holomorphes. Nous nous intéresserons tout particulièrement au cas des fluides quantiques (condensats de Bose Einstein) pour lesquels nous décrirons quelques expériences récentes portant sur l’observation de tourbillons quantiques.

Le niveau de ce cours est introductif et ne nécessite aucun prérequis particulier. Il est destiné aussi bien à des étudiants venant d’autres disciplines et souhaitant apprendre un peu de mathématiques, qu’à des gens souhaitant compléter leur connaissance des équations aux dérivées partielles, grâce aux nombreuses pistes d’approfondissement qu’ouvre ce cours. Le polycopié a été rédigé en collaboration avec Jean Dalibard (Physique) et Christophe Josserand (Mécanique). Frédéric Chevy interviendra dans ce cours.

Bibliographie
-
Polycopié du cours « Équation de Schrödinger nonlinéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides.

Responsable : Amandine AFTALION

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 23 avril 2013

MAP591 Image et signal

Coordinateur d'option:
François Alouges
Mail: francois.alouges@polytechnique.edu

Directeurs d'option:
Stéphanie Allassonnière
Mail : stephanie.allassonniere@polytechnique.edu

Antonin Chambolle
Mail : antonin.chambolle@polytechnique.edu

Secrétariat du Département de Mathématiques Appliquées
Tél.: 01 69 33 46 01.
Fax : 01 69 33 46 46.
Mail : departement@cmapx.polytechnique.fr

L'analyse et le traitement automatique d'informations contenues dans des signaux ou des images ont des applications considérables. Cette option est dans le sillage du cours MAP555 de Traitement du signal.

Des stages sont offerts en France soit en milieu industriel soit dans des centres de recherche. De nombreux stages sont aussi proposés dans des laboratoires de recherche à l'étranger, notamment, aux Etats-Unis, en Suisse, en Australie, à Singapour et au Brésil. Dans tous les cas, l'objectif est de donner aux élèves l'occasion de compléter leurs connaissances mais surtout de participer à un travail de recherche ou à un développement industriel. Les domaines d'applications sont très variés : imagerie médicale, reconnaissance de la parole, vision par ordinateur, compression, télécommunications... Ces stages comportent tous une partie modélisation et implémentation dont le ratio dépend du stage.

Responsable : Stéphanie ALLASSONNIERE, Antonin CHAMBOLLE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP000 L'enseignement des Mathématiques Appliquées

Décrire des objets ou des problèmes scientifiques complexes et pouvoir penser à des solutions cohérentes nécessite un langage et ce langage c'est les mathématiques. Les mathématiques appliquées apportent des outils de modélisation, d'analyse mathématique et de simulation numérique que l'on retrouve dans toutes les sciences ainsi que dans l'industrie.

Les domaines d'application sont en effet extrêmement divers. Citons, à titre d'exemple : la mécanique des milieux continus, la physique appliquée, les sciences de l'ingénieur, l'analyse des systèmes, le traitement des signaux et des images, les mathématiques financières, l'économétrie, la statistique... Les mathématiques appliquées donnent un accès privilégié au métier d'ingénieur ainsi qu'à ceux de certains secteurs économiques en expansion, comme la banque ou les télécommunications.

Les enseignements de mathématiques appliquées sont présents dans toutes les étapes de la formation des polytechniciens. Outre l'introduction de nouveaux outils mathématiques, dont ceux de l'aléatoire, ce cursus introduit à la modélisation de problèmes complexes ainsi qu'à l'utilisation de méthodes numériques déterministes ou aléatoires.

Par ailleurs, les équipes de recherche du Centre de Mathématiques Appliquées couvrent la plupart des thèmes enseignés et l'interaction étroite avec l'enseignement, notamment au niveau des Masters, offre aux élèves la possibilité de s'initier à la recherche.

Période : Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 12 octobre 2012

MAP300 Les bases des Mathématiques Appliquées

Les enseignements de première et seconde année présentent les domaines de base des mathématiques appliquées qui ont en commun la même démarche de modélisation, d'analyse mathématique et de simulation numérique. Deux grands axes se dégagent. D'un côté le calcul scientifique, l'analyse numérique et l'optimisation, de l'autre l'aléatoire avec ses composantes probabilistes et statistiques.

En première année, le cours Aléatoire (MAP 311) est une initiation aux bases des probabilités destinée à tous, s’appuyant sur la simulation numérique.

En deuxième année, probabilités ou statistiques sont approfondies dans les cours courts MAP432 ou MAP433, l’analyse numérique et l’optimisation, fondamentales dans la modélisation des problèmes scientifiques ou industriels sont étudiées dans le cours long MAP431 et dans le cours court MAP411.

Période : Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 12 octobre 2012

MAP601G M2 : Mathématiques, vision, apprentissage

Ce Master introduit les concepts, modèles, et techniques mathématiques(ou informatiques) de haut niveau applicables à la vision, à la perception, et à l'apprentissage, en focalisant le master sur des domaines de recherche très actifs: la vision artificielle, l'analyse automatique du signal et de l'image, l'émulation des comportements perceptifs ou adaptatifs de l'homme. Cette formation de mathématiques appliquées est directement liée à la modélisation et à l'émulation de l'intelligence humaine, et aux sciences du cerveau. Les cours comportent des travaux expérimentaux sur ordinateur afin d'initier les élèves aux simulations numériques.

Dans le cadre d'applications spécifiques, l'enseignement couvre de nombreux domaines des mathématiques: analyse harmonique, analyse en ondelettes et traitement du signal, méthodes variationnelles et EDP en analyse d'images, champs markoviens et textures, géométrie pour la vision artificielle, théorie de l'information, déformations élastiques et reconnaissance des formes, théorie probabiliste et statistique de l'apprentissage, réseaux neuronaux formels.

Le Master offre de nombreuses débouchés vers l'industrie,les grands laboratoires de recherche franco-européens, ainsi que l'enseignement supérieur en mathématiques appliquées ou en informatique.

Responsable : Stéphanie ALLASSONNIERE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 140
Crédits ECTS : 60
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP601A M2 Equations aux dérivées partielles et analyse numérique

Le parcours Equations aux Dérivées Partielles et Analyse Numérique du Master M2 Mathématiques de la Modélisation est une formation assurée conjointement par l'Université Pierre et Marie Curie (établissement principal) et l'École Polytechnique (avec d'autres établissements partenaires).

Le M2 EDP et Analyse Numérique vise à former :

des ingénieurs mathématiciens de haut niveau maîtrisant tous les aspects du calcul scientifique moderne (depuis la modélisation et l'analyse mathématique jusqu'à la résolution numérique et la mise en oeuvre effective sur ordinateur) et destinés à exercer dans les bureaux d'études industriels ainsi que dans les sociétés de service en calcul scientifique;

des chercheurs en mathématiques appliquées (analyse non linéaire et équations aux dérivées partielles, analyse numérique et informatique scientifique) susceptibles de faire carrière dans l'enseignement supérieur et dans la recherche (Universités, CNRS, CEA, INRIA,...) ou de participer aux programmes de haute technologie de l'industrie.

Responsable : Grégoire ALLAIRE
Période : Automne
Nombre d'heures : 600
Crédits ECTS : 60
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP595 Mathématiques financières

Coordinateur d'option:
François Alouges
Mail: francois.alouges@polytechnique.edu

Responsables d'option:
Stefano De Marco
Mail: stefano.de.marco@cmap.polytechnique.fr

Nizar Touzi
Mail: touzi@cmap.polytechnique.fr

Secrétariat du Département de Mathématiques Appliquées
Tél: 01 69 33 46 01.
Fax: 01 69 33 46 46.
Mail: departement@cmapx.polytechnique.fr

Les stages proposés en Mathématiques financières se passent en général dans les centres de recherche des salles de marché des banques ou d'organismes financiers. Compte-tenu du niveau technique des stages proposés, il est indispensable d'avoir suivi le cours optionnel "Modèles stochastiques en finance" de la troisième année. Les stages à l'étranger se déroulent soit dans la banque, soit dans les centres de recherche académiques.

Ils sont réservés aux élèves particulièrement motivés et ayant fait un EA dans le domaine.

EXEMPLES DE STAGES PROPOSES LES ANNEES PRECEDENTES :

BNP Paribas (Paris)
Estimation historique des paramètres d'un modèle de diffusion par
méthode de Markov Chain Monte Carlo
Calibration du modèle de volatilité locale pour le pricing de variance swap
Modélisation des taux de change
Arbitrage statistique. Filliage par ondelettes
Amélioration des techniques de Monte Carlo américain

BNP Paribas (Londres)
Estimation of gap risk for CPPI

BNP Paribas (Tokyo)
Modélisation de la mortalité pour le pricing de produits d'assurance vie

Société Générale (Paris)
Nettoyage de matrices de covariance
Effets de mémoire longue dans les variations de prix d'instruments financiers
Pricing de produits sur fonds avec contrainte de Gamma. (produits exotiques sur mutual funds)
Valorisation des CDO bespoke
Modélisation de la diffusion des taux d'intérêt pour le risque de contrepartie
Réplication des performances de hedge fonds
Développement de méthodes industrielles pour le pricing, la couverture et l'arbitrage de produits delta one
Diffusion des volatilités des matières premières

Société Générale (New York)
Programmation dynamique et optimisation d'une stratégie de trading avec coûts de transaction

Société Générale (Tokyo)
Influence du différentiel de taux sur le change dans le marché japonais. Analyse de la surface de volatilité implicite.
Etude de l'influence des adjudications sur le marché des obligations japonaises: Valuation d'une option sur future court terme par un modèle probabiliste

Calyon (Paris)
Calcul rapide de volatilités implicites

Dexia (Paris)
Arbitrage sur fonds fermés

Edmond de Rothschild Financial Services (Paris)
Dérivés de crédit et tranches d'indices

HSBC (Paris)
Etude de la construction de la courbe des taux dans les cadres HJM et LMM

Sinopia Asset Management
Optimisation robuste de portefeuille

Lehman Brothers (Londres)
Monte Carlo Methods for pricing and hedging American path dependent options
Optimisation de portefeuille sur produits de crédit

Credit Suisse (Londres)
Geometry in finance

Deutsche Bank (Londres)

Etude du comportement des corrélations et volatilité en différents scenarios de marchés
Calibration de CDO
Management de CLO

Goldman Sachs (Londres)
Modeling of the relationship among asset returns, trading volume and other economic variables
Multi factor Gaussian Markovian Interest rate Model

JPMorganChase (Londres)
VarianceSwap Curve et Options sur VIX

Merrill Lynch (Tokyo)
Estimation de corrélation taux/indice

Merrill Lynch (Hong Kong)
Estimation de la volatilité implicite dans des marchés peu liquides

AXA (Paris)
Etude de garanties financières dans les contrats d'assurance vie
Allocations stratégiques dynamiques d'actifs
Panorama des méthodes de réduction de variance pour le pricing d'options
Mesures de risque de garanties financières en cas de vie

Capital Fund Management (Paris)
Détection des sauts dans les séries de prix

Oddo (Paris)
Modélisation et pricing de dérivés de crédit

Bloomberg (New York)
Pricing and hedging in incomplete markets

Kepler Equities (Paris)
Assurance de portefeuille dans le cas de la volatilité stochastique
Arbitrage de volatilité
Pricing des obligations convertibles

Misys & Summit (Paris)
Pricing d'option américaine multidimensionnelle par Monte Carlo

Sophis (Paris)
Nouvelles méthodes de pricing de dérivées de crédit
Two factor trees study applied to option pricing

Zeliade Systems (Paris)
Modèles d'inflation

Finance Concepts (Paris)

Processus ponctuel et risque de crédit

Stanford University (USA)
Stratégies d'arbitrage optimales en présence de coûts de transaction
et d'impact sur le marché

Princeton University (USA)
Arbitrage free market model for swaption market

INRIA (Sophia Antipolis – Nice)
Problème de contrôle stochastique impulsionnel avec contrainte sur le
délai entre deux sauts

Conseils pour la recherche de stages:
http://www.cmap.polytechnique.fr/~mazari/Options_X2009/stages_finance.pdf

Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

64 Méthodes de Monte-Carlo et processus stochastiques: du linéaire au non-li

Un enjeu fondamental du programme de Mathématiques Appliquées est de modéliser et simuler des systèmes complexes pour comprendre leur comportement qualitatif et quantitatif.

Ce cours introduit des méthodes probabilistes effectives de calcul et de simulation, principalement axées sur les processus à temps continu, avec dynamique linéaire puis non-linéaire ("interactions entre particules"). Un souci permanent est leur validation, leur efficacité numérique et leur illustration dans les situations concrètes, tirées notamment de l’ingénierie financière, l'écologie évolutive, les réseaux de communication, la mécanique des fluides, la physique et la chimie, entre autres… Ces méthodes ont pris une importance déterminante dans des domaines applicatifs stratégiques variés.

Le cours est découpé en trois parties de difficulté progressive.

Partie A : boîte à outils pour la simulation
- Simulation de variables aléatoires: Générateur de nombres pseudo-aléatoires, Simulation de variable aléatoire unidimensionnelle, Méthode de rejet, Simulation d’un vecteur aléatoire.
- Convergences et estimations d’erreur: Loi des grands nombres, Théorème de la limite centrale et conséquences, Autres contrôles asymptotiques, Estimations non-asymptotiques.
- Réduction de variance: Echantillonnage antithétique, Conditionnement et stratification, Variables de contrôle, Echantillonnage préférentiel.

Partie B : simulation de processus linéaires

- Equations différentielles stochastiques et formules de Feynman-Kac: Le mouvement brownien, Intégrale stochastique et formule d'Itô, Equations différentielles stochastiques, Représentations probabilistes des équations aux dérivées partielles et formules de Feynman-Kac, Formules probabilistes pour les gradients.
- Schéma d'Euler pour les équations différentielles stochastiques: Définition et simulation, Convergence au sens fort, Convergence au sens faible, Simulation de processus stoppé.
- Erreur statistique dans la simulation des équations différentielles stochastiques: Analyse asymptotique en nombre de simulations et pas de temps, Analyse non asymptotique de l'erreur statistique du schéma d'Euler, Méthode multi-niveaux, Méthodes de réduction de variance.

Partie C : simulation de processus non-linéaires
- Equations différentielles stochastiques rétrogrades: Exemples, Formules de Feynman-Kac, Discrétisation en temps et équation de programmation dynamique, Autres équations de programmation dynamique, Une autre représentation probabiliste via les processus de branchement.
- Simulation par régression empirique: Les difficultés d'une approche naïve, Approximation d'espérances conditionnelles par méthodes de moindres carrés, Déviations et loi des grands nombres uniformes, Application à la résolution de l'équation de programmation dynamique par régression empirique.
- Particules en interactions et équations non-linéaires au sens de McKean: Heuristiques, Existence et unicité de la diffusion non-linéaire, Convergence du système de diffusions en interaction, propagation du chaos, simulation.

Blog du cours accessible via : http://map564.blogspot.fr

Numerus Clausus : 80 élèves maxi

Niveau requis
MAP 432 ou MAP 433

Modalités d'évaluation
Un examen final

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : vendredi 15 mars 2013

3 Méthodes de potentiels retardés pour les ondes acoustiques et électromagn

Le confort acoustique des passagers dans les voitures, trains, avions...ainsi que les nuisances sonores que ces véhicules occasionnent pour l'environnement sont des préoccupations très sérieuses des constructeurs.
D'un autre côté, jamais les antennes n'ont été aussi près de l'homme avec la prolifération des téléphones mobiles et autres appareils électroniques sophistiqués. Pour l'industriel, se pose des problèmes de conception de nouveaux modèles répondant à des spécifications techniques bien précises dans des délais

de plus en plus courts. Un appareil électronique ne fonctionnant pas tout seul, se pose également la question de l'interaction de ces appareils avec leur environnement : le problème de compatibilité électromagnétique. Enfin, du point de vue de l'utilisateur, des questions légitimes sur l'interaction et les effets sur le corps humain sont de plus en plus soulevées.
Le point commun à ces quelques problèmes, et la liste est loin d'être exhaustive, est un fort besoin en simulation numérique de problèmes d'ondes linéaires dans de larges bandes de fréquences. La méthode des potentiels retardés est particulièrement adaptée à ce genre de situations.
Le plan du cours est le suivant :
- Quelques problèmes pratiques d'ondes acoustiques et électromagnétiques.
- Principes généraux des méthodes intégrales.
- Étude formelle de l'approximation numérique des équations de potentiels retardés.
- Rappels sur la transformée de Fourier-Laplace. Principe de l'analyse mathématique. Normes de Sobolev indexées par la fréquence.
- Cadre fonctionnel adapte aux problèmes de potentiels retardés
- Théorèmes d'existence, unicité et régularité.

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP682 Méthodes mathématiques pour les problèmes inverses

Le cours s'intéressera aux différentes questions mathématiques et numériques que soulève la résolution de problèmes inverses rencontrés dans nombre de domaines : imagerie, contrôle non destructif, géophysique...

La caractéristique principale des problèmes inverses est le défaut de continuité de la solution par rapport aux données. Une partie du cours portera sur les problèmes inverses linéaires, on y introduira d'abord les méthodes de régularisation linéaires puis on étudiera particulièrement les stratégies de régularisation adaptées aux problèmes de traitement d'image. L'autre partie du cours portera sur la résolution de problèmes inverses non linéaires, comme par exemple celui de la détermination d'une géométrie (un défaut, une inclusion, un réservoir, ...) à partir de la connaissance de mesures (solutions du problème direct). On analysera dans un premier temps les questions relatives à l'identifiabilité et la stabilité. Nous étudierons ensuite trois grandes familles de méthodes numériques pour la résolution de tels problèmes.

Les cours se dérouleront sur 12 séances de 2h, et couvriront:

* Problèmes inverses: méthodes de régularisations linéaires ;
* Introduction aux méthodes non-linéaires. Reconstruction d'images, de formes, de processus discontinus ;
* La variation totale. Définition, propriétés. Problèmes de minimisation, existence, régularité, méthodes numériques ;
* Problèmes inverses non-linéaires en électromagnétisme (diffusion, diffraction) ;

* Méthodes numériques pour certains problèmes non-linéaires.

Responsable : Antonin CHAMBOLLE
Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 30
Crédits ECTS : 3
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP563 Modèles aléatoires en Ecologie et Evolution

La prise en compte des dynamiques de populations dans la modélisation du risque, la compréhension des systèmes écologiques complexes en environnement et en développement durable, les liens entre économie, écologie et santé, sont des problèmes émergents qui nécessitent une bonne connaissance de la modélisation des systèmes écologiques et évolutifs. Tous les systèmes vivants évoluent fondamentalement de manière aléatoire.

Le cours développera les principaux modèles probabilistes en écologie et en évolution. Il mettra en particulier en évidence les différents changements d'échelles qui permettent de passer des modèles discrets aux modèles continus et des modèles aléatoires à leurs approximations déterministes.

Populations spatiale, marches aléatoires, mouvement brownien et diffusions. Dynamique des populations, processus de naissance et mort, diffusion de Feller, processus de branchement multitype. Génétique des populations, modèles de Wright-Fisher, coalescent.

Numerus Clausus : 70 élèves maxi

Niveau requis
MAP 432 ou MAP 433

Modalités d'évaluation
Un examen final.

Période : Hiver & Printemps
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : vendredi 22 février 2013

MAP552 Modèles stochastiques en finance

Le cours est construit sous forme d'aller-retours entre le calcul stochastique et la modélisation des marchés financiers en temps continu.

1- Introduction: premiers pas dans la modélisation des marchés financiers.

2- Mouvement brownien standard, définition, propriétés, propriétés trajectorielles.

3- Espérance conditionnelle et équation de la chaleur. Intégrale stochastique. Formule d'Itô

4- Approche EDP pour l'évaluation et la couverture dans le modèle de Black-Scholes. Le modèle de gestion de portefeuille de Merton. Processus d'Ornstein Uhlenbeck.

5- Propriété de représentation prévisible. Changement de probabilité.

6- Approche martingale pour la couverture. Retour au modèle de Black-Scholes.

7- Equations différentielles stochastiques. Lien avec les EDP linéaires du second ordre. Caractérisation de la couverture.

8- Pratique du modèle de Black-Scholes. Calibration et équation de Dupire

9- Introduction au marché des taux d'intérêt. Modèle de Heath-Jarrow-Morton et mesure martingale forward.

Ce cours accepte un maximum de 100 élèves

Niveau requis
un cours de probabilités ou un cours de statistique en deuxième année, en plus du cours de tronc commun "Aléatoire" : Indispensable pour être inscrit.

Modalités d'évaluation
Un examen écrit.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP592 Modélisation et calcul scientifique

Coordinateur d'option :
François Alouges
Mail: francois.alouges@polytechnique.edu

Responsable de l'option :
Grégoire Allaire
Mail : gregoire.allaire@polytechnique.edu

Secrétariat du Département de Mathématiques Appliquées
Tél.: 01 69 33 46 01.
Fax : 01 69 33 46 46.
Mail : departement@cmapx.polytechnique.fr

La modélisation est le processus qui formalise un problème concret en termes mathématiques accessibles à l'analyse et au calcul numérique.

Le calcul scientifique est l'art de l'ingénieur qui consiste à effectuer des simulations numériques fondées sur une démarche scientifique et à l'aide de moyens informatiques. La plupart des modèles font intervenir des équations (différentielles ou aux dérivées partielles) trop compliquées pour être résolues par des méthodes élémentaires ou à l'aide des techniques du calcul formel. Le calcul scientifique se propose de donner des solutions approchées numériques à ces modèles. Le développement du calcul scientifique est lié à l'accroissement régulier de la puissance des ordinateurs. C'est donc un secteur en continuelle évolution.

Les entreprises qui utilisent et développent la modélisation et le calcul scientifique sont d'abord de grandes entreprises étatiques ou privées chargées de concevoir et développer des systèmes complexes : aéronautique et spatial, nucléaire, automobile, industrie pétrolière, génie civil. Réservée au dimensionnement amont et à la vérification de systèmes complexes il y a encore peu de temps, la simulation numérique permet d'économiser des temps importants sur les cycles de conception et production de produits nouveaux plus élémentaires. Très souvent la conception d'un objet ou d'un système répondant à des spécifications générales se formalise comme un problème d'optimisation sous contraintes. La modélisation et le calcul scientifique sont donc très souvent utilisés en combinaison avec des méthodes d'optimisation.

Stage d'avril à juillet :
L'option "modélisation et calcul scientifique" est conçue pour des élèves qui cherchent une formation dans cette spécialité, soit pour aborder un problème industriel, soit pour s'initier à la recherche et ce, quel que soit le choix ultérieur de leur carrière. Pour ceux qui veulent faire ensuite la filière "mathématiques de la modélisation" du Master de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique (en cotutelle avec l'Université de Paris 6), le stage peut être une première étape importante. Pour les élèves très motivés qui veulent s'expatrier durant leur stage de recherche, il est possible de trouver des sujets de stages dans des universités étrangères.

Exemples de stages effectués les années passées:
Méthodes adaptatives et multiéchelles.
Assessment and design of optical fiber systems.
Problème inverse en électromagnétisme.
Aeroelastic modelling.
Numerical methods for Maxwell equations.
Organismes d'accueil :
Laboratoires publics de recherche :
CEA, CEMAGREF, IFREMER, IFP, INRIA, ONERA, Ecoles d'ingénieurs et Universités.
Grandes entreprises et centres de recherche appliquée : Dassault Aviation, EADS, EDF, Michelin, PSA, Renault, Schlumberger, SNECMA, Thales, Total, Valéo.

Organismes d'accueil à l'étranger :
Universités américaines, asiatiques ou européennes.

Niveau requis
Avoir suivi des cours d'analyse numérique et/ou d'optimisation.

Modalités d'évaluation
Rapport écrit et soutenance

Responsable : Grégoire ALLAIRE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

AP556 Modélisation mathématique pour l'écologie, l'environnement et l'econom

Le but de ce cours est de :
- discuter l'approche mathématique de la modélisation dynamique
- donner les outils principaux pour décrire les modèles (en particulier les systèmes dynamiques, les processus de
branchement et les chaînes de Markov)
- dégager les liens et les différences entre les modèles, et discuter leurs limitations.

Pour cela, nous nous placerons dans le contexte des problématiques de l'écologie, de l'environnement et de l'économie.
Nous nous appuierons sur un certain nombre de modèles standards. Le cours sera structuré par quatre problématiques :
- compréhension fine de modèles simples
- prise en compte de l'hétérogénéité dans les modèles (hétérogénéité spatiale ou temporelle, diversité des caractéristiques des entités : âge, sexe, etc)
- prise en compte des interactions entre les entités/individus (c-à-d modèles non linéaires)
- modèles aléatoires vs. modèles déterministes (distinction entre petites et grandes populations, caractère aléatoire
des fluctuations de l'environnement, etc).

Numerus Clausus : 60 élèves maxi

Niveau requis
MAP311

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4

Dernière mise à jour : jeudi 14 mars 2013

MAP594 Modélisation probabiliste et statistique

Coordinateur d'option
François Alouges
Mail: francois.alouges@polytechnique.edu

Responsable d'option
Vincent Bansaye
Mail : bansaye@cmap.polytechnique.fr

Secrétariat du Département de Mathématiques Appliquées
Tél : 01 69 33 46 01
Fax : 01 69 33 46 46
Mail : departement@cmapx.polytechnique.fr

Les stages de "Modélisation probabiliste et statistique" concernent généralement la construction et l'étude de modèles probabilistes destinés à décrire et analyser au mieux des phénomènes physiques, biologiques, informatiques ou économiques. Selon les objectifs visés, les modèles peuvent être utilisés comme outils pour analyser des données et proposer des prévisions (estimation, tests, prévision..) ou être analysés avec des méthodes probabilistes afin d'en cerner leurs comportements et leurs limites. La pondération entre la partie probabiliste et la partie statistique est variable selon la problématique. Les domaines d'application de ces méthodes sont très divers : biologie (dynamique des populations, transmission du patrimoine génétique, sélection phylogéniques, réseaux de régulation biologique...), réseaux de communication (caractérisation du trafic, analyse probabiliste de protocoles, contrôle de la congestion), assurance (tarification, prévision des provisions...), économie (analyse et prévision d'agrégats macro-économiques...), etc.

Ces stages sont particulièrement destinés aux élèves ayant suivi le programme d'approfondissement de Mathématiques Appliquées (notamment les cours "Processus et estimation", "Réseaux de communication, algorithmes et probabilités", "Apprentissage statistique", "Modèles aléatoires en écologie et évolution").

EXEMPLES DE STAGES PROPOSES LES ANNEES PRECEDENTES :

EN FRANCE

EDF
Incertitude autour de la prévision de la consommation électrique.
Analyse de l’utilisation des interconnexions électriques en Europe.

VEOLIA
Modélisation de la biodiversité dans les bassins à boues activées.

SCHLUMBERGER
Uncertainty assessment for CO2 geological storage integrity.

THOMSON
Navigability with a bias.

TELECOM PARISTECH
Partage dynamique de bande passante dans l'internet.

INRIA
Méthodes probabilistes pour l'équation de Poisson-Boltzmann en dynamique moléculaire.

INRA
Analyse de la cyclostationnarité du climat Calédonien.
Modèles statistiques pour l'analyse des réseaux d'interactions biologiques.
Etude de la dynamique des repousses hors des parcelles de culture dans un agro-écosystème.

ORANGE
Marche aléatoire dans la ville.

A L'ETRANGER

UNIVERSITY OF CALIFORNIA (Berkeley)
Development of flow model based algorithms for highway traffic estimation (Mobile Millenium).
Using mobile phones to estimate travel times in urban networks through the STARMA model.
Traffic forecasting using statistical machine learning.

COLUMBIA UNIVERSITY (New York)
Verification / testing of statistical decadal forecasts.
Subnational Carbon Emissions from Selected Countries.

IMPERIAL COLLEGE (London)
Influence in on-line social networks.
Dissemination of Information in Distributed Networks.

EPFL (Lausanne)
Stabilité des réseaux d'accès sans fil: impact de la topologie.

CMM-UNIVERSITY OF CHILE (Santiago)
Mathematical modeling and analysis of metabolic interaction networks.

UNIVERSITA ROMA 3 (Rome)
Mixing time for reversible Markov Chains and applications.

UNIVERSITY OF WATERLOO (Canada).
Bandwidth allocation policies in Wireless Networks.

NRS (Montréal)

Qualité de service et tarification des réseaux IP.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 480
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP562 Optimal Design of Structures

Le but de ce cours est de poser les bases des modèles mathématiques et des algorithmes numériques de conception optimale de structures.

Grâce aux progrès immenses ces dernières décennies de la modélisation mécanique, de l'analyse numérique, et surtout de la puissance des ordinateurs, il est maintenant relativement aisé de concevoir une structure (par exemple, un pont, une aile d'avion, une carrosserie automobile, etc.) à l'aide de la simulation et du calcul sur ordinateur. Cependant, lors de la conception d'une nouvelle structure il est fréquent de devoir essayer plusieurs idées et de les modifier pour les améliorer. Cette tâche peut être extrêmement fastidieuse si elle est entièrement manuelle et repose sur l'intuition seule du concepteur. C'est pourquoi il est nécessaire de proposer des méthodes d'optimisation automatique des structures.
Le but de ce cours est de poser les bases des modèles mathématiques et des algorithmes numériques de conception optimale de structures. En particulier, on étudiera l'optimisation de la forme des structures en vue, par exemple, de la minimisation de leur poids sous des contraintes de tenue mécanique minimale. On illustrera le cours par l'utilisation de logiciels d'optimisation de structures en petites classes.

Ce cours accepte un maximum de 60 élèves.

This course will be taught in English
Numerus Clausus : 60

Programme :

Optimisation paramétrique de formes.
Optimisation géométrique de formes.
Optimisation topologique par la méthode d'homogénéisation.
Optimisation topologique par algorithmes évolutionnaires.

Niveau requis
Pré-requis : MAP431 ou MAP411.

Modalités d'évaluation
Contrôle de 2 heures

Responsable : Grégoire ALLAIRE
Période : Printemps

Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 25 février 2013

583 Outils mathématiques et simulations numériques pour la mécanique quant

Ce cours s'adresse aux élèves souhaitant approfondir les fondements mathématiques de la mécanique quantique, et s'initier aux méthodes de simulation numérique utilisées dans ce domaine.

Exemples de projets à réaliser en binôme : les sujets proposés sont labelisés (T) s'ils sont de nature théorique (physique mathématique) et (N) s'ils sont de nature numérique. La plupart des sujets (T/N) peuvent être envisagés sous un angle plutôt théorique ou plutôt numérique, ou, si les élèves le souhaitent, comporter une composante théorique et une composante numérique.

1. modèle de Hartree-Fock (T/N)
2. théorie de la fonctionnelle de la densité (T/N)
3. théorie de Bloch et structure électronique des cristaux (T/N)
4. seconde quanti cation, modèle de Hartree-Fock-Bogoliubov et théorie BCS de la supraconductivitéw (T)
5. condensats de Bose-Einstein (N)
6. phases de Berry en mécanique quantique (T)
7. équation de Dirac en mécanique quantique relativiste (T/N)
8. simulation numérique de l'expérience des fentes d'Young (N)
9. résonances et règle d'or de Fermi (T/N)
10. théorie du scattering (T)
11. estimation du nombre d'états liés d'un opérateur de Schrödinger (T/N)

Niveau requis
MAP 431 (Analyse numérique et optimisation), PHY311 (Mécanique quantique), MAT 431 (Distributions, analyse de Fourier et systèmes dynamiques) ou 432 (Analyse de Fourier, théorie spectrale et applications aux EDP)

Modalités d'évaluation
Remise d'un rapport et soutenance

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : vendredi 03 mai 2013

MAP590 Présentation des options de Mathématiques appliquées

Le Département de Mathématiques Appliquées, qui entretient des contacts suivis avec des industriels et de nombreux laboratoires scientifiques, offre des stages dans des centres de recherche en France et à l'étranger, dans quasiment tous les domaines de la recherche en mathématiques appliquées et dans des services d'études de grands organismes économiques et financiers (banques en particulier). Les élèves ont ainsi l'occasion de participer à la résolution effective de problèmes de pointe. Cette période est très importante pour mettre à profit les enseignements suivis dans un cadre différent et plus concret. C'est un moment privilégié dans la vie du polytechnicien pour découvrir le monde de la recherche, de la technique et du développement, y produire un travail souvent très exaltant qui suscite parfois des vocations.

Généralités sur les stages de recherche

Modalités d'organisation
- Contact avec les enseignants / responsables (sauf pour MAP 595, Mathématiques Financières où vous contactez directement les entreprises)
- Rapport à mi-parcours
- Rapport écrit. Soutenance à l'Ecole début juillet

Pour MAP 595, Mathématiques financières, merci de cliquer sur le lien ci-dessous pour consulter recommandations du responsable de l'option :
http://www.cmap.polytechnique.fr/~mazari/Options_X2007/stages_finance.pdf

Les domaines
- MAP 591 – Signal et Image – Stéphanie Allassonnière, Antonin Chambolle
- MAP 592 – Modélisation et calcul scientifique – Grégoire Allaire
- MAP 593 – Automatique et recherche opérationnelle – Frédéric Bonnans, Yacine Chitour, Stéphane Gaubert
- MAP 594 – Modélisation probabiliste et statistique – Vincent Bansaye
- MAP 595 – Mathématiques financières – Stefano De Marco, Nizar Touzi

Contexte et objectifs
- Séjour de trois mois (voir plus pour l'étranger) dans un labo universitaire, équipe R&D…
- Initiation aux méthodes de la recherche ; impact de l'innovation dans l'économie
- Autonomie. Sujet scientifique délimité à défricher, analyser et résoudre.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 400
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : mardi 02 octobre 2012

MAP551 Probability Theory for Financial Economics

The goal of this course is to introduce the main concepts in Probability Theory in a rigorous setting. Being at ease with the notions presented in this course is essential in Economics and Finance.

Course Outline:
1. Measure and Integration
2. The probabilistic model
3. Law of random variables
4. Random vectors
5. Convergence of random variables
6. Law of Large Numbers
7. Central Limit Theorems
8. Conditional expectation, conditional law

Bibliography:
BILLINGSLEY, P., Probability and Measure, Wiley
CHUNG, K.L., A course in Probability Theory, Academic Press
GRIMMET, G., STIRZAKER P. Probability and Random Processes, Oxford University Press

Only for the PA QEF students
Cours dispensé en Anglais

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP500 Programme d'Approfondissement de Mathématiques Appliquées

Ce programme permet de découvrir en profondeur la démarche des mathématiques appliquées, notamment les étapes de modélisation, d'analyse mathématique, de simulation numérique, et d'interprétation physique des résultats. Les applications proviennent de très nombreux domaines : mécanique, physique, sciences de l'ingénieur, contrôle des systèmes, traitement des signaux et des images, finance de marché, économie, biologie…

Ce programme combine des enseignements utilisant une approche stochastique ou (non exclusif) déterministe.

Le PA de Mathématiques Appliquées correspond à une première année de Master (M1). Dans cet esprit, il propose à l’élève des cours très variés pour lui permettre d’élargir ses connaissances mathématiques. L’élève devra veiller à suivre certains cours de base lui permettant de poursuivre par la quatrième année de son choix ; pour l’aider, les thématiques réunissent les cours correspondant à des Master M2 bien établis. Trois de ces thématiques sont proposées en liaison avec d'autres départements : "Analyse Numérique et

EDP" avec le département de Mécanique, "Optimisation, jeux et modélisation en économie" et "MAP-INFO" avec le département d'Informatique.

Certains cours (MAP554, MAP555, MAP559, MAP562, MAP565, ainsi que MAP551 et MAP568 du PA QEF) sont enseignés en anglais de manière à pouvoir accueillir des étudiants non francophones. Ils sont bien sûr ouverts aux élèves français. Les PC se déroulent habituellement dans les deux langues.

Les regroupements de cours par thématique ne sont que des indications, et les élèves sont encouragés à choisir des cours variés.

Niveau requis
Il est fortement conseillé aux élèves d'avoir suivi en 2ème année un enseignement d'analyse numérique et optimisation (MAP411 ou MAP431) ou un enseignement d'aléatoire (MAP432 ou MAP433) en fonction de la direction qu'ils comptent suivre.

Il existe des prérequis spécifiques et un numerus clausus pour chaque cours : l'admission définitive dans certains cours se fera en fonction de la satisfaction aux pré-requis et des résultats des années précédentes.

Responsable : Olivier PANTZ
Période : Hiver & Printemps
Dernière mise à jour : vendredi 12 octobre 2012

MAP573 Projet en Ecologie Statistique

Les mathématiques, et en particulier l'inférence statistique, prennent une place de plus en plus importante en écologie. Il s'agit par exemple de tester la validité d'une théorie (ou de comparer la validité de différentes hypothèses) à partir de données empiriques, de combler au mieux des observations incomplètes, ou encore d'estimer des paramètres particulièrement importants d'un point de vue écologique ou évolutif.

L'enseignement d'approfondissement « Projets en Ecologie Statistique » présente le champ de l'inférence statistique en écologie à travers l'étude de problèmes issus de la littérature scientifique récente. Ces problèmes illustreront les applications en écologie et biologie évolutive des tests d'hypothèses statistiques, de l'estimation paramétrique et non paramétrique, du concept de vraisemblance, de l'inférence Bayésienne, et des méthodes de Monte Carlo. La résolution de ces problèmes fera appel à la modélisation et à des études de jeux de données. Les sujets abordés comprennent :

• Combien y a-t-il d'espèces d'insectes sur terre ?
• Comment estimer la biodiversité microbienne ?
• Comment les arbres coexistent-ils en forêt tropicale ?
• Peut-on expliquer les réseaux trophiques complexes par des règles simples ?
• Comment l'histoire évolutive des espèces influence-t-elle leur assemblage en communautés écologiques ?

• L’extinction massive du Crétacé Tertiaire est-elle responsable de la radiation des mammifères actuels ?
• L’autocompabilité favorise-t-elle ou défavorise-t-elle la diversification des plantes à fleur ?
• Pourquoi y a-t-il autant d’espèces dans les tropiques ?

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP571 Projet Personnel de Mathématiques Appliquées

MAP571 Projet Personnel de Mathématiques Appliquées

Cet enseignement d'approfondissement est un projet par binômes qui initie les élèves à la pratique des mathématiques appliquées au travers de l'étude d'un problème, motivé par des applications concrètes et des questions de nature mathématique. Il est typiquement lié à un cours suivi pendant la même période. Le projet est une étude qui va de la modélisation du problème jusqu'aux simulations numériques, en passant par l'analyse mathématique. Il se termine par la remise d'un rapport écrit et une soutenance orale. Les élèves choisissent leur sujet parmi les cinq options suivantes. Chaque projet est encadré par un enseignant.

A- Modèles en finance et simulations
Prérequis: MAP 552
Le but est de comprendre la démarche de modélisation en finance, en menant une étude basée sur une lecture d'article allant jusqu'à l'implémentation informatique. Les sujets tournent autour de l'évaluation, la couverture d'un produit financier, et la gestion des risques. En parallèle avec le projet, des "quant" viendront exposer des cas pratiques de modélisation et de mise en oeuvre dans le cadre de séminaires optionnels sans évaluation. Il est indispensable, au premier ou au second trimestre, pour la réalisation d'un stage en France ou à l'étranger en salle de marché.

B- Optimisation et recherche opérationnelle
Prérequis: MAP-557
Les projets proviennent de domaines importants de la recherche opérationnelle tels que l’optimisation du transport aérien ou l’optimisation de réseaux télécom. Les outils mathématiques concernent l'optimisation continue ou combinatoire, la théorie des graphes, la programmation dynamique déterministe ou stochastique et varient d’un sujet à l’autre.

C- Réseaux de communication
Prérequis: MAP 554

Sujets liés à l'étude des réseaux de communication actuels et de leurs évolutions les plus récentes : Diffusion de l'information dans les réseaux pair à pair et les réseaux sociaux, algorithmes de partage de la bande passante dans les réseaux mobiles, d'allocation de ressources, évolutions du Protocole TCP, ou encore les algorithmes de résolution des conflits d'accès.

D- Traitement du signal et de l'image
Prérequis: MAP555
Étude de problèmes récents pour le traitement de l'information dans des signaux audio, des images ou des vidéos. Les sujets couvrent aussi bien la compression d'images, des problèmes inverses de restauration de signaux, le débruitage et la super-résolution, ainsi que la reconnaissance de signaux audio ou d'images.

Niveau requis
selon le projet choisi.
un parmi MAP411, MAP431 ou MEC552

Modalités d'évaluation
Chaque binôme remettra un rapport et fera une présentation de leur travail à la fin du trimestre. La note finale tiendra compte de cette présentation, du rapport écrit et du travail fourni au cours du trimestre.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP581 Projet personnel de Mathématiques Appliquées

MAP 581 Projet Personnel de Mathématiques Appliquées

Cet enseignement d'approfondissement est un projet par binômes qui initie les élèves à la pratique des mathématiques appliquées au travers de l'étude d'un problème, motivé par des applications concrètes et des questions de nature mathématique. Il est typiquement lié à un cours suivi pendant la même période.
Le projet est une étude qui va de la modélisation du problème jusqu'aux simulations numériques, en passant par l'analyse mathématique. Il se termine par la remise d'un rapport écrit et une soutenance orale.
Les élèves choisissent leur sujet parmi les cinq options suivantes. Chaque projet est encadré par un enseignant. Les élèves ne peuvent faire un second EA sur le même type d'application, ce qui sera validé par l'enseignant en charge du sujet.

A- Analyse Numérique
Prérequis : un parmi MAP559, 562,567 ou MEC 552, 564, 568 ou MAT 560
Les projets sont lies à des problèmes concrets de modélisation et de simulation numérique concernant des domaines divers des sciences de l'ingénieur, allant de la mécanique à la biologie.

B- Automatique
Prérequis : MAP 561
Modélisation d'un problème concret (identification de l'état, de la sortie et des actionneurs comme entrées), puis étude et analyse des propriétés structurelles du modèle, et implémentation numérique
pour valider d'éventuels résultats théoriques établis lors de l'étape précédente d'analyse. Les problèmes concrets proviennent d'exemples de robotique, de physique nucléaire ou encore de biologie.

C- Modèles en finance et simulations
Prérequis : MAP 552
Le projet a pour but de comprendre la démarche de modélisation en finance, en menant une étude basée sur une lecture d'articles allant jusqu'à l'implémentation informatique. Les sujets tournent autour de l'évaluation, la couverture d'un produit financier, et la gestion des risques. En parallèle avec le projet, des "quant" viendront exposer des cas pratiques de modélisation et de mise en oeuvre dans le cadre de séminaires optionnels sans évaluation. Il est indispensable pour la réalisation d'un stage en France ou à l'étranger en salle de marché.

D- Modélisation et simulations aléatoires
Prérequis: MAP 563 ou 564
Modélisation des problèmes concrets réalistes, dans lesquels l'aléatoire intervient de façon fondamentale et implémentation de méthodes stochastiques de calcul approché. Un souci important sera de fournir des validations mathématiques et des intervalles de confiance. Les outils mathématiques utilisés ont une vaste applicabilité, d'importance sociale, scientifique, et industrielle, tels l'écologie et l' évolution, la génétique, la mécanique statistique, la transmission de données.

E- Séries chronologiques et simulations
Prérequis: MAP 565
Exemples d'analyse de certaines séries chronologiques à l'aide d'une grande variété de méthodes statistiques dans l'espace des temps et des fréquences : décomposition tendance-cycle de séries intégrées, modélisation de la saisonnalité, Modèles ARCH ou GARCH de prix d'actif, modèle à volatilité stochastique. Exemples de méthodes de simulation pour estimer les paramètres des modèles, pour simuler les lois asymptotiques ou évaluer la précision à distance finie d'estimateurs ou de prévisions : Méthodes de Monte Carlo, méthodes de Bootstrap.

Niveau requis
selon le projet choisi

un parmi MAP411, MAP431, MAP561, MAP562, MAP567 ou MEC552

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP587 Projets de modélisation en écologie, environnement et climat

Cet EA est présenté sous 3 codes : BIO587, MAP587 et MEC587, l'inscription peut se faire indifféremment sous l'un des 3 codes.

Les défis soulevés par l'interaction entre l'homme et son environnement créent des besoins en termes de modélisation aussi bien pour comprendre les processus à l'œuvre que pour tester des scénarios et proposer des solutions.
Cet enseignement d'approfondissement est un projet par binômes qui initie les élèves à la modélisation en écologie et environnement. Les projets visent à relier les apports théoriques de la modélisation (résultats mathématiques, simulations...) à des applications concrètes. Et ce dans des domaines allant de la biodiversité et de l'écologie à la dynamique atmosphérique et océanique. Il se termine par la remise d'un rapport et une soutenance orale.

Biologie et écologie

On s'intéressera ici aux interactions entre les organismes et leur environnement, et à l'impact des activités humaines sur le devenir de la biodiversité. L'accent sera mis notamment sur le rôle des processus évolutifs en écologie, à travers l'étude de problèmes issus de la littérature scientifique récente. La résolution de ces problèmes fera appel à la modélisation, associée à des études de jeux de données et à une recherche bibliographique pour identifier les processus écologiques et évolutifs pertinents. Les sujets abordés comprennent par exemple :
• Comment optimiser les traitements insecticides/antibiotiques pour éviter les résistances ?
• Comment expliquer l'existence de coopération dans les sociétés animales ?
• Quel est l'effet de la disparition des espèces sur le fonctionnement des écosystèmes ?
• Pourquoi faire de la reproduction sexuée ? Quel partenaire sexuel choisir ?
• Pourquoi le pourcentage de gauchers dans les populations humaines reste-t-il stable ?
• Les mesures de protection en faveur des espèces menacées peuvent-elles être contre-productives ?
Ce choix de projet constitue un bon approfondissement du cours BIO555 (« Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes »), même s'il ne s'agit pas d'un pré-requis obligatoire.

Modélisation aléatoire du vivant

Les notions de probabilités abordées dans les cours de mathématiques appliquées offrent des outils pour appréhender des modèles aléatoires sophistiqués et tenter de répondre à des questions motivées par l'écologie, l'évolution, l'environnement ou la biologie. On pourra par exemple utiliser des chaines de Markov ou des équations différentielles stochastiques pour modéliser des dynamiques de population, des arbres

aléatoires ou coalescents pour des questions de génétique de population et d'évolution. Les sujets proposés ici se veulent ainsi un approfondissement des cours MAP 563 et MAP 556. Le cours MAP 563 est suffisant pour s'inscrire, tandis que MAP 556 le sera pour certains sujets.

Environnement atmosphérique et océanique

Les principes mécaniques et physiques qui régissent les écoulements atmosphériques et océaniques, abordés dans les cours d'année 2 et 3, forment également la base des modèles numérique de circulation atmosphérique et océanique. Des compléments portant sur la notion de prévisibilité et de processus résolus/sous-maille seront apportés lors des premières séances. Les projets mettent en œuvre la modélisation numérique de l'atmosphère ou de l'océan en réponse à une question d'ordre scientifique ou décisionnel. Un objectif important est d'acquérir la démarche permettant d'exploiter l'outil numérique en tenant compte des limitations et incertitudes inhérentes à l'exercice de prévision. Il n'y a pas de prérequis mais il est utile d'avoir suivi un cours ou un EA de mécanique (MEC432, MEC433, MEC573...).
Exemples de projet : transport et dispersion d'un panache de pollution, impact local du changement climatique, ...

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : mardi 10 avril 2012

MAP600 Quatrième année

Le département participe au Master de l'Ecole Polytechnique à travers la mention « Mathématiques Appliquées » qui se décompose en trois filières : "Probabilités et Finance", "Probabilités & Modèles Aléatoires", et "Mathématiques de la modélisation". L'enseignement en Master 2ème année s'appuie sur les ressources du Centre de Mathématiques Appliquées et s'effectue en collaboration avec des établissements universitaires.

La 4ème année de l'X correspond à la 2ème année du Master (M2) : elle offre 3 spécialités.

SPÉCIALITÉ "MATHÉMATIQUES de la MODÉLISATION" :
Cette spécialité vise à former des ingénieurs et des chercheurs avec de solides acquis en mathématiques appliquées et en calcul scientifique. Quatre parcours thématiques sont particulièrement recommandés.

PARCOURS :

- "Analyse numérique et E.D.P" :
Responsable Grégoire Allaire
Modélisation, équations aux dérivées partielles, discrétisation et analyse d'erreur, calcul scientifique, applications en physique, mécanique, imagerie, finance, sciences de l'ingénieur.

- "Optimisation, Jeux et Modélisation en Economie" :

Responsables : Sylvain Sorin / Stéphane Gaubert
Optimisation combinatoire, optimisation continue, théorie des jeux et applications en économie.

- "Mathématiques, Vision, Apprentissage" :
Responsable : Stéphanie Allassonnière
Modélisation, techniques mathématiques (ou informatiques) applicables à la vision, à la perception, à l'apprentissage, dans les domaines de la vision artificielle, de l'analyse automatique du signal et de l'image, de l'émulation des comportements perceptifs ou adaptatifs de l'homme.

- MASTER "MATHÉMATIQUES POUR LES SCIENCES DU VIVANT" (MathSV)
Responsables: Christophe Giraud et Pascal Massart

Ce master est une formation complète et structurée en mathématique à l'interface avec les sciences du vivant (biologie, médecine, écologie). Il couvre un large spectre de compétences mathématiques (modélisation déterministe et stochastique, apprentissage statistique, optimisation et calcul numérique) et offre des séminaires et projets au contact avec des biologistes de réputation internationale. Quatre parcours sont proposés au second trimestre: "Ecologie et modèles d'évolution", "Biologie des systèmes et apprentissage statistique", 'Biomécanique" et "Mathématiques pour la neuroimagerie". Ce master ouvre la porte à la fois à la recherche en mathématiques à l'interface des sciences du vivant (biologie, médecine, écologie) et à des débouchés dans le monde économique autour des biotechnologies (biopharmacie, agroalimentaire, environnement, etc).

SPÉCIALITÉ PROBABILITÉS & FINANCE

Responsable : Emmanuel Gobet
Calcul stochastique, introduction aux marchés financiers, modèles discrets en finance et processus de sauts, gestion dynamique des risques de marché, méthodes de Monte Carlo en finance. Des cours spécialisés sont donnés : problèmes inverses en finance et calibration de modèles, mesures de risque, options américaines: théorie et méthodes numériques, contrôle stochastique et gestion de portefeuille, le marché de risque de crédit, exponentielles de Processus de Lévy.

MASTER "PROBABILITÉS ET STATISTIQUES" (PS)
Responsable: Sylvie Méléard

Ce master offre une formation très complète à tous les outils modernes des probabilités et à leurs applications. Les parcours "Probabilités" ou "Statistiques" ouvrent sur la recherche en probabilités et en statistique mathématique et couvrent les thèmes suivant : mouvement brownien, arbres aléatoires, grandes déviations, mécanique statistique, systèmes dynamiques aléatoires, statistique des processus, traitement du signal, statistique non paramétrique, choix de modèle, fiabilité. Le parcours "Statistique Appliquée" est tourné vers les applications et couvre les techniques d'analyse en grande dimension, les techniques de prévision, ainsi que l'usage des logiciels adéquats.

Responsable : Grégoire ALLAIRE, Sylvie MELEARD
Période : Printemps
Nombre d'heures : 400
Crédits ECTS : 20
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP557 Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

La recherche opérationnelle est un ensemble de techniques permettant de formaliser et de résoudre les problèmes d'organisation et de décision qui se posent dans le monde de l'entreprise. On peut citer les problèmes de transport, de localisation d'entrepôt, de tournées de véhicule, d'emploi du temps, de gestion de stock ou de réserve énergétique (hydraulique, gaz, combustible nucléaire), mais aussi des applications particulières, telles que la conception de circuits ou de câblages, l'allocation de fréquence, etc..., qui conduisent à étudier des problèmes d'optimisation fondamentaux, souvent de nature combinatoire.

Le cours présente quelques grandes familles de méthodes mathématiques utiles en recherche opérationnelle, afin de donner la capacité de modélisation, et de permettre de reconnaître les problèmes pour lesquels des algorithmes rapides de résolution existent. On met l'accent sur les techniques issues de la programmation linéaire ou convexe, qui sont souvent à l'origine de tels algorithmes.
Il n'y a pas de pré-requis, hormis une familiarité avec les mathématiques appliquées, qui a pu être acquise en suivant l'un des cours de ce domaine en seconde année. Signalons que la recherche opérationnelle est aussi abordée en programme d'approfondissement d'informatique de second semestre, dans les cours traitant d'analyse d'algorithmes et de programmation par contraintes, qui apportent un éclairage complémentaire sur la discipline. Le présent cours peut être suivi de manière indépendante, ou bien en association avec ceux-ci.

Principaux concepts développés dans le cours :
- Modélisation de problèmes combinatoires, points entiers de polyèdres, matrices totalement unimodulaires.
- Problèmes de flots. Rappels de dualité. Algorithmes.
- Multiflots : communications, transport. Flots potentiels,
- Génération de colonnes et algorithme de Dantzig-Wolfe
- Algorithmes polynômiaux en optimisation convexe. Points intérieurs.
- Le problème du voyageur de commerce. Séparation et évaluation. Principe des relaxations et coupes.
- Coupes de Chvátal et Gomory
- Relaxation lagrangienne. Optimisation non différentiable : plans sécants. Décomposition de Benders.
- Coloriage et coupes de graphes : l'approche par programmation semidéfinie.
- Programmation dynamique.

Modalités : 9 blocs, 36 heures, 4 ECTS Stéphane Gaubert

Ce cours accepte un maximum de 100 élèves

Responsable : Stéphane GAUBERT
Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013

MAP555 Signal Processing

Initialement appliqué aux télécommunications, le traitement du signal se retrouve à présent dans tous les domaines nécessitant d'analyser et transformer de l'information numérique. On suppose au préalable un savoir-faire de base en analyse (transformée de Fourier) et en probabilités (variables et processus aléatoires).

Le cours commence par une présentation du filtrage analogique et de la transmission par modulation d'amplitude. L'essentiel du traitement du signal étant devenu numérique, on étudie ensuite la conversion analogique-numérique et la discrétisation des opérations de filtrage.

Les problèmes les plus difficiles du traitement du signal sont souvent liés au traitement de l'information. La modélisation stochastique joue un rôle particulièrement important : on présente une application au débruitage. L'étude du traitement de la parole est l'occasion d'aller au-delà de la transformée de Fourier, en introduisant des transformées localisées en temps et en fréquence. Enfin, on formalise la notion d'information grâce au concept d'entropie, lié au codage, que l'on applique à la compression de signaux et d'images (norme JPEG).

Le cours se termine par une ouverture aux mathématiques de la communication numérique en présence de bruit, thème central des technologies de la communication de l'information.

Ce cours accepte un maximum de 80 élèves

Cours dispensé en anglais

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 février 2013

MAP565 Times Series Analysis

Ce cours introduit les méthodes d'analyse, d'estimation statistique et de prédiction des séries chronologiques. Ces types de traitement statistique sont utilisés dans de nombreux domaines, des sciences de l'ingénieur aux sciences sociales, tels que l'économétrie, l'hydrologie, les problèmes de détection, localisation et poursuite de cibles, la métrologie réseau, etc. Le cadre des propriétés du second ordre et de la prédiction linéaire permettra dans un premier temps une description détaillée des approches statistiques les plus répandues d'analyse et de traitement de données temporellement dépendantes. Ces méthodes d'analyse temporelle ou spectrale s'appliquent à une vaste classe de modèles stationnaires. Le cas des modèles espace-état linéaires seront ensuite étudiés. Des algorithmes numériques pour la prédiction et l'inférence statistique seront obtenus dans ce contexte. Cette approche de la modélisation sera étendue à l'étude de modèles espace-état non-linéaires. Ceci permettra de prendre en compte différents types de dépendances temporelles en vue de traitements statistiques efficaces. Enfin, nous

consacrerons un cours au principe d'invariance d'échelle et son utilisation pour tester des hypothèses statistiques.

Les principaux prérequis sur lesquels ce cours repose sont les bases de géométrie hilbertienne et de probabilité. Une formation en modélisation stochastique, statistiques et/ou en traitement de signal compléteront idéalement ces bases.

En fin de module, un étudiant sera capable d'appliquer les méthodes d'inférence statistique et de prédiction liés à la modélisation des séries temporelles par des processus linéaires stationnaires ou dynamiques. Il sera d'autre part sensibilisé aux approches non-linéaires et aux limites des modèles stationnaires.

Cours dispensé en anglais

Niveau requis
MAP432 ou MAP 433 ou MAP555

Modalités d'évaluation
Contrôle de connaissances (écrit) et mini-projet facultatif (en binôme).

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : jeudi 21 mars 2013

MAP567 Transport et diffusion

Ce cours organisé conjointement par les départements de Mathématiques Appliquées et Mathématiques est aussi référencé MAT567.

Le but de ce cours est de présenter des modèles de transport et de diffusion de particules que l'on retrouve dans de nombreux domaines d'applications pertinents sur le plan énergétique. Par exemple, le mécanisme de réaction en chaine dans les réacteurs nucléaires, l'effet de serre en climatologie, le transfert radiatif en thermique ou en astrophysique, certains modèles de dynamique des populations structurées en biologie relèvent de cette thématique. Après une présentation mathématique de ces modèles, on montrera que la diffusion est la limite du transport dans un régime fortement collisionnel, et on expliquera la notion de masse ou de taille critique. On introduira des méthodes de résolution numérique de type différences finies et Monte-Carlo.

Ce cours peut accepter un maximum de 60 élèves.

Niveau requis
Un des 4 cours suivants :
MAP411 Modélisation mathématique,

MAP431 Analyse numérique et optimisation,
MAT431 Distributions, Analyse de Fourier et Systèmes dynamiques,
MAT432 Analyse de Fourier et Théorie spectrale.

Modalités d'évaluation
Examen écrit final

Responsable : Grégoire ALLAIRE, François GOLSE
Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 25 février 2013

MAP559 Variational Methods for Computational Fluid Dynamics

Cours non proposé pour l'année scolaire 2012/2013

Ce cours a pour but de présenter les techniques avancées de résolution, à la fois théoriques et numériques des équations aux dérivées partielles modélisant la mécanique des fluides. Les domaines concernés sont, par exemple, la mécanique des fluides incompressibles, ou les écoulements granulaires.

Par rapport aux cours MAP431 ou MAP411 dont il est une suite naturelle, on approfondira les notions qui y ont été vues dans de multiples directions. Nous verrons par exemple certaines techniques d'analyse permettant de traiter des termes non-linéaires, les problématiques de résolution pratiques de grands systèmes linéaires qui interviennent lors de la mise en oeuvre de la méthode des éléments finis par exemple, la gestion numérique de la contrainte d'incompressibilité (éléments finis mixtes), etc.

De nombreuses séances de TP sur machines permettront d'illustrer concrètement les concepts vus en cours, et de confronter les élèves à la résolution pratique de certains problèmes délicats de la mécanique des fluides comme la simulation directe d'écoulements sanguins, la chimiotaxie, ou l'évolution de la surface libre d'un écoulement.

Niveau requis
Il est vivement conseillé aux élèves souhaitant suivre ce cours d'avoir suivi auparavant le cours de MAP431 ou MAP411.

Modalités d'évaluation
Un contrôle de 3 heures en fin de cycle, et une évaluation de la présence et du travail fourni en Petite Classe

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
Dernière mise à jour : lundi 08 avril 2013