Catalogue des cours sélectionnés

1 : Topologie II
2 : Topologie I
3 : Théorie algébrique des nombres
4 : Systèmes dynamiques
5 : Méthodes Mathématiques II
6 : Méthodes Mathématiques I
7 : Introduction à la discrétisation des équations aux dérivées partielles
8 : Groupe fondamental, revêtements et théorie des nœuds
9 : Fondements mathématiques des probabilités
10 : Equations différentielles ordinaires et modèles de population
11 : Equation de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supersolides
12 : Analyse réelle et complexe
13 : Analyse Nonlinéaire
14 : Analyse

Topologie II

La topologie algébrique associe à des données topologiques des "invariants algébriques" (nombres, groupes, espaces vectoriels, . . .) dans le but de les distinguer, voire de les classi fier.

Le cours traîtera des sujets suivants :
- homologie singulière (l'exposition de cette théorie sera parallèle à celle de la cohomologie de de Rham qui est le coeur du cours de Topologie I) ;
- fibrés vectoriels ;
- classes caractéristiques.

Niveau requis : MAT553 Topologie 1

Niveau requis
Il sera préférable de connaître le contenu du cours de Topologie I.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 23 septembre 2011

Topologie I

La topologie algébrique associe à chaque espace topologique des "invariants algébriques" (nombres, groupes, espaces vectoriels etc ...) dans le but de les distinguer, voire de les classifier (à homéomorphismes près).

1ère partie du cours de Topologie différentielle - Automne
Le cours illustrera cette démarche dans le cadre des variétés différentiables (objet fondamentaux et incontournables dans presque toutes les branches des mathématiques) pour lesquelles on construira de tels invariants qui seront des espaces vectoriels réels : La cohomologie de De Rham.
On récoltera alors très élégamment les fruits de cette construction. Théorème du point fixe de Brouwer, non existence de champs de vecteurs sur les sphères de dimension paire, invariance de la dimension par homéomorphisme etc ...

Bibliographie :
- Bott et Tu : Differential forms in algebraic topology

Niveau requis
Aucun pré-requis n'est nécessaire pour suivre cette première partie du cours (trimestre 1).

Pour le cours de Topologie Différentielle du second trimestre, il faudra connaître le contenu du cours de

Topologie Différentielle du 1er trimestre. Cependant les élèves maîtrisant le contenu de ce dernier cours pourront, après accord du responsable du Master, s'inscrire en Topologie Différentielle (II).

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 23 septembre 2011

Théorie algébrique des nombres

La théorie algébrique des nombres est l'étude des propriétés algébro-arithmétiques des nombres algébriques. On s'intéresse notamment à la propriété de factorialité, c'est à dire de "factorisation unique des éléments comme produits d'éléments premiers", dans les anneaux de la forme Z[x] où x est un "entier algébrique", comme par exemple Z[i] (entiers de Gauss), Z[2^{1/3}] etc... Cette question intervient de manière cruciale dans l'étude des équations diophantiennes, l'exemple historique le plus fameux étant l'approche de Kummer (et Fermat?) pour démontrer le "dernier théorème" de Fermat, mais aussi dans de nombreuses autres questions comme la théorie entière des formes quadratiques, la réduction des endomorphismes à coefficients entiers, la théorie de la multiplication complexe ... Il se trouve que la propriété de factorialité ne persiste en général qu'au sens des idéaux (Kummer, Dedekind), et que le défaut de factorialité peut être mesuré par un groupe abélien fini "le groupe des classes d'idéaux" dont les mystères sont encore au coeur de l'arithmétique moderne.

Le cas des "entiers quadratiques", c'est à dire de Z[x] avec x^2=d entier, est historiquement le plus important et sera étudié en détail. La théorie contient alors celle des formes quadratiques binaires entières (Lagrange, Legendre, Gauss). Par exemple, il est connu depuis Fermat que si p est un nombre premier avec p = 1 modulo 4, c'est a dire si -1 est un carré modulo p,
alors p est somme de deux carrés. Comment expliquer que si -5 est un carré modulo p, c'est a dire p = 1,3,7,9 modulo 20, alors p est exclusivement soit de la forme x^2 + 5 y^2, soit de la forme 2 x^2 + 2 xy + 3 y^2 (avec x,y entiers) ? (Euler, Lagrange). Nous obtiendrons de multiples énoncés de ce type. Cela nous conduira enfin à la notion de "genre" des formes
quadratiques (Lagrange, Gauss), point de départ de la fameuse théorie du corps de classes.

Quelques notions abordées : corps de nombres, entiers algébriques, anneau de Dedekind, groupe des classes d'idéaux, théorème des unités de Dirichlet, formes quadratiques binaires entières, formules du nombre de classes et du nombre de genre.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : mardi 08 novembre 2011

Systèmes dynamiques

Ce cours permet de construire un modèle déterministe d'évolution d'un système écologique, biologique ou d'un modèle économique dans le temps et de connaître les propriétés générales et les effets d'une action extérieure sur l'évolution de ce système.

1. 20/09/10 Définition d'un système dynamique. Exemples simples : Lotka Volterra (3h) Doursat Spataro
2. 21/09/10Equations, espace de phase, équilibre, stabilité, orbites (3h),
3. 04/10/10 TP d'applications Doursat Spataro
4. 11/10/10 Réseau métabolique (C. Dillmann) Ex de système avec contrôle (E. Parent)
5. 19/10/10 Modèles épidémiologiques (R0) (3h) Suzanne Touzeau.
6. 26/10/10 Systèmes dynamiques avec contrôle, exemples en économie et écologie (3h) (T. Spataro, V. Martinet).
7. 9/11/10 Contrôle optimal déterministe Pontriaguine, Hamiltonien, règle de Hotelling, allocation optimale croissance reproduction (3h) Parent
8. 9/11/10 Programmation dynamique (temps discret) déterministe et stochastique (3h) Parent
9. 31/01/11 Equilibre stabilité des systèmes dynamiques à temps discret. Maximum sustainable yield (3h) De Lara
10. 31/01/11 TP Equilibre et stabilité gestion d'une ressource (3h) De Lara
11. 1/02/11 Exemple gestion de ressources macro croissance investissement (3h) Bureau Martinet
12. 2/02/11Exemple d'allocation croissance reproduction plante parasitoïde (3h) Spataro De Lara.
13. 2/02/11 Exemple d'allocation en milieu aléatoire (3h) De Lara.
14. 07/12/10 Evaluation

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 42
Crédits ECTS : 6
École : AgroParisTech
Dernière mise à jour : mercredi 12 janvier 2011

Méthodes Mathématiques II

Ce cours fait suite au cours Méthode Mathématiques de première année. La première partie du cours est consacrée à la théorie des probabilités. Après l'introduction des notions et des théorèmes fondamentaux, nous traiterons des lois de répartition de variables aléatoires ainsi que des théorèmes limites (loi des grands nombres, théorème central limite). La deuxième partie du cours est consacrée aux calculs des variations. Le problème central consiste à trouver la fonction y(x) qui minimise une fonctionnelle I[y(x)] donnée. Nous verrons comment ce problème conduit naturellement aux équations différentielles d'Euler-Lagrange. La mécanique classique nous fournira un grand nombre d'exemples (principe variationnel d'Hamilton, film de savon tendu entre deux anneaux etc.).La dernière partie du cours porte sur les équations aux dérivées partielles. Nous limiterons notre attention à un petit

nombre d'équations aux dérivées partielles que l'on rencontre fréquemment en physique. Diverses méthodes de résolutions (permettant d'obtenir des solutions satisfaisant à des conditions aux limites et à des conditions initiales données) seront présentées. Enfin, la notion de fonctions de Green (qui fait suite au cours de première année sur les distributions) sera introduite.

Contenu
Probabilités
Notions et théorèmes fondamentaux
Variables aléatoires et lois de répartition
Suites de variables aléatoires, théorèmes limites
Calculs des variations
Dérivée fonctionnelle
Equations d'Euler-Lagrange
Equations aux dérivées partielles
Exemples et classification
Méthodes de résolutions
Utilisation de transformations intégrales
Fonctions de Green
Préceptorat
Introduction au calcul tensoriel
Probabilités
Calcul des variations
Équations aux dérivées partielles

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 37
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 02 mai 2013

Méthodes Mathématiques I

L'objectif du cours Méthodes Mathématiques est de présenter un certain nombre de méthodes mathématiques nécessaires à une bonne formation en physique et en chimie. Il ne s'agit pas de "recettes" à appliquer aveuglément, mais d'outils mathématiques dont il importe de bien maîtriser le maniement.La première partie du cours est consacrée à la théorie des fonctions holomorphes. L'approche de Cauchy - qui repose sur la notion d'intégrale le long d'un chemin dans le plan complexe - est très féconde et conduit en particulier à la méthode des résidus et à ses diverses applications.La deuxième partie du cours présente tout d'abord les rudiments de la théorie de l'intégration de Lebesgue, puis expose en détail les notions importantes de produit de convolution, de transformation de Fourier et de transformation de Laplace.La dernière partie du cours est consacrée à la théorie des distributions conçue par

Laurent Schwartz vers 1944. Cette théorie est devenue un outil essentiel dans de nombreux domaines des mathématiques et de la physique (citons, à titre d'exemple, la théorie des équations aux dérivées partielles étudiée dans le cours de deuxième année).

Contenu
Fonctions holomorphes
Dérivée d'une fonction d'une variable complexe
Définition et propriétés
Intégration dans le plan complexe
Théorème des résidus et applications
Complément sur l'intégration et transformations intégrales
Notion de mesure et intégration de Lebesgue
Produit de convolution
Transformation de Fourier
Transformation de Laplace
Distributions
Définitions et propriétés générales
Dérivation
Produit de convolution
Transformation de Fourier
Préceptorat
Équations différentielles ordinaires
Fonctions analytiques
Fonctions analytiques
Transformées de Fourier et de Laplace
Distributions

Période : Automne
Nombre d'heures : 39
Crédits ECTS : 3
École : École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris
Dernière mise à jour : jeudi 27 mai 2010

Introduction à la discrétisation des équations aux dérivées partielles

Ce cours est centré sur la méthode des différences finies pour l'approximation des principales équations aux dérivées partielles de la physique (elliptiques, paraboliques et hyperboliques). Son objectif est double:- Introduire, sur des exemples modèles relativement simples, quelques propriétés essentielles des solutions de ces équations.- Donner les bases de la méthode des différences finies, introduire les notions de schémas explicite et implicite.- Sensibiliser les élèves aux notions de consistance, stabilité et convergence d'un schéma numérique.

Introduction à la discrétisation des équations aux dérivées partielles

Niveau requis
MA102

Modalités d'évaluation
examen écrit

Période : Automne
Nombre d'heures : 21
Crédits ECTS : 2
École : École Nationale Supérieure de Techniques Avancées
Dernière mise à jour : lundi 14 décembre 2009

Groupe fondamental, revêtements et théorie des nœuds

La théorie du groupe fondamental est l'un des premiers développements de la Topologie Algébrique. Cette théorie associe à tout espace topologique un groupe, son groupe fondamental, et à toute application continue entre espaces topologiques un homomorphisme entre leurs groupes fondamentaux.

Elle permet d'obtenir par des arguments algébriques des résultats de nature topologique, par exemple le théorème du point fixe de Brouwer. Un revêtement d'un espace est un "produit tordu" de cet espace par un espace discret. La théorie des revêtements est intimement reliée à celle du groupe fondamental : les revêtements d'un espace correspondent essentiellement aux sous-groupes du groupe fondamental de cet espace (il faut voir cette correspondance comme un analogue topologique de la correspondance de Galois de la théorie des corps).

Le coronidis loco du cours sera la théorie des noeuds : on mettra en oeuvre les théories précédentes pour étudier un invariant important d'un noeud, à savoir le groupe fondamental de son complémentaire.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 23 janvier 2009

Fondements mathématiques des probabilités

Ce cours introduit les bases mathématiques de la théorie des probabilités : la théorie de la mesure et celle de l’intégration au sens de Lebesgue.

THEORIE DE LA MESURETribus et parties d'un ensemble - Définition. Tribu engendrée, tribu image réciproque, produit d’espaces mesurables.Mesure, espace mesuré - Définitions, propriétés élémentaires, caractérisation d’une mesure finie. Prolongement d'une mesure et applications - Théorème de prolongement, mesure extérieure, mesure de Borel, ensembles négligeables, tribu et mesure complétée, tribu et mesure de Lebesgue, produit fini d’une famille d’espaces mesurés.Applications mesurables - Définition, fonctions boréliennes, exemples, propriétés, transport d’une mesure, mesure image, fonctions étagées sur un espace mesurable: définition et théorème d’approximation.Théorie de la mesure et probabilitésINTEGRATIONIntégration des fonctions mesurables positives - Intégrale d’une fonction étagée, d’une fonction mesurable, propriétés, théorème de la convergence monotone (Beppo-Lévi), lemme de Fatou, mesures à densité, théorème de changement de variable, théorème de Fubini-Tonelli. Intégration des fonctions quelconques - Intégrale d’une fonction quelconque, espaces L^p, propriétés, théorème de la convergence dominée, applications(continuité et dérivation sous le signe somme), théorème de Fubini, convolutionEspérance et moments en probabilitésCOMPLEMENTSEspaces L^p - Définitions, propriétés, inégalités de Holder et Minkowski, dualité.Transformée de Fourier

Modalités d'évaluation
écrit+CC

Période : Automne
Nombre d'heures : 40
Crédits ECTS : 3
École : École Nationale de la Statistique et de l'Administration Économique
Dernière mise à jour : mercredi 29 juillet 2009

Equations différentielles ordinaires et modèles de population

Ce cours présente les modèles déterministes de populations sans exiger un niveau de mathématiques important.

Après un rappel sur la dérivation d'une fonction, le cours aborde les équations différentielles ordinaires et leur résolution par l'analyse, les méthodes graphiques et les approximations numériques. Ces méthodes sont ensuite appliquées au modèle logisitique et au modèle de Lotke-Volterra

Période : Hiver & Printemps
Nombre d'heures : 8
École : AgroParisTech
Dernière mise à jour : vendredi 10 décembre 2010

on de Schrödinger non linéaire : des condensats de Bose Einstein aux supers

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). Jean Dalibard interviendra dans ce cours.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 18 novembre 2011

Analyse réelle et complexe

Ce cours constitue une initiation à l’analyse mathématique réelle et complexe, dont il présente quatre grandes thématiques :

- la théorie de la mesure et de l'intégration au sens de Lebesgue ;
- l’analyse de Fourier ;
- la théorie des espaces de Hilbert et les méthodes variationnelles ;
- la théorie des fonctions holomorphes (c’est-à-dire des fonctions d'une variable complexe qui sont

dérivables au sens complexe).

L'ensemble du cours vise à fournir aux élèves un socle de compétences solide en analyse fonctionnelle, qui leur ouvrira l'accès à plusieurs domaines scientifiques : mathématiques fondamentales, mathématiques appliquées, mécanique, physique théorique, … Ce cours permet d'aborder avec profit tous les enseignements de mathématiques et de mathématiques appliquées de 2ième et 3ième année, notamment le module long MAT431, ou le module court MAT432, qui constituent le prolongement naturel de ce cours.

La théorie de la mesure et de l'intégration sert de fondation à diverses branches des mathématiques et des mathématiques appliquées. Elle est couramment utilisée dans les applications (par exemple en analyse numérique). Elle offre un cadre naturel à la théorie des probabilités telle qu'elle est présentée dans le cours de 2ième année de mathématiques appliquées (MAP 432) et elle sert aussi de fondement à la théorie de la mesure géométrique. Elle sera illustrée principalement à travers ses applications en analyse de Fourier et la construction de certains espaces de Hilbert. L'analyse de Fourier trouve elle aussi de nombreuses applications : résolution des équations aux dérivées partielles, traitement du signal (voir le cours de MAP 555),… La théorie des espaces de Hilbert, qui mélange analyse et géométrie, constitue une première approche de la théorie des opérateurs et de la théorie spectrale, c'est aussi un outil essentiel pour résoudre certains problèmes variationnels (voir par exemple le cours d'optimisation MAP 431) et les équations aux dérivées partielles (voir par exemple les cours de MAT431, MAT432 ou MAP 431) qui apparaissent en physique et en mécanique (équations de la chaleur, des ondes, de Schrödinger). La théorie des fonctions holomorphes trouve des applications variées aussi bien dans divers branches des mathématiques fondamentales (théorie des nombres, géométrie, surfaces minimales, ...) que dans des domaines appliqués (mécanique des fluides, …).

Les notions mathématiques étudiées dans ce cours seront motivées et illustrées par quelques applications : l'utilisation de l'analyse de Fourier pour décrire le phénomène de diffraction en optique, l'utilisation de la théorie des espaces de Hilbert en mécanique quantique, l'utilisation des fonctions holomorphes en mécanique des fluides (aérodynamique) ou dans l'étude géométrique des surfaces minimales, ...

Cet enseignement ne fait appel à aucune connaissance mathématique particulière autre que celles figurant aux programmes des classes préparatoires. Un amphi sera néanmoins consacré aux compléments de topologie (topologie des espaces vectoriels normés et des espaces métriques) qui sont indispensables en vue de l'étude de la théorie de l'intégration au sens de Lebesgue et de l'étude des espaces de Hilbert.

Période : Printemps
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 5
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : jeudi 21 juillet 2011

Analyse Nonlinéaire

L'analyse des équations aux dérivées partielles a connu ces trente dernières années un essor considérable liée à l'apport de multiples domaines des mathématiques : la théorie des systèmes dynamiques, l'analyse harmonique, l'analyse fonctionnelle ou les méthodes variationnelles par exemple. La puissance de ces nouveaux outils permet de considérer des systèmes d'équations (souvent issus de la modélisation physique) de plus en plus complexes, et d'en décrire les solutions de plus en plus précisément.

Ce cours est dédié à un objet central dans l'étude des ondes non linéaires, pertinent dans de nombreuses situations physiques allant de la dynamique des fluides à l'astrophysique en passant par la physique des plasmas ou la physique des particules : le soliton ou onde solitaire. Cet objet exceptionnel découvert au début du vingtième siècle en mécanique des fluides est une onde qui se propage sans déformation ni atténuation dans un milieu non linéaire.

Le but du cours est de démontrer de manière auto-contenue le résultat de stabilité orbitale de l'onde solitaire obtenu par T. Cazenave et P.-L. Lions en 1983 pour l'équation de Schrödinger cubique en dimension deux. La démonstration de ce résultat nécessitera la mise en oeuvre de nombreux outils importants pour l'étude des équations aux dérivées partielles non linéaires, au coeur des techniques de l'analyse moderne.

Voici un plan indicatif du cours :

Cours 1. Analyse fonctionnelle: espaces Lp, espaces de Hilbert, convergence faible.
Cours 2. Espaces de Sobolev sur RN: définition, premières propriétés.
Cours 3. Inclusions de Sobolev, compacité, inégalités de Hardy et de Hardy-Littlewood-Sobolev.
Cours 4. Equation d'ondes linéaires sur RN: le phénomène de dispersion.
Cours 5. Estimations de Strichartz pour l'équation de Schrödinger linéaire.
Cours 6. Existence locale/globlale pour le problème non linéaire : notion d'espace critique.
Cours 7. Ondes solitaires: existence par la méthode variationnelle.
Cours 8. Le lemme de concentration compacité.
Cours 9. Stabilité orbitale du soliton.

References
[1] G. Allaire et P.-L. Lions : Analyse numéerique et optimisation, cours de l'Ecole Polytechnique.
[2] F. Bethuel : Méthodes géometriques et topologiques en EDP, Ecole Polytechnique.
[3] H. Brezis : Analyse fonctionnelle. Théorie et applications, Masson.
[4] T. Cazenave : Semilinear Schrodinger equations, Courant Lecture notes, NYU.
[5] R. Danchin : Notes de cours d'analyse fonctionnelle, http ://persomath.univmlv.fr/users/danchin.raphael/.
[6] R. Danchin : Cours d'analyse non lin eaire MAT 554 (ancienne version), http://persomath.univ-mlv.fr/users/danchin.raphael/.
[7] F. Golse : Distributions, analyse de Fourier, EDP. Cours de l'Ecole Polytechnique, MAT431.
[8] P. Raphael : Stability and blow up for the nonlinear Schrodinger equation, http://www.math.univ-toulouse.fr/ raphael
[9] Y. Martel et P. Raphael : Sur la dynamique des solitons: stabilite, collision et explosion.

Les techniques introduites dans ce cours sont centrales dans l'étude d'une large classe de problemes au coeur d'un domaine de recherche très actif. Voici quelques exemples d'EA :

* Concentration et explosion pour l'equation de Schrödinger.
* Transport non linéaire et minimiseurs de l'énergie: sur la stabilité des galaxies.
* Existence globale pour des équations non linéaires critiques.
* Existence et stabilité des multi-solitons pour l'équation des vagues dans un canal.

* Etude des poches de tourbillon pour les fluides parfaits incompressibles.
* Etude des solitons pour l'équation de Camassa-Holm.
* L'equation d'Euler incompressible.

Niveau requis
MAT431 : Le contenu de la partie "Distributions et Analyse de Fourier" du cours long de MAT431 "Distributions, Analyse de Fourier et Systèmes Dynamiques" est nécessaire pour suivre ce module.

Période : Automne
Nombre d'heures : 36
Crédits ECTS : 4
École : École Polytechnique
Dernière mise à jour : vendredi 23 septembre 2011

Analyse

L'objectif essentiel du cours est de compléter la formation mathématique des élèves de première année par une introduction aux méthodes permettant d'appréhender des modèles mathématiques faisant intervenir des équations aux dérivées partielles.

On présentera dans un premier temps certains outils fondamentaux de l'analyse (espaces de Banach, espaces de Hilbert, théorie de la mesure, distributions, espaces de Sobolev), que l'on mettra en ?uvre dans un second temps pour étudier divers modèles mathématiques issus des sciences de l'ingénieur (théorème de Lax-Milgram et application à l'étude d'équations aux dérivées partielles elliptiques linéaires). La dernière partie du cours portera sur la transformation de Fourier.

Modalités d'évaluation
Le cours, d'un volume total de 35 h, comprend deux volets. Les élèves pourront choisir entre deux options :
option 1 : le premier volet de 6 h est entièrement consacré à l'étude des espaces de Banach et de Hilbert ;
option 2 : le premier volet de 6 h comportera, outre des rappels sur les espaces de Banach et de Hilbert, une introduction à la théorie de la mesure.
L'option 1 est adaptée aux élèves qui n'ont jamais reçu d'enseignement sur les espaces de Banach et de Hilbert. L'option 2 est recommandée aux élèves qui envisagent pour les deuxième et troisième années un cursus comprenant une composante analyse ou probabilités (notamment mathématiques pour la finance).

Période : Automne
Nombre d'heures : 35
Crédits ECTS : 4
École : École des Ponts ParisTech
Dernière mise à jour : mardi 26 juillet 2011