



**FORMATION INTERUNIVERSITAIRE EN
INFORMATIQUE
À L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE**

Année scolaire 2013/2014

Département d'informatique – ENS, 45 rue d'Ulm, F-75230 Paris Cedex 05

<http://diplome.di.ens.fr>

Édition du 3 septembre 2013

<http://diplome.di.ens.fr>

Table des Matières

1. Les études d'informatique à l'ENS et le diplôme de l'École normale supérieure	5
1.1. Présentation du diplôme de l'École normale supérieure	5
1.2. L'informatique dans le diplôme de l'École normale supérieure	5
2. Responsables de la formation	6
3. Objectifs et débouchés	6
3.1. Objectifs de la filière informatique du diplôme de l'ENS.....	6
3.2. Débouchés de la filière informatique du diplôme de l'ENS.....	6
4. Conditions et procédures d'admission	7
4.1. Les élèves de l'ENS et boursiers de la section internationale	7
4.2. Les étudiants du diplôme de l'ENS.....	7
4.3. Candidature à la filière informatique du diplôme de l'ENS	7
5. Inscriptions, tutorat, programmes d'études, examens	8
5.1. Inscriptions administratives et pédagogiques	8
5.2. Tutorat.....	8
5.3. Programmes d'études.....	8
5.4. Examens	8
6. Organisation de la formation pédagogique	9
6.1. Première année	9
6.2. Deuxième année	10
6.3. Troisième année.....	10
6.4. Stages	10
7. Cours de l'année universitaire 2013-2014	11
7.1. Première année : licence (L3)	11
7.1.1 Premier semestre de la licence (L3) d'informatique	11
7.1.2 Deuxième semestre de la licence (L3) d'informatique.....	12
7.1.3 Stage.....	12
7.1.4 Filière Maths-Info de 1 ^{ère} année en 2013-2014.....	13
7.2. Deuxième année : master (M1)	15
7.2.1 Premier semestre	15
7.2.2 Deuxième semestre : stage	16
7.3. Troisième année : master (M2)	16
7.3.1 Premier semestre	16
7.3.2 Deuxième semestre : stage	17
8. Enseignements d'informatique du diplôme de l'ENS (hors filière informatique)..	17
8.1. L'informatique comme « spécialité seconde ou deuxième discipline » du diplôme de l'ENS	17

8.2. L'informatique dans le diplôme de l'ENS	17
Programme des cours de l'année 2013/2014	18
Algèbre 1	18
Algèbre 2	18
Algorithmique et programmation	18
Algorithmique des réseaux sociaux	19
Analyse complexe et harmonique	20
Aspects probabilistes de l'informatique	20
Bases de données	20
Catégories, lambda-calculs	21
Complexité avancée	21
L'Informatique scientifique par la pratique	22
Initiation à la cryptologie	23
Modélisation et simulation numérique	24
Initiation à la programmation pour non-informaticiens	24
Intégration et probabilités de base	25
Introduction à la vision artificielle	25
Langages de programmation et compilation	25
Langages formels, calculabilité et complexité	26
Logique	26
Logique et informatique	26
Planification de mouvement en robotique et en animation graphique : du continu au combinatoire via la commandabilité des systèmes	27
Projet cloud computing	29
Sémantique et application à la vérification de programmes	29
Statistique	30
Structures et Algorithmes Aléatoires	30
Système digital : de l'algorithme au circuit	31
Systèmes et réseaux	32
Théorie de l'information et codage	32
Topologie et Calcul Différentiel	33
Traitement du Signal	33

1. Les études d'informatique à l'ENS et le diplôme de l'École normale supérieure

1.1. Présentation du diplôme de l'École normale supérieure

Suite à la mise en place du système universitaire européen LMD (Licence, Master, Doctorat), l'École normale supérieure a créé en 2005 un diplôme d'établissement intitulé diplôme de l'École normale supérieure, qui complète le cursus universitaire. Sa finalité est d'offrir une variété de parcours conjuguant une formation d'excellence dans une discipline principale avec une ouverture à la fois souple et ambitieuse dans d'autres disciplines.

Le diplôme est ouvert à des étudiants, issus des classes préparatoires aux grandes écoles et des universités françaises ou étrangères, désireux de recevoir la même formation que les élèves normaliens (fonctionnaires stagiaires ou boursiers de la section internationale). Les étudiants font l'objet d'une procédure de sélection spécifique (cf.4 *Conditions et procédures d'admission*).

Le diplôme de l'ENS est délivré au terme d'une scolarité d'une durée de trois ans (en règle générale¹) pendant laquelle chaque étudiant fait valider :

- un cursus universitaire de haut niveau sanctionné par l'obtention d'un master dans une discipline qui constitue la spécialité principale du diplôme. En règle générale¹, ce cursus comprend une troisième année de licence (L3) et les deux années du master (M1 et M2), chacune des trois années correspondant à la validation d'un total de 60 unités ECTS (*European Credit Transfer System*) ;
- des formations supplémentaires validées par 36 unités ECTS au minimum sur l'ensemble des trois années. Celles-ci peuvent (i) relever de la spécialité principale (enseignements suivis dans la discipline du master), (ii) constituer la spécialité seconde du diplôme (enseignements coordonnés dans une autre discipline) ou (iii) exploiter toute la diversité de l'offre pédagogique proposée par l'ENS aux étudiants.

1.2. L'informatique dans le diplôme de l'École normale supérieure

Dans le cadre du diplôme de l'ENS, les études d'informatique prennent deux formes distinctes selon que cette discipline constitue ou non la spécialité principale de l'étudiant :

- **Élèves et étudiants informaticiens** : le Département d'informatique est la structure pédagogique et scientifique à laquelle sont rattachés tous ceux qui envisagent l'informatique comme discipline principale. Les étudiants inscrits auprès du Département d'informatique suivent la *filière informatique du diplôme de l'ENS*, qui constitue une formation spécifique de haut niveau comprenant notamment une troisième année de licence (L3) et les deux années d'un master (M1 et M2).
- **Élèves et étudiants relevant d'un autre département scientifique** : le Département d'informatique propose également une offre de formation aux étudiants inscrits dans d'autres disciplines auprès des différents départements de l'ENS. Il peut s'agir, soit d'un ensemble cohérent d'enseignements en informatique ayant vocation à constituer la spécialité seconde de l'étudiant, soit de formations ponctuelles que l'étudiant fait valider pour son diplôme en accord avec son tuteur et les responsables de ces enseignements.

Des passerelles existent entre les différents départements de l'ENS. Sous réserve de l'accord des directions des études concernées, une réorientation peut être envisagée en cours de scolarité pour les élèves de la filière informatique, soit vers d'autres disciplines au sein du diplôme de l'ENS, soit vers d'autres formations universitaires en dehors de ce cadre.

¹ L'intégration d'étudiants français ou étrangers peut aussi s'envisager en deuxième année de scolarité, c'est-à-dire à l'entrée du master : le diplôme de l'ENS est alors délivré au terme des deux années du master (M1 et M2).

2. Responsables de la formation

Directeur des études :

Marc Pouzet

Directeur des études-adjoint :

Damien Vergnaud

Directeur des enseignements :

Jean Vuillemin

Secrétariat :

Isabelle Delais

École Normale Supérieure

Département d'informatique

45, rue d'Ulm – 75230 Paris cedex 05

Tél : +33 (0) 1 44 32 20 45

Fax : +33 (0) 1 44 32 20 75

Mél : diplome AT di.ens.fr ou isabelle.delais AT ens.fr

Bureau B10 Rez de chaussée Aile Rataud

Plan d'accès : <http://www.di.ens.fr/AccesDI.html.fr>

3. Objectifs et débouchés

3.1. Objectifs de la filière informatique du diplôme de l'ENS

Les étudiants inscrits dans la filière informatique du diplôme sont rattachés statutairement au Département d'informatique de l'ENS. Celui-ci leur propose, au titre de leur spécialité principale, un parcours de type universitaire aux effectifs réduits (une vingtaine d'étudiants par promotion, en incluant les élèves normaliens et les boursiers de la section internationale) dans lequel est dispensée une formation originale d'informaticiens possédant une bonne connaissance générale des mathématiques pures et appliquées dans des secteurs variés. Un encadrement renforcé permet un rythme plus rapide et une réflexion plus approfondie que dans d'autres formations. Les enseignements sont complétés par des stages de recherche obligatoires.

Objectifs des études en informatique à l'ENS :

- l'intégration, dans un cursus d'excellence en informatique, des élèves normaliens, des boursiers de la section internationale et des étudiants retenus par le Département d'informatique pour suivre leurs études dans le cadre du diplôme de l'ENS (cf.4 *Conditions et procédures d'admission*) ;
- une formation à et par la recherche, visant à assurer une professionnalisation exigeante, qui se traduit par un enseignement d'un très haut niveau scientifique. Les stages à l'étranger, ciblés et obligatoires, permettent en outre une ouverture internationale dans les domaines choisis ;
- une orientation de chaque élève ou étudiant, respectueuse de la diversité des profils et des choix personnels, rendue possible par une structure aussi flexible que possible. À cette fin, chaque étudiant de la filière informatique est suivi par un tuteur, à titre individuel, tout au long de son parcours ; il est invité à suivre également quelques enseignements d'ouverture à d'autres disciplines qui personnalisent ce parcours de formation.

3.2. Débouchés de la filière informatique du diplôme de l'ENS

Tout étudiant titulaire du diplôme de l'ENS aura acquis un master recherche. Un étudiant qui a suivi la filière informatique du diplôme peut donc commencer une thèse de doctorat en informatique ou en mathématiques, qu'il achèvera en principe au terme de trois années de travail de recherche à l'issue de la scolarité. Il peut également commencer immédiatement une carrière non académique.

À moyen terme, une fois la thèse de doctorat éventuelle achevée, les débouchés possibles après 1, 2 ou 3 ans sont les suivants :

- chercheur en informatique dans un grand organisme de recherche publique (CNRS, CEA, INRIA, ONERA, CNES, etc.) ;
- enseignant-chercheur à l'université en France ou à l'étranger ;
- chercheur en informatique dans l'industrie (France Telecom, EADS, etc.) ;
- ingénieur informaticien dans l'industrie en France ou à l'étranger ;
- enseignant dans les classes préparatoires aux grandes écoles, plus généralement, dans l'enseignement post-baccalauréat (IUT, CNAM, etc.).

4. Conditions et procédures d'admission

4.1. Les élèves de l'ENS et boursiers de la section internationale

Ayant acquis 120 unités ECTS (niveau L2) en classes préparatoires aux grandes écoles et réussi le concours d'entrée à l'ENS, les élèves normaliens désireux de suivre un cursus en informatique commencent leurs études en informatique à l'ENS en s'inscrivant en première année de scolarité (L3).

Les boursiers de la section internationale accèdent également aux études en informatique à l'ENS, soit au niveau L3, soit directement au niveau M1 selon les études effectuées au préalable dans leur université d'origine.

4.2. Les étudiants du diplôme de l'ENS

Tout étudiant issu, soit d'une classe préparatoire aux grandes écoles, soit d'une université française ou d'un établissement universitaire étranger, justifiant directement ou par équivalence de 120 unités ECTS (niveau L2) ou 180 unités ECTS (niveau L3) est autorisé à se porter candidat au diplôme de l'ENS pour y effectuer des études en informatique.

Pour la filière informatique comme dans les autres disciplines représentées au sein du diplôme de l'ENS, la règle générale est de recruter les étudiants au niveau de la troisième année de licence (L3). L'intégration peut toutefois s'effectuer au niveau du master (M1), notamment pour les étudiants issus des universités étrangères.

4.3. Candidature à la filière informatique du diplôme de l'ENS

Les dates exactes (entre la mi-avril et la mi-juillet) et les modalités de candidature sont précisées chaque année à l'URL suivante :

<http://diplome.di.ens.fr/Candidature.html>

N.B. Bourses et Hébergement :

Les possibilités d'hébergement à l'ENS pour les étudiants admis à préparer le Diplôme de l'ENS sont extrêmement réduites. Les candidats concernés doivent s'en préoccuper sans attendre les résultats des jurys.

Les demandes de bourse et d'hébergement du Crous doivent être effectuées avant le 30 avril environ chaque année.

Les étudiants de 1^{ère} année en informatique à l'ENS seront inscrits en L3 d'informatique à l'université de Paris 7.

Les étudiants de 2^{ème} année en informatique à l'ENS seront inscrits en M1 d'Informatique à l'ENS de Paris.

5. Inscriptions, tutorat, programmes d'études, examens

A la mi-septembre, les étudiants admis à préparer le diplôme de l'ENS en informatique et les élèves qui souhaitent faire des études en informatique se présentent au secrétariat du département d'informatique pour procéder aux inscriptions administratives et pédagogiques et pour qu'un tuteur leur soit affecté.

5.1. Inscriptions administratives et pédagogiques

Les élèves/étudiants de la filière informatique doivent s'acquitter, pendant chacune des trois années de leur scolarité, d'une double inscription (i) au diplôme universitaire correspondant au cursus de l'année en cours et (ii) au diplôme d'établissement qu'est le diplôme de l'ENS :

	Cursus universitaire	Diplôme de l'ENS
1 ^{ère} année :	inscription en L3 à l'université Paris 7	inscription à l'ENS
2 ^e année :	inscription en M1 (M.P.R.I.) à l'ENS	inscription à l'ENS
3 ^e année :	inscription en M2 (M.P.R.I.) à l'ENS	inscription à l'ENS

Cursus universitaire : après leur admission à suivre les études en informatique à l'ENS, les élèves/étudiants s'inscrivent - via le secrétariat d'enseignement du département d'informatique de l'ENS - en licence (L3) à l'université Paris 7 qui leur délivre le diplôme de licence à l'issue de la première année de scolarité.

Au cours des deux années suivantes, les élèves/étudiants s'inscrivent au Master parisien de recherche en informatique (M.P.R.I.) à l'ENS qui leur délivre le diplôme de master au terme de leur scolarité. Il est également possible de s'inscrire dans un autre master (comme le master recherche spécialité « Mathématiques appliquées — mathématiques/vision/apprentissage » de l'École normale supérieure de Cachan).

Diplôme de l'ENS : l'élève/étudiant s'inscrit au « diplôme de l'École normale supérieure » au bureau des inscriptions de l'ENS. Le secrétariat du département d'informatique fournit la liste des documents nécessaires.

5.2. Tutorat

Un tuteur, enseignant ou chercheur au département d'informatique, est affecté à chaque élève/étudiant. Le rôle du tuteur est d'aider l'élève/étudiant dans l'organisation de ses études, de le conseiller pour ses stages, ses recherches, son orientation.

Il est recommandé de rencontrer régulièrement son tuteur et pas seulement au moment des programmes d'études et des bilans.

L'élève/étudiant peut demander à changer de tuteur.

5.3. Programmes d'études

Chaque année, l'élève/étudiant s'engage sur un programme d'études (ou contrat d'études) annuel qui est déposé auprès de la direction des études de l'ENS après signature du tuteur et du directeur des études du Département d'informatique. Ce document contient les enseignements obligatoires du cursus choisi, mais aussi les cours et les activités qui pourront être comptabilisés pour le diplôme, les stages, etc.

Le département d'informatique peut aussi demander des programmes d'études complémentaires.

5.4. Examens

La présence en cours, TD, TP projet est fortement recommandée.

Tout élève/étudiant dont la note finale est inférieure à la moyenne (10/20) peut demander à passer un examen de rattrapage à condition d'avoir suivi les cours/TD/projets et passé tous les examens (sauf cas de force majeure).

La note finale suite à l'examen de rattrapage sera de 10/20 maximum.

N.B. Cas d'un étudiant qui n'a pas pu passer un examen et présente un certificat médical pour être autorisé à passer la session 2 : sa note finale peut être supérieure à 10/20.

6. Organisation de la formation pédagogique

Les études en informatique dispensées dans le cadre du diplôme de l'ENS sont organisées sur trois années, correspondant aux années universitaires L3 (Licence), M1 et M2 (Master). L'obtention des diplômes universitaires requiert la validation de 60 ECTS par année. Au terme de ces trois années d'études, l'élève/étudiant qui a obtenu un master-recherche et validé, par ailleurs, des enseignements supplémentaires à hauteur de 36 unités ECTS recevra le diplôme de l'École normale supérieure à condition d'avoir effectué les inscriptions requises. On rappelle qu'aucun enseignement validé dans le cadre d'un diplôme universitaire national (licence ou master) ne peut l'être une seconde fois dans le cadre des enseignements supplémentaires du diplôme de l'ENS.

Les enseignements supplémentaires du diplôme de l'ENS se répartissent en trois catégories :

- **un module de langue (3 ECTS)** à valider en première, deuxième ou troisième année. Il existe à l'ENS une structure intitulée ECLA (Espace des cultures et langues d'ailleurs), spécialisée dans l'enseignement des langues qui propose un grand choix de modules de langues vivantes et en particulier, **des modules d'anglais pour scientifiques qui sont vivement recommandés aux élèves/étudiants d'informatique**. L'élève/étudiant peut être dispensé de ce module de langue s'il effectue un stage de 6 mois ou plus dans un pays non francophone.
- **12 ECTS de modules obligatoires de la filière informatique**. Ces modules sont à choisir parmi les modules de niveau M1 ou M2 non retenus pour valider le M.P.R.I, ou parmi les modules de mathématiques.
- des modules laissés au libre choix de l'élève/étudiant, **dont 12 ECTS au minimum hors informatique**. Ces modules sont choisis dans l'offre de formation d'autres départements de l'ENS ou dans d'autres formations universitaires, avec l'accord de leurs responsables pédagogiques, sous le contrôle du tuteur et du directeur des études du Département d'informatique.

Il est très fortement recommandé de valider chaque année 12 ECTS d'enseignements supplémentaires.

6.1. Première année

La **validation de la licence (L3) d'informatique**, dans le cadre du partenariat avec l'université Paris 7, nécessite l'obtention de 60 ECTS, répartis en 48 ECTS de cours de niveau L3 (premier et deuxième semestre) et M1 (deuxième semestre) et 12 ECTS de stage. Les enseignements sont organisés et donnés à l'ENS. Ils sont régulièrement renouvelés pour suivre de près l'actualité scientifique. La diversité des sujets traités et celle de l'origine des enseignants permettent une grande variété de débouchés potentiels.

Les élèves/étudiants valident également des enseignements supplémentaires pour le diplôme de l'ENS (au moins 12 ECTS recommandés par année).

En fin de première année, les élèves/étudiants effectuent un stage en laboratoire (universitaire et industriel) avec une priorité donnée à la province.

À la fin de la première année, la commission des études, en partenariat avec l'université Paris 7, statue sur l'obtention par l'élève/étudiant du diplôme de licence et sur son admission en seconde année du diplôme de l'ENS.

Une filière maths-info est proposée en première année. En 2013-2014, les élèves qui la choisiront seront inscrits en **L3 de Mathématiques et en L3 d'Informatique et valideront les 2 licences.** (cf. 7.1.4 Filière maths-info de 1^{ère} année).

6.2. Deuxième année

La deuxième année est constituée, au premier semestre, de cours pour au moins 30 ECTS, et au second semestre d'un stage de recherche de 5 mois environ, en laboratoire à l'étranger, comptant 30 ECTS.

Les élève/étudiants valident également des enseignements supplémentaires pour le diplôme de l'ENS (au moins 12 ECTS recommandés par année).

La commission des études se réunit à nouveau en fin de seconde année pour statuer sur la validation par l'élève/étudiant de la première année du master (M1) et sur son admission en troisième année du diplôme de l'ENS.

6.3. Troisième année

Durant cette troisième année, l'élève/étudiant achève son master en suivant au premier semestre des cours de niveau M2 pour 30 ECTS, et effectue au second semestre un stage de recherche de 5 mois minimum, en France ou à l'étranger, validant 30 ECTS.

Les élèves/étudiants valident également des enseignements supplémentaires pour le diplôme de l'ENS (au moins 12 ECTS recommandés par année).

L'année se termine le plus fréquemment par le choix d'un directeur et d'un sujet de thèse de doctorat. À ce niveau, les élèves/étudiants s'intègrent progressivement dans un laboratoire de recherche. Afin de faciliter l'insertion dans le milieu de la recherche, il est souvent judicieux de passer tout ou partie de cette année dans un laboratoire de province ou d'un autre pays européen.

La commission des études du master statue en fin d'année sur l'obtention du diplôme de master.

Après l'obtention du Master 2 et à la fin des études à l'ENS, si l'élève/étudiant s'est acquitté, en outre, de la validation d'enseignements supplémentaires à hauteur de 36 unités ECTS sur l'ensemble de sa scolarité, l'ENS lui délivre le « diplôme de l'École normale supérieure » avec une spécialité principale qui correspond à celle de son master et, le cas échéant, une spécialité seconde dans une autre discipline (cf. *Présentation du diplôme de l'ENS*).

6.4. Stages

Outre les stages obligatoires de L3, M1 et M2, il est possible à partir de la 2^{ème} année de scolarité de la filière informatique de faire une année de stage à l'étranger.

N.B. Il est nécessaire de préparer les stages plusieurs mois à l'avance pour obtenir l'accord des directeurs des études, effectuer les démarches d'obtention de visa, obtenir la signature des conventions de stage et des ordres de mission et parfois obtenir une année de césure (étudiants) ou un congé sans traitement (élèves).

7. Cours de l'année universitaire 2013-2014

Pour chaque cours dans la liste ci-dessous, sont indiqués le nom du professeur responsable et le nombre d'ECTS (*European Credit Transfer System*).

Une description plus détaillée de chaque cours d'informatique se trouve dans la dernière partie de cette plaquette.

7.1. Première année : licence (L3).

7.1.1 Premier semestre de la licence (L3) d'informatique

Les 4 cours suivants sont obligatoires :

ALGORITHMIQUE ET PROGRAMMATION (9 ECTS)

Claire Mathieu, Jacques Stern

LANGAGES DE PROGRAMMATION ET COMPILATION (9 ECTS)

Jean-Christophe Filiâtre

LANGAGES FORMELS, CALCULABILITÉ ET COMPLEXITÉ (9 ECTS)

Eugène Asarin

SYSTÈME DIGITAL: DE L'ALGORITHME AU CIRCUIT (9 ECTS)

Jean Vuillemin

L'élève/étudiant doit suivre et valider au moins 2 cours de mathématiques ou maths-info au cours des 2 premières années du cursus d'informatique.

En 1^{re} année, l'élève/étudiant peut suivre et valider des cours de la liste ci-dessous ou d'autres cours de maths ailleurs avec l'accord du tuteur et du directeur des études.

ALGÈBRE 1 (Cours DMA 12 ECTS) – 1^{er} semestre

Olivier Debarre

INTÉGRATION ET PROBABILITÉS DE BASE (Cours DMA 12 ECTS) – 1^{er} semestre

Thomas Duquesne

LOGIQUE (Cours DMA 12 ECTS) – 1^{er} semestre

Zoé Chatzidakis

STRUCTURES ET ALGORITHMES ALÉATOIRES (Cours DI 9 ECTS) – 1^{er} semestre

Anne Bouillard

ANALYSE COMPLEXE ET HARMONIQUE (Cours DMA 12 ECTS) – 2^e semestre

Olivier Biquard

TRAITEMENT DU SIGNAL (Cours DI 12 ECTS) - 2^e semestre

Stéphane Mallat

Cours spécifique à la filière maths-info

7.1.2 Deuxième semestre de la licence (L3) d'informatique

Le cours d'informatique suivant est obligatoire :

[SYSTÈMES ET RÉSEAUX](#) (9 ECTS)

Marc Pouzet

L'élève/étudiant doit choisir et valider au moins 2 cours d'informatique, parmi les cours suivants. L'un de ces cours peut-être remplacé par un cours de mathématiques ou maths-info.

[BASES DE DONNÉES](#) (6 ECTS)

Serge Abiteboul

(Ce cours a lieu à l'ENS de Cachan)

[L'INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE PAR LA PRATIQUE](#) (6 ECTS)

David Naccache

[INITIATION À LA CRYPTOLOGIE](#) (6 ECTS)

Jacques Stern, David Naccache, Damien Vergnaud

[LOGIQUE ET INFORMATIQUE](#) (6 ECTS)

Jean Goubault-Larrecq

(Ce cours a lieu à l'ENS de Cachan)

[SÉMANTIQUE ET APPLICATION A LA VÉRIFICATION DE PROGRAMMES](#) (9 ECTS)

Xavier Rival

[THÉORIE DE L'INFORMATION ET CODAGE](#) (9 ECTS)

Marc Lelarge

7.1.3 Stage

L'élève/étudiant doit effectuer un stage d'initiation à la recherche en informatique de 2 mois environ dans un laboratoire de recherche public ou privé, en France (de préférence en province) ou en Europe, entre début juin et fin août 2013.

Le stage (qui comprend aussi la rédaction d'un rapport et une soutenance) comptera 12 ECTS pour la licence (L3).

Les stages de L3 des dernières années : <http://www.di.ens.fr/~vergnaud/stages.html>

Les propositions de stages de L3 pour 2012-2013 : <http://www.di.ens.fr/~bouillar/Stages2013/>

7.1.4 Filière Maths-Info de 1^{ère} année en 2013-2014.

La filière maths-info est organisée conjointement par le DMA (Département de Mathématiques et Applications) et le DI (Département d'Informatique) de l'ENS. L'obtention de la première année nécessite l'obtention **de la L3 d'informatique et de la L3 de mathématiques**.

Formation exigeante, elle permet aux **élèves motivés** de poursuivre pendant un an une double formation en mathématiques et en informatique.

Elle donne également **aux élèves encore indécis** la possibilité de repousser d'un an le choix entre les deux disciplines.

Les élèves entrés par le concours informatique s'inscrivent au DI et les élèves entrés par concours MPI s'inscrivent au DMA.

Les élèves ont un tuteur dans leur département d'inscription.

--- Pour l'obtention de la L3 d'informatique, il faut :

- Cours d'informatique de niveau licence équivalent à 36 ECTS parmi :

-- Semestre 1 :

- Algorithmique et programmation (9 ECTS)
- Langages formels, calculabilité et complexité (9 ECTS)
- Langages de programmation et de compilation (9 ECTS)
- Structures et algorithmes aléatoires (9 ECTS)
- Système digital : de l'algorithme au circuit (9 ECTS)

-- Semestre 2 :

- Systèmes et réseaux (**obligatoire** 9 ECTS)
- Bases de données (6 ECTS)
- Informatique scientifique par la pratique (6 ECTS)
- Initiation à la cryptologie (6 ECTS)
- Logique et Informatique (6 ECTS)
- Sémantique et application à la vérification de programmes (9 ECTS)
- Théorie de l'Information et codage (9 ECTS)

-- + sous réserve de l'accord des responsables de cours, il pourra être possible de faire des projets supplémentaires : projet de Bases de données (3 ECTS), projet de cryptologie (3 ECTS), projet d'Informatique scientifique par la pratique (3 ECTS), projet de logique et informatique (3 ECTS).

- Stage (12 ECTS) et Exposé/mémoire du cursus maths-informatique (12 ECTS) :

Il s'agit d'un travail bibliographique, puis d'un stage d'initiation à la recherche d'environ 2 mois qui se déroule dans un laboratoire de recherche public ou privé, hors ENS et de préférence en province, se terminant par la rédaction d'un mémoire et une soutenance. Ce travail est co-encadré par des chercheurs des deux disciplines.

--- Pour l'obtention de la L3 de mathématiques, il faut valider 5 cours équivalent à 60 ECTS, parmi les cours de L3 :

-- Semestre 1 :

- Algèbre I (12 ECTS)
- Intégration et Probabilités (12 ECTS)
- Logique (12 ECTS)
- Topologie et calcul différentiel (12 ECTS)

-- Semestre 2 :

- Analyse complexe et harmonique (12ECTS)
- Algèbre II (12ECTS)
- Processus aléatoires (12ECTS)
- Traitement du signal (**obligatoire** 12 ECTS cours spécifique de la filière)

Un cours de L3 du 1^{er} semestre peut être remplacé par un cours de M1 fondamental :
Algèbre II ; Processus stochastiques ; Géométrie différentielle ; Analyse fonctionnelle
(12ECTS chacun)

--- A l'issue de la L3, l'élève choisit entre le Master M1 d'Informatique et le Master M1 de Mathématiques, avec l'accord du département concerné.

Poursuite en Master M1 d'informatique :

L'élève devra rattraper les cours fondamentaux non validés en 1^{re} année : Algorithmique et programmation ; Système digital, de l'algorithme au circuit ; Langages de programmation et compilation ; Langages formels, calculabilité et complexité

Poursuite en Master M1 de mathématiques :

L'élève devra rattraper les cours fondamentaux non validés en 1^{re} année : Algèbre I ; Intégration et probabilités ; Logique ; Topologie et calcul différentiel.

Ces cours pourront être utilisés pour la validation du M1.

--- A titre d'illustration, voici un exemple typique d'un cursus maths-info 2013-2014 :

-- Semestre 1 :

Langages de programmation et compilation ; Langages formels, calculabilité et complexité ; Logique ; Algèbre 1 ; Intégrations et probabilités

-- Semestre 2 :

Systèmes et réseaux ; Théorie de l'information ; Traitement du signal ; Analyse complexe et harmonique.

-- Stage et Exposé/mémoire du cursus maths-informatique

7.2. Deuxième année : master (M1)

7.2.1 Premier semestre

L'élève/étudiant en informatique devra avoir suivi et validé au moins 2 cours de mathématiques ou maths-info à la fin du M1.

Il doit donc choisir et suivre ces cours au 1^{er} semestre sauf s'il les a déjà suivis et validés en 1^{re} année.

L'élève/étudiant peut suivre et valider des cours de la liste ci-dessous ou d'autres cours de maths ailleurs avec l'accord du tuteur et du directeur des études.

ALGÈBRE 1 (Cours DMA 12 ECTS)

Olivier Debarre

INTÉGRATION ET PROBABILITÉS DE BASE (Cours DMA 12 ECTS)

Thomas Duquesne

LOGIQUE (Cours DMA 12 ECTS)

Zoé Chatzidakis

MODÉLISATION ET SIMULATION NUMÉRIQUE (Cours DMA 12 ECTS)

Erwan Faou - David Lannes

STATISTIQUE (Cours DMA 12 ECTS)

Gérard Biau

STRUCTURES ET ALGORITHMES ALÉATOIRES (Cours DI 9 ECTS)

Anne Bouillard

TOPOLOGIE ET CALCUL DIFFÉRENTIEL (Cours DMA 12 ECTS)

Patrick Bernard

L'élève/étudiant en M1 d'informatique doit valider 30 ECTS de cours au 1^{er} semestre.

En plus des cours de mathématiques, l'élève/étudiant doit choisir des cours d'informatique dans la liste suivante ou dans les cours du MPRI ([Master Parisien de Recherche en Informatique](#)).

Il est également possible, avec l'accord du tuteur et du directeur des études, de choisir les cours dans d'autres masters comme par exemple le master [MVA \(Mathématiques, Vision, Apprentissage\)](#) de l'ENS de Cachan.

Il est conseillé en M1 de découvrir plusieurs domaines de recherche en informatique.

ALGORITHMIQUE DES RÉSEAUX SOCIAUX (Cours DI : 6 ECTS)

Marc Lelarge

ASPECTS PROBABILISTES DE L'INFORMATIQUE (Cours MPRI 1-24 : 6 ECTS)

Serge Haddad

Ce cours a lieu à Paris 7.

CATÉGORIES, LAMBDA-CALCULS (Cours MPRI 1-20 : 6 ECTS)

Paul-André Melliès

COMPLEXITÉ AVANCÉE (Cours MPRI 1-17 : 6 ECTS)

Jean Goubault-Larrecq

INTRODUCTION A LA VISION ARTIFICIELLE (Cours DI : 6 ECTS)

Jean Ponce

PLANIFICATION DE MOUVEMENT EN ROBOTIQUE ET EN ANIMATION GRAPHIQUE : DU CONTINU AU COMBINATOIRE VIA LA COMMANDABILITÉ DES SYSTÈMES (Cours MPRI 1-19 : 6 ECTS)

Jean-Paul Laumond

PROJET CLOUD COMPUTING (Cours DI : 9 ECTS)

Joannes Vermorel

7.2.2 Deuxième semestre : stage

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

L'élève/étudiant est aidé dans sa recherche de stage par son tuteur, le responsable des stages de M1 et le directeur des études d'informatique. Une réunion de préparation des stages de M1 a lieu chaque année courant octobre pour que tous les stages soient trouvés fin décembre.

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

Pour valider ce stage, l'élève/étudiant doit remettre un rapport de stage vers la fin août et effectuer une soutenance d'environ 30 minutes début septembre.

Si le stage long à l'étranger n'est pas possible (raisons de santé, etc.), l'élève/étudiant devra suivre un cours de langue vivante étrangère de 3 ECTS à l'ENS pour respecter [l'article 6 de l'arrêté du 25 avril 2002 relatif au diplôme national de master](#) qui stipule que « le diplôme de master ne peut être délivré qu'après validation de l'aptitude à maîtriser au moins une langue vivante étrangère. Les parcours types de formation comprennent des enseignements permettant aux étudiants d'acquérir cette aptitude ». Dans ce cas, le stage long effectué en France compte 27 ECTS.

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

7.3. Troisième année : master (M2)

7.3.1 Premier semestre

L'élève/étudiant doit valider 30 ECTS de cours de **M2 du MPRI** ([Master Parisien de Recherche en informatique](#)). Il est possible de valider certains cours d'une autre formation universitaire, avec l'accord de son tuteur et l'accord de Damien Vergnaud qui représente l'ENS de Paris auprès de la commission des études du MPRI.

A la place du M2 du MPRI, l'élève/étudiant peut préparer et valider le **M2 du Master [MVA \(Mathématiques, Vision, Apprentissage\)](#)** de l'ENS Cachan.

L'élève/étudiant doit également valider des enseignements supplémentaires pour valider le diplôme de l'ENS, s'il n'a pas déjà acquis les 36 ECTS requis.

N.B. Les 2 cours suivants du Master 2 MVA ont lieu à l'ENS Ulm entre fin septembre et fin décembre :

MÉTHODES MATHÉMATIQUES POUR LES NEUROSCIENCES (4ECTS)

COURS INFO & MVA & UPMC MATHS ET APPLICATIONS

Olivier Faugeras

RECONNAISSANCE D'OBJETS ET VISION ARTIFICIELLE (4ECTS) COURS INFO & MVA

Ivan Laptev, Cordelia Schmid, Josef Sivic

7.3.2 Deuxième semestre : stage

Le 2^e semestre du M2 du MPRI (Master Parisien de Recherche en Informatique) est consacré à un stage de recherche de 5 mois environ dans un laboratoire français ou étranger. Le sujet, le descriptif et le lieu du stage de chaque élève/étudiant doit être validé par le correspondant MPRI de son établissement de rattachement. (Damien Vergnaud pour l'ENS Paris). Pour ce stage qui compte 30 ECTS, l'élève/étudiant doit remettre un rapport de stage d'une vingtaine de pages vers la fin août et effectuer une soutenance d'environ 30 minutes début septembre devant un jury composé des responsables et/ou d'enseignants du MPRI.

Pour le M2 du MVA, le stage obligatoire est d'environ 4 mois et a lieu entre avril et septembre.

8. Enseignements d'informatique du diplôme de l'ENS (hors filière informatique)

8.1. L'informatique comme « spécialité seconde ou deuxième discipline » du diplôme de l'ENS

Un élève/étudiant inscrit dans une autre filière du diplôme que la filière informatique (et donc rattaché à un autre département de l'ENS) peut choisir de valider un ensemble cohérent d'enseignements d'informatique pour constituer la spécialité seconde ou deuxième discipline de son diplôme. Cet ensemble cohérent d'enseignements doit représenter un total d'au moins 24 ECTS.

8.2. L'informatique dans le diplôme de l'ENS

Les élèves/étudiants possédant déjà des notions de base en informatique peuvent suivre des cours de L3 au premier semestre.

Le Département d'Informatique propose également un cours d'initiation à la programmation ouvert à tous :

INITIATION À LA PROGRAMMATION POUR NON-INFORMATIENS (3ECTS)

Damien Vergnaud

(Cours enseigné au 2^{ème} semestre)

Ce cours est ouvert aux élève/étudiants de toutes les disciplines, littéraires comme scientifiques. Aucune connaissance préalable en programmation n'est requise. Le cours n'est pas orienté à priori vers une application particulière. Il s'adaptera aux besoins des participants. Il sera utile au non informaticien qui aura un jour à programmer rapidement une simulation, mais aussi à toute personne souhaitant comprendre comment sont faits les programmes informatiques.

Programme des cours de l'année 2013/2014

Algèbre 1

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Algèbre 2

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Algorithmique et programmation

(Claire Mathieu, Jacques Stern, Zhentao Li et Damien Vergnaud)

Le cours présente les bases sur les structures de données et les principes de conception des algorithmes ainsi qu'un certain nombre de développements plus avancés. On attend des étudiants un minimum de connaissances algorithmiques. Chaque séance est organisée en deux parties, la première consacrée aux connaissances de base et la seconde à un résultat plus avancé (ou exceptionnellement plusieurs).

Algorithmes : conception et évaluation

- cours de base : terminaison, complexité, stratégies de programmation,
- cours avancé : bin packing, allocation dynamique de mémoire.

Première partie : algorithmique des structures de données

- Tri et hachage
 - cours de base : exemples de tris, hachage, collisions, hachage ouvert,
 - cours avancé : tri Shell.
- Recherche de motifs
 - cours de base : Rabin-Karp, Knuth-Morris-Pratt,
 - cours avancé : algorithmes de bio-informatique.
- Arbres
 - cours de base : arbres de recherche, exemples,
 - cours avancé : tas fusionnables (tas binomiaux, tas de Fibonacci).
- Graphes
 - cours de base : Fermeture transitive, composantes connexes, plus courts chemins,
 - cours avancé : valeurs propres et graphe d'expansion.
- Flots
 - cours de base : Ford-Fulkerson, Edmonds-Karp,
 - cours avancé : Flots unitaires, Dinic, couplages maximaux
- Réductions
 - cours de base : introduction à P, NP, NP-complétude,
 - cours avancé : preuves de NP-complétude par réductions.

Deuxième partie : algorithmique numérique et symbolique

- Entiers
 - o cours de base : multiplication, exponentiation,
 - o cours avancé : tests de primalité.
- Transformation de Fourier rapide
 - o cours de base : FFT, complexité,
 - o cours avancé : multiplication rapide.
- Programmation linéaire
 - o cours de base : simplexe, complexité,
 - o cours avancé : méthode de l'ellipsoïde.
- Algèbre linéaire et géométrie des nombres
 - o cours de base : décomposition LUP, moindres carrés,
 - o cours avancé : réseaux à coordonnées entières; algorithme LLL.
- Factorisation des Polynômes
 - o cours de base : polynômes à coefficients entiers, pgcd, polynômes binaires,
 - o cours avancé : algorithme de Berlekamp, Cantor-Zassenhaus.
- Systèmes d'équations polynomiales
 - o cours de base : algorithmes de base standard,
 - o cours avancé : complexité exp-space.

Page du cours 2012-2013 : <http://www.di.ens.fr/algoL3/>

Environ 48h cours/TD et 24h projet/mémoire.

En 2013-2014, cours/TD le lundi de 15h30 à 18h30 et le mercredi de 16h30 à 18h30 à partir du lundi 23 septembre 2013.

Examens les lundis 4 novembre 2013 et 20 janvier 2014 de 15h30 à 18h30. Projet de programmation avec soutenance en décembre.

(Cours Info : 9 ECTS)

Algorithmique des réseaux sociaux

(Marc Lelarge)

Ce cours constitue une introduction aux techniques mathématiques et algorithmiques nécessaires à la modélisation et à l'étude des réseaux sociaux.

Dans une première partie, nous présenterons les principaux modèles de graphes aléatoires et leurs propriétés.

Dans une seconde partie, nous étudierons les dynamiques de diffusions et d'influence dans ces réseaux ainsi que leurs implications algorithmiques.

Dans une dernière partie, nous verrons les bases mathématiques des algorithmes d'inférence en lien avec les deux premières parties.

Voici quelques exemples qui seront traités en cours:

pagerank, algorithmes de streaming, détections de communautés, algorithmes spectraux, algorithmes de 'crowd-sourcing', algorithmes de recommandations de contenus.

Validation: examens à la maison.

<http://diplome.di.ens.fr/#AlgoReseauxSociaux>

Nouveau cours de M1 en 2013-2014.

Cours du 1^{er} semestre : cours et TD le lundi après-midi et le mardi matin

(Cours Info : 6 ECTS)

Analyse complexe et harmonique

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Aspects probabilistes de l'informatique

(Serge Haddad)

Le but de ce cours est de couvrir plusieurs aspects des probabilités qui apparaissent en informatique. Plus précisément, il consiste en quatre parties :

- Les chaînes de Markov (incluant le cas infini) en mettant l'accent sur le comportement transitoire et stationnaire et en insistant sur les aspects algorithmiques.
- Les processus de décision markoviens et leur problèmes d'optimisation (récompense à horizon fini, récompense actualisée, récompense moyenne). On établira l'existence de stratégies positionnelles optimales et on concevra des algorithmes opérant en temps polynomial. L'observation partielle sera introduite par le biais des automates probabilistes.
- Les algorithmes aléatoires en relation avec l'optimisation et l'approximation.
- Les graphes aléatoires en décrivant les propriétés presque sûres, les phénomènes de seuil et l'application aux réseaux sociaux.

Voir la page de ce cours MPRI M1-24 sur le site du MPRI :

<https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-24>

Validation : Examens + devoirs à la maison

Ce cours a lieu à Université Paris Diderot (Université Paris 7)
(Cours Info : 6 ECTS)

Bases de données

(Serge Abiteboul)

1. Introduction: Bases de données et SGBD
2. Modèle relationnel: Algèbre et calcul relationnels, théorème d'équivalence
3. Langages utilisés en pratique, SQL
4. Gestion de fichiers, structures d'accès: Arbres B, hachage
5. Optimisation de requêtes
6. Concurrence et transactions: Sérialisabilité, verrouillage à deux phases, estampillage et panes
7. Gestion de données distribuées
8. Contraintes d'intégrité

Descriptif de ce cours mis à jour sur : <http://www.dptinfo.ens-cachan.fr/L3/contenu.php#bd>

Page web du cours : <http://abiteboul.com/TEACHING/DBCOURSE/>

Ce cours a lieu à l'ENS de Cachan.
(Cours Info : 6 ECTS)

Catégories, lambda-calculs

(Paul-André Melliès)

Ce cours s'intéresse à la syntaxe et à la sémantique des langages de programmation, à partir du lambda-calcul. On rappellera les principaux théorèmes syntaxiques du lambda-calcul : confluence, standardisation, résultats de terminaison. Puis on étudiera les modèles du lambda-calcul : pour ce faire, le langage de la théorie des catégories sera utilisé.

Plus généralement, les catégories servent à interpréter bien des extensions du lambda-calcul (avec références, exceptions, etc.), ainsi qu'à comprendre et structurer des notions de concurrence (notamment la notion de bisimulation). Le cours fournit une introduction assez générale et complète au formalisme catégorique, et l'applique à la sémantique des langages de programmation.

Interpréter un langage dans un modèle s'apparente à une compilation, et les modèles offrent ainsi des occasions de retour sur la syntaxe : machines abstraites pour l'exécution des programmes, preuves de propriétés de programmes. Dans le même ordre d'idées, ce sont des observations sur un modèle du lambda-calcul qui ont conduit Girard à la logique linéaire, munie de connecteurs exprimant un contrôle sur l'usage des hypothèses vues comme ressources, ou bien plus récemment Thomas Ehrhard au lambda-calcul différentiel, qui relie de manière originale substitution et... formule de Taylor.

Support de cours :

- Domains and Lambda-calculi. R. Amadio et P.-L. Curien. Cambridge University Press, 1998.
- Categorical semantics of linear logic. P.-A. Melliès. Paru dans la collection Panorama et Synthèse, Société Mathématique de France, 2009.

Et aussi :

- Semantics of programming languages. C. Gunter. MIT Press, 1992.
- Categories, types and structures. A. Asperti and G. Longo. MIT Press, 1991 (épuisé, mais disponible sur la page web de Giuseppe Longo (di.ens.fr)).
- Theories of programming languages. J. Reynolds. Cambridge University Press, 1992.

Pour le lambda-calcul :

- The Lambda-calculus. H. Barendregt. North Holland, 1984.
- Lambda-calcul, types et modèles. J.-L. Krivine. Masson, 1990.

Pour les catégories, lire les premiers chapitres d'un livre tel que:

- Toposes, Triples and Theories. M. Barr and C. Wells. Springer, 1985.
- Sheaves in Geometry and Logic: a first introduction to topos theory. S. Mac Lane and Ieke Moerdijk. Springer, 1992.

Pour plus de renseignements sur ce cours MPRI 1-20, consulter les pages :

<http://www.pps.jussieu.fr/~mellies/mpri-ens.html>

(Cours Info : 6 ECTS)

Complexité avancée

(Jean Goubault-Larrecq)

La théorie de la complexité va bien au-delà de celle de la NP-complétude. Le but de ce cours est d'aller regarder un certain nombre d'autres constructions fondamentales de la théorie de la complexité: complexité en espace, notions de machines alternantes, ou randomisées. On y verra quelques théorèmes fascinants: l'équivalence du temps alternant et de l'espace déterministe par exemple, ou le théorème $IP=PSPACE$ de Shamir.

Description du cours

- la hiérarchie polynomiale, les machines alternantes, la classe PSPACE. QBF est PSPACE-complet.
- classes de complexité alternantes, jeux. Les théorèmes de Chandra-Kozen-Stockmeyer: $AL=P$, $AP=PSPACE$. Réductions en espace logarithmique. HORNSAT est P-complet.
- l'accessibilité dans les graphes orientés est NL-complète. Le théorème d'Immerman-Szelepcsényi: la non-accessibilité dans les graphes orientés est aussi NL-complète. Donc $NL=coNL$.
- classes de complexité randomisées: RP, coRP, BPP, ZPP. Réduction d'erreur. La classe P/poly. Le théorème de Bennett-Gill: $BPP \subseteq P/poly$. Le théorème de Karp-Lipton; si $NP \subseteq BPP$ alors PH s'effondre au niveau 2. Le théorème de Sipser et Gács: BPP est au niveau 2 de la hiérarchie polynomiale.
- Jeux entre Arthur et Merlin. Les classes MA et AM. Le théorème de Babai: $MA \subseteq AM$, la hiérarchie Arthur-Merlin s'effondre. $BP.NP = AM$. Les jeux entre Arthur et Merlin via l'alternance entre quantificateurs \exists et \forall . Preuves interactives. GRAPH-NON-ISOMORPHISM est dans IP [1].
- techniques de hachage universel, GRAPH-NON-ISOMORPHISM est dans AM (preuve directe), l'erreur peut être ramenée à zéro si $x \in L$ pour tout langage L de AM, AM est au niveau 2 de la hiérarchie polynomiale. Théorème de Goldwasser-Sipser: $IP[k] \subseteq AM[k+1]$. Théorème de Boppana-Håstad-Zachos: si $coNP \subseteq AM$ alors PH s'effondre au niveau 2. Conséquence pour GRAPH-NON-ISOMORPHISM.
- Classes à nombre de tour polynomial: ABPP, IP. Théorème de Shamir: $ABPP=IP=PSPACE$.
- (s'il y a le temps) problèmes d'approximation. Les seuils d'approximation de NODE COVER, TSP, KNAPSACK, MAXSAT. Le théorème d'Arora-Safra: $NP=PCP(O(\log n), O(1))$ (sans démonstration). Equivalence du théorème d'Arora-Safra et de l'inapproximabilité de MAX3SAT.

Pré-requis

On s'attend à ce que les étudiants aient une certaine familiarité avec la notion de Machine de Turing, la classe P (temps polynomial déterministe), la classe NP (temps polynomial non-déterministe), les notions de réductions en temps polynomial, le théorème de Cook (SAT est NP-complet) même si toutes ses notions seront rapidement revues au début du cours.

Pour plus de renseignements sur ce cours MPRI 1-17 (6 ECTS), consulter sa page sur le site du MPRI :

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

(Cours Info : 6 ECTS)

L'Informatique scientifique par la pratique

(David Naccache)

Le cours d'Informatique scientifique par la pratique permet aux élèves de s'initier à la rédaction d'un article en s'attaquant à un véritable problème de recherche.

Le travail s'effectue en appliquant des techniques mathématiques et informatiques vues lors de divers cours de l'ENS et en explorant et apprenant de nouveaux outils, autant que nécessaire.

Les étudiants se voient exposer au début du cours plusieurs défis mathématiques et informatiques et forment des groupes.

Chaque défi est analysé par le groupe (sous la supervision de l'enseignant et ses doctorants) et des solutions théoriques lui sont proposées et débattues.

Les solutions sont ensuite analysées et programmées. Les résultats sont structurés (en anglais) sous la forme d'un article de « professionnel » qui peut être soumis à une conférence à comité de lecture (ou même à un journal).

40% des articles préparés dans le cadre du cours sont effectivement parus (après avoir été sélectionnés par des comités de lecture) à des conférences internationales.

Les publications ont souvent été cosignées avec des chercheurs expérimentés qui ont intégré les modèles, la théorie ou les programmes des élèves dans des travaux de recherche globaux (à ce jour, ces chercheurs appartiennent à Telecom ParisTech, Ecole des mines de Saint Etienne, Samsung Research, Altis Semiconductor, Université de Bucarest, Ingenico, Technische Universität Darmstadt, University of Bristol, Morpho, ETS Montréal, Université Paris 8 etc).

<http://diplome.di.ens.fr/#InformatiqueScientifiquePratique>

Cours du 2^e semestre. Environ 24h de cours et 48h projet/mémoire

(Cours Info et MPRI 1.23: 6 ECTS)

(Possibilité de valider 3 ECTS supplémentaires en particulier pour les élèves du cursus L3 maths-Info)

Initiation à la cryptologie

(Jacques Stern, Damien Vergnaud)

Ce cours sert à la fois d'initiation à la cryptologie et de préparation au cours de niveau 2. Il s'adresse aux étudiants ayant un goût pour l'algorithmique, à la fois dans ses aspects mathématiques et dans ses aspects pratiques. Le but de ce cours est d'enseigner la problématique de la cryptologie, et les principaux outils utilisés par la cryptologie pour proposer des solutions aux problèmes de sécurité.

Le cours est divisé en 6 parties relativement indépendantes, chacune avec des heures de cours et de TD.

- Introduction à la cryptographie
 - o Permutations, substitutions, cryptanalyse (types d'attaques).
 - o Intégrité, confidentialité, authenticité. One Time Pad.
- Cryptographie symétrique
 - o Chiffrement par flot.
 - o Chiffrement par bloc.
 - o Modes d'opération (CBC, ECB, CTR).
 - o Exemples: DES, AES, RC4, A5/1.
 - o Hachage, MAC.
- Compléments d'algorithmique
 - o Algorithmique des entiers.
 - o Arithmétique modulaire.
 - o Corps finis.

- Cryptographie asymétrique
 - o RSA, Diffie-Hellman, El Gamal.
 - o Multiplicativité de RSA (Hastad, attaques multiplicatives).
 - o One-way Functions, trappes.
 - o Générateurs pseudo aléatoires.
 - o Signatures RSA, El Gamal.
- Protocoles
 - o Introduction aux preuves à divulgation nulle de connaissance (ZK).
 - o Identification, signatures (FS, Schnorr).
- Applications
 - o PKI, IPSEC.
 - o Canal sécurisé : SSL.

Pré-requis : On aura besoin des notions de classes de complexité, de machine de Turing, de problèmes NP. Un minimum de connaissance en algèbre et en probabilité sera aussi requis. Enfin les outils algorithmiques de base doivent être maîtrisés. Les élèves doivent aussi connaître le langage C ou Python pour certains TDs.

Pour plus de renseignements sur ce cours MPRI 1-13, consulter sa page sur le site du MPRI : <https://wikimpri.dptinfo.ens-cachan.fr/doku.php?id=cours:c-1-13>

Ce cours a lieu le lundi après-midi au 2^e semestre
(Cours Info : 6 ECTS)

Modélisation et simulation numérique

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Initiation à la programmation pour non-informaticiens

(Damien Vergnaud)

Ce cours est ouvert aux élèves de toutes les disciplines, littéraires comme scientifiques. Aucune connaissance préalable en programmation n'est requise. Le cours n'est pas orienté à priori vers une application particulière. Il s'adaptera aux besoins des élèves. Il sera utile au non informaticien qui aura un jour à programmer rapidement une simulation, mais aussi à toute personne souhaitant comprendre comment sont faits les programmes informatiques.

- Python en ligne de commande (la calculatrice, les variables, les types, ...)
- Programmation (scripts, conditions, boucles, fonctions)
- Calcul scientifique en Python (Scipy/Numpy/Pylab)
- Calcul efficace : programmation vectorielle (comme Matlab)

Ce cours a lieu au 2^e semestre. Pour plus de renseignements sur ce cours, consulter : <http://www.di.ens.fr/~vergnaud/initPython.html>

(Cours Info : 3 ECTS)

Intégration et probabilités de base

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Introduction à la vision artificielle

(Jean Ponce)

Ce cours présente les principes et les fondations techniques de la vision artificielle, un domaine scientifique dont le but est de doter les ordinateurs de la capacité d'interpréter le contenu des images numériques (photographies et vidéos).

Le cours comprend des exercices de programmation en Matlab/Scilab.

Plan :

1. Formation des images : Modèles des appareils de prise de vue, de la lumière et de la couleur.
2. Traitement d'image local : Filtres, détection de contours, caractéristiques visuelles, texture.
3. Groupes de pixels : Méthodes de "clustering", régression, et segmentation.
4. Plusieurs images : Géométrie multi images, stéréo, analyse du mouvement.
5. Analyse de scène : Détection et reconnaissance de visages, sacs de caractéristiques visuelles pour la reconnaissance de catégories d'objets.

Bibliographie :

D.A. Forsyth et J. Ponce, "Computer Vision: A Modern Approach", Prentice-Hall, 2002.

(Cours Info : 6 ECTS)

Langages de programmation et compilation

(Jean-Christophe Filliâtre)

Ce cours présente les principaux concepts des langages de programmation au travers de l'étude de leur compilation, c'est-à-dire de leur traduction vers le langage machine. Les TDs ont pour objectif de programmer certaines des notions vues en cours. L'évaluation comprend un projet consistant en la réalisation d'un petit compilateur.

- Mise à niveau Caml
- Principes de la compilation / Architecture MIPS
- Syntaxe abstraite / Sémantique / Interprète
- Analyse sémantique
 - Typage monomorphe
 - Polymorphisme / algorithme W
 - Propriétés d'un système de types
- Analyse lexicale et syntaxique
- Compilation des langages impératifs
 - Tableaux d'activation
 - Mode de passage des paramètres
- Compilation des langages fonctionnels
 - Fonctions comme valeurs de première classe
 - Compilation du filtrage
- Compilation des langages à objets
 - Typage statique et typage dynamique
 - Représentation des objets et exécution

- Glaneurs de cellules (GC)
- Production de code efficace
 - Langages intermédiaires RTL, ERTL, LTL
 - Allocation de registres

Pour plus de renseignements sur ce cours, consulter : <http://www.lri.fr/~filliatr/ens/compil/>

Validation : examen + projet. Environ 48h cours/TD et 24h de projet.
Cours du 1^{er} semestre : cours le jeudi après-midi. TD le vendredi matin.
(Cours Info : 9 ECTS)

Langages formels, calculabilité et complexité

(Eugene Asarin)

1: Langages réguliers, leurs propriétés et leur caractérisation par automates, expressions régulières, formules logiques, monoïdes. Langages sans étoile.

Premières notions sur les langages de mots infinis.

2: Grammaires et hiérarchie de Chomski. Langages hors contexte, leurs propriétés, leur caractérisation par automates à pile.

3: Calculabilité (fonctions récursives et Machines de Turing). Problèmes décidables, indécidables, semi-décidables.

4: Complexité en temps et espace. Bornes de complexité. Classes de complexité (NP, Pspace) et problèmes complets.

Page du cours 2012-2013 de M Asarin sur : <http://www.liafa.jussieu.fr/~asarin/ENS/lf.html>

Livre support du cours : <http://www.liafa.jussieu.fr/~carton/Lfcc/>

Validation : soutenance + examen. Environ 48h de cours/TD et 24h proejt/mémoire.
Cours du 1^{er} semestre : cours le jeudi matin. TD le vendredi matin.
(Cours Info : 9 ECTS)

Logique

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Logique et informatique

(Jean Goubault-Larrecq)

Ce cours explore les bases du lambda-calcul, un outil inventé par le logicien Alonzo Church dans les années 1930 et qui est aujourd'hui fondamental tant en sémantique des langages de programmation (informatique) qu'en théorie de la preuve (logique).

1. Aspects informatiques:

- Lambda-calcul, langages fonctionnels, sémantique opérationnelle (réduction).
- Expressivité. Combinateurs de point fixe et récursion.

- Terminaison, développements finis, confluence et réductions parallèles.
 - Stratégies de réduction: par nom, par nécessité. Standardisation.
 - Modèles du lambda-calcul, P-omega.
 - Calculs à substitutions explicites, machines. Géométrie de l'interaction
2. Aspects logiques :
- Lambda-calcul simplement typé;
 - Correspondance de Curry-Howard entre ce dernier et les preuves en logique minimale propositionnelle;
 - Extension à la logique classique, captures de continuations et gestion d'exceptions;
 - Arithmétique, le système T;
 - Lambda-calcul typé du second ordre : le système F de Girard-Reynolds, correspondance avec la logique intuitionniste d'ordre deux;
 - Propriétés de normalisation forte, élimination des détours.

Bibliographie :

- Henk Barendregt. The lambda-calculus, its syntax and semantics. North-Holland, 1984.
- Jean-Louis Krivine. Lambda-calcul, types et modèles. Masson, 1992.
- Jean-Yves Girard, Yves Lafont & Paul Taylor. Proofs and Types. Cambridge University Press 1989.

Notes de cours :

<http://www.lsv.ens-cachan.fr/~goubault/Lambda/loginfoindex.html>

Ce cours a lieu à l'ENS de Cachan au 2^e semestre

(Cours Info : 6 ECTS)

Planification de mouvement en robotique et en animation graphique : du continu au combinatoire via la commandabilité des systèmes

(Jean-Paul Laumond)

La planification de mouvement s'intéresse au calcul automatique de chemins sans collision pour un système mécanique (robot mobile, bras manipulateur, personnage animé...) évoluant dans un environnement encombré d'obstacles. Les méthodes consistent à explorer l'espace des configurations du système : une configuration regroupe l'ensemble des paramètres permettant de localiser le système dans son environnement. Aux obstacles de l'environnement correspondent des domaines à éviter dans l'espace des configurations. La planification de mouvement pour le système mécanique se trouve ainsi ramenée au problème de la planification de mouvement d'un point dans une variété non simplement connexe.

- Introduction : le mouvement en Robotique, en CAO et en Animation Graphique.
- Modélisation du problème de la planification de mouvement
 - o L'espace des configurations par l'exemple : trois méthodes de résolution du problème de déplacement d'un polygone en translation.
 - o L'apport de la géométrie algébrique réelle : le problème est décidable.
 - o L'apport de la topologie algébrique pour le mouvement au contact.

- Les grandes méthodes de résolution
 - Décomposition cellulaire. Exemple du mouvement coordonné de deux disques.
 - Rétraction. Exemple du problème de la manipulation d'objets.
- Les systèmes non holonomes
 - Éléments de géométrie différentielle. Commandabilité. Degré de non holonomie.
 - Chemins optimaux pour robots mobiles de type voiture. La planification de mouvement par algorithme d'approximation de chemins holonomes. Complexité.
 - Systèmes chaînés et commandes sinusoïdales. Systèmes plats et approche géométrique.
 - Un cas d'étude complet : planification et exécution de mouvements pour un chariot à remorque.
- Les nouvelles méthodes par recherche aléatoire.
- Contrôle du mouvement : du manipulateur au robot humanoïde
 - Méthodes numériques fondamentales : pseudo-inverse, algorithmes de descente
 - Modélisation des robots et inversion du modèle géométrique
 - Un cas appliqué d'inversion numérique : la cinématique inverse. Exemple de l'asservissement visuel
 - Dynamique inverse : la programmation quadratique sous contrainte.
 - Commande optimale computationnelle : application à la génération de la marche bipède
 - Travaux pratique : génération de mouvement en simulation avec le robot humanoïde Roméo. Etude de l'échantillonnage de sous variétés implicites.

Bibliographie :

- J.T. Schwartz, M. Sharir and J. Hopcroft (Eds), Planning, Geometry and Complexity of Robot Motion, Ablex Series in Artificial Intelligence, Ablex Publishing, 1987.
- J.C. Latombe, Robot Motion Planning Kluwer Academic Publishers, 1991.
- J.P. Laumond (Ed), Robot Motion Planning and Control, Lectures Notes in Control and Information Science, 229, Springer Verlag, 1998 (épuisé mais disponible gratuitement sur <http://www.laas.fr/~jpl>).
- B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo, Robotics : Modelling, Planning and Control, Springer, London, UK, 2009.

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

Cours du 1er semestre : le mardi de 12h45 à 15h45.

(Cours Info et MPRI 1-19 : 6 ECTS)

Projet cloud computing

(Joannès Vermorel)

Ce cours présente les concepts fondamentaux du génie logiciel, avec un intérêt pour les systèmes complexes / distribués, notamment dans le cadre du "cloud computing".

Le cours est associé à un projet de développement logiciel. Chaque séance inclut un cours magistral suivi d'un bilan collectif sur l'avancement du projet.

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

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

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

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

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

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

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

Notes de cours : <http://vermorel.com/software-engineering/>

Bibliographie:

- AntiPatterns by William J. Brown, Raphael C. Malveau, Hays W. "Skip" McCormick, Thomas J. Mowbray

- Joel on Software: And on Diverse and Occasionally Related Matters That Will Prove of Interest to Software Developers, Designers, and Managers, and to Those Who, Whether by Good Fortune or Ill Luck, Work with Them in Some Capacity by Joel Spolsky

- Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software by Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John M. Vlissides

Environ 24h de cours et 48h de projet.

A compter de 2013-2014, cours de M1 qui aura lieu au 1^{er} semestre certainement le vendredi matin.
(Cours Info : 9 ECTS)

Sémantique et application à la vérification de programmes

(Xavier Rival)

Descriptif :

Dans ces cours, nous étudierons les techniques permettant de raisonner sur les programmes, afin de vérifier des propriétés de correction.

Nous nous intéresserons tout d'abord aux fondements de la sémantique des langages de programmations, et à la notion de preuve de programmes à l'aide de triplets "à la Hoare".

Ensuite, nous formaliserons les différents types de propriétés intéressantes (sûreté, vivacité, sécurité).

Enfin, nous aborderons plusieurs approches permettant de vérifier des programmes de manière automatique (analyse statique par interprétation abstraite, vérification de modèles de systèmes finis, résolution modulo théorie): l'inférence des étapes de la preuve est alors confiée à un autre programme informatique.

Plan du cours :

- Types de sémantiques usuelles (opérationnelle, dénotationnelle) et application à un langage de programmation impératif.
- Preuve de programmes à l'aide de la logique de Hoare, notions de pré- et post-conditions.
- Propriétés de sûreté, de vivacité et méthodes de preuves associées (application à la vérification de correction partielle/totale) ; autres classes de propriétés utiles pour raisonner sur des programmes.
- Notion d'équivalence de programme pour une observation donnée et application à la vérification de transformations de programmes (e.g., compilation).
- Fondements de l'interprétation abstraite et application à la conception d'analyseurs statiques.
- Méthodes de vérification de modèles.

En complément de la partie théorique, les TDs et TPs présenteront des applications concrètes de ces techniques.

<http://diplome.di.ens.fr/#SemantiqueVerification>

Nouveau cours en 2013-2014. Cours du 2^e semestre. Vérifier emplois du temps
(Cours Info : 9 ECTS)

Statistique

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Structures et Algorithmes Aléatoires

(Anne Bouillard)

Objectif : Ce cours vise à donner aux étudiants les bases de probabilités qui sont utilisées dans divers domaines de l'informatique (algorithmique, algorithmes stochastiques, réseaux de communication,...)

Plan : ce cours est divisé en deux parties :

Probabilités discrètes et applications

- Variables aléatoires, indépendance, conditionnement
- Méthode probabiliste
- Graphes aléatoires

Modèles markoviens

- Chaînes de Markov, comportement asymptotique
- Simulation Monte Carlo et simulation parfaite

<http://diplome.di.ens.fr>

- Champs de Gibbs

Pour chaque thème abordé, des exemples d'application dans divers domaines de l'informatique seront présentés.

Pour plus de renseignements sur ce cours, consulter : <http://www.di.ens.fr/~bouillar/SAA/index.html>

Validation : examen et projet. Environ 48h cours/TD, 24h projet/mémoire.

Cours du 1^{er} semestre le vendredi après-midi et TD le mercredi matin.

(Cours Info : 9 ECTS)

Système digital : de l'algorithme au circuit

(Jean Vuillemin, Timothy Bourke)

Le *cours théorique* présente la composante *matérielle* du monde informatique. Des principes de conception et de réalisation des *circuits*, à diverses applications du calcul numérique haute performance : en physique, électronique, algèbre et télécommunication. Chaque application va de l'algorithme (logiciel) au circuit (matériel) : mêmes opérations, autres performances.

La *partie pratique* du cours est un projet, à réaliser par groupes : chaque groupe doit entièrement concevoir un *microprocesseur*, et le réaliser au moyen de portes logiques élémentaires ; il faut ensuite simuler les portes en fonctionnement, et programmer le microprocesseur pour en faire une *montre numérique*, simulée en temps-réel.

1. **Circuit digital synchrone** : Circuit combinatoire et portes logiques. Registre et circuit digital synchrone. Réalisation d'un circuit de *montre numérique*. Complexité et synthèse BDD de circuits.
2. **Nombres binaires** : des bits aux entiers 2-adiques ; algèbre et anneau de Boole ; hyper-cube et ensembles d'entiers. Arithmétique 2-adique et circuits en séries. Opérations logiques et ensemblistes sur les entiers : algèbre binaire.
3. **Circuits électroniques** : des portes aux transistors ; de la logique à son dessin sur silicium. Schémas électriques et dessin au micron d'un additionneur série. Mémoires ROM et RAM. Technologies de fabrication : ASIC, FPGA. Lois de Moore.
4. **Arithmétique sur silicium** : additionneurs et multiplicateurs, en série et en parallèle ; profondeur minimale. Compromis optimaux entre surface et temps. Unité arithmétique et logique. Division par les poids faibles ; racine 2-adique.
5. **Machines universelles** : machine de Turing sur silicium. Microprocesseur programmable à la Church. Nombre réel calculable, et limites du calcul automatique. Arithmétiques en ligne : réels vs. 2-adiques. Logique programmable FPGA et systèmes dynamiquement reconfigurables.
6. **Physique numérique** : algorithme (transformée de Hough rapide) et réalisation d'un circuit d'identification de lignes droites dans des images digitales haute fréquences du détecteur ATLAS du LHC ; principe et réalisation d'un circuit pour connaître les flux thermiques d'un microprocesseur en marche, par résolution numérique massivement parallèle de l'*équation de la chaleur*.
7. **Télécommunications** : introduction à la théorie de Shannon, source et canal ; entropie des données, algorithme de Huffman, compression LZW. Contrôle des erreurs ; entropie du bruit ; code de Hamming ; code de Viterbi.
8. **Audio et vidéo** : convertisseurs A/D et D/A ; compromis vitesse/résolution. Saisie, codage et transmission des images ; compression sans perte visible à l'œil : images fixes JPEG et séquences vidéo MPEG. Codage MP3 et transmission du son.

Pour plus de renseignements sur ce cours, consulter :

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

Validation : examen et projet. Environ 48h cours/TD, 24h projet.
Cours du 1^{er} semestre le mardi après-midi.

(Cours Info : 9 ECTS)

Systemes et reseaux

(Marc Pouzet)

Le cours de systemes presente les concepts fondamentaux des systemes d'exploitation, leur utilisation et leur mise en oeuvre dans un systeme UNIX.

Ce cours abordera, en autres, les points suivants :

- systeme de fichiers;
- gestion des processus;
- memoire virtuelle;
- communication et synchronisation entre processus concurrents (memoire partagee, signaux, semaphores, sockets);
- ordonnancement preemptif et non-preemptif; OS temps reel;
- modeles de concurrence de haut niveau.

Les notions introduites seront illustrees par l'ecriture d'applications en C ou en Ocaml, en utilisant l'interface POSIX.

La page du cours : <http://www.di.ens.fr/~pouzet/cours/systeme/>

Validation : examen et projet. Environ 48h cours/TD, 24h projet.
Cours du 2^e semestre : cours et TD le jeudi après-midi.

(Cours Info : 9 ECTS)

Theorie de l'information et codage

(Marc Lelarge)

- Notions de base :
Entropie, information mutuelle, suites typiques, inegalite de Fano.
- Compression de donnees :
Codage de source, inegalite de Kraft, codages de Huffman, Ziv-Lempel, theorie de la distorsion.
- Capacite d'un canal :
Theoreme de Shannon.
- Codes correcteurs d'erreur :
codes lineaires, codes cycliques, codes de Hamming, BCH, Reed-Solomon.

Bibliographie :

- R.J. McEliece, The Theory of Information and Coding, 1982.
 - T. Cover, J. Thomas, Elements of Information Theory, Wiley, 1991.
 - C. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, 1948.
 - <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf>
- Plus de renseignements sur : <http://www.di.ens.fr/~lelarge/info.html>

Cours du 2^e semestre : cours et TD le mardi matin.
(Cours Info : 9 ECTS)

Topologie et Calcul Différentiel

Cours Maths : 12 ECTS

Voir la page de ce cours sur le site du DMA :

<http://www.math.ens.fr/enseignement/catalogue.html?annee=2013-2014>

Traitement du Signal

(Stéphane Mallat)

Ce cours présente le traitement du signal digital en lien avec les outils d'analyse harmonique, de probabilité et de statistique sur lequel il repose.

On verra des applications et algorithmes pour le traitement des sons et de l'image. Les sujets suivants seront couverts :

- Intégrale de Fourier et transformée de Fourier discrète.
- Filtrage et théorème d'échantillonnage.
- Analyse temps-fréquence et traitement des sons.
- Modélisation par processus stationnaires et débruitage par filtrage de Wiener.
- Approximations non-linéaires et parcimonieuses par ondelettes pour le débruitage.
- Théorie de l'information, entropie et codage.
- Compression de sons et d'images dans des bases orthonormales.

Chaque séance de cours sera suivie par un TD ou quelques TP sur ordinateur.

<http://diplome.di.ens.fr/#TraitementSignal>

Cours du 2^e semestre : cours et TD le jeudi matin à compter du jeudi 30 janvier 2014.
En 2013-2014, ce cours est le cours spécifique à la filière maths-info de L3

(Cours Info : 12 ECTS)