

---

# INFORMATIQUE



# INFORMATIQUE

## Responsables

**Olivier Bournez**  
olivier.bournez@  
polytechnique.edu

**Samuel Mimram**  
samuel.mimram@  
polytechnique.edu

L'informatique est présente dans toutes les activités professionnelles que les polytechniciens exerceront : de la gestion des entreprises à la conduite de projets de recherche et au développement de produits industriels, ils auront à utiliser des outils informatiques et à en penser de nouveaux.

Les cours de troisième et de quatrième années du département d'informatique – niveau Master – ont pour but de permettre aux élèves d'acquérir les connaissances nécessaires pour appréhender les changements technologiques dans le vaste domaine des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication qui constituent le paysage dans lequel les ingénieurs, les cadres et les chercheurs évoluent aujourd'hui.

## Prérequis génériques pour s'inscrire en PA Info :

- avoir validé un projet en cours d'informatique de 2A (modal compris)
- avoir validé au moins 1 cours d'informatique en 2A (hors modal).

## Objectifs

Le PA Informatique a une triple vocation :

- donner aux élèves les éléments fondamentaux de la discipline en les mettant au niveau des meilleures universités mondiales,
- commencer une spécialisation qui se poursuivra en quatrième année soit dans la direction de l'ingénierie soit dans celle de la formation par la recherche,
- donner aux élèves des éléments de la discipline qui, combinés à d'autres cours sélectionnés dans des disciplines partenaires (tous départements confondus), donneront une véritable double compétence permettant de dominer les enjeux innovants de l'industrie, de l'administration et de la recherche.

## Contenu

Le PA Informatique répartit ses modules selon cinq filières thématiques centrées sur l'informatique :

- Algorithmes et Fondements des langages de Programmation,
- Algorithmique efficace.
- Conception de Systèmes Autonomes Intelligents.



- Cyber-Sécurité.
- Internet des objets pour une société numérique (IOE4DS).

D'autres combinaisons forment des filières bi-disciplinaires mathématiques/informatique :

- Calcul Haute Performance.
- Image-Vision-Apprentissage.
- Optimisation.
- Science des données.
- MAT-INFO

## Cours, EA et projets 3A

- Vous devez choisir obligatoirement 4 modules (hors projet) par période. L'un de ces modules doit être un EA, sauf si vous choisissez de faire un projet 3A, sur les deux périodes (en plus des 4 modules).

Les modules du PA d'Informatique éligibles pour être validés comme module projet ou EA sont les suivants :

- PA1 : INF551 – INF553 – INF554 – INF571 – INF573 – INF574 – INF575.

- PA2 : INF560 – INF564 – INF567 – INF569 – INF580 – INF581 – INF582 – INF584 – INF585.

Si vous choisissez un projet long, prenez contact rapidement (coordinateur de filière, enseignant en 3A) pour discuter du sujet.

## Débouchés

Le PA Informatique prépare naturellement à une quatrième année dans une école d'ingénieur en double diplôme, à un Master en France ou à un Master of Science à l'étranger.

### Écoles en France :

ENSEEIH, ENSIMAG, ENSTA ParisTech (systèmes d'informations – multimédia et communications), ISAE-Supaéro (systèmes embarqués), Mines Paristech (management des systèmes d'information), Télécom ParisTech.

*Master en France*

- École Polytechnique: Graduate Degree Cyber-sécurité (parcours cyber-sécurité).
- École polytechnique: Graduate Degree Visual Computing and Artificial Intelligence (parcours IVA).
- Master Paris-Saclay « Algorithmique et Fondements de la Programmation » (AFP) (Parcours AFP, MAT-INFO, Algorithmique efficace, Conception des Systèmes Informatiques).
- Master Paris-Saclay « Apprentissage, Information et Contenu » (AIC) (Parcours Science des données).
- Master Paris-Saclay « Conception, Modélisation et Architecture des Systèmes Informatiques Complexes » (COMASIC) (Parcours Conception des Systèmes Informatiques, AFP).
- Master Paris-Saclay « Data Sciences and Big Data » (Parcours Science des données).
- Master Paris-Saclay « Logique, Mathématique et Fondements de l'Informatique » (LMFI), Paris 7 (Parcours MAT-INFO, AFP).
- Master « Mathématique et Informatique appliqués à la Cryptologie » (MIC), Paris 7 (Parcours MAT-INFO).
- Master Paris-Saclay de « Recherche Opérationnelle » (RO) (Parcours Optimisation, Algorithmique efficace).
- Master Paris-Saclay « Réseaux et Sécurité » (ACN) (parcours IOE4DS).

■ Master « Mathématiques/Vision/Apprentissage » (Parcours IVA Algorithmique efficace, Science des données).

■ Autres Masters 2, spécialité Informatique.

*Master of Science à l'étranger*

Tous les MSc en Computer Science, Computer Engineering, Computing, Systèmes de communication... (Par exemple à ETH Zürich, EPF Lausanne, TU Karlsruhe, UPC Barcelona, Technion, RWTH Aachen, TU Delft, Oxford, Imperial College, Berkeley, MIT, Stanford, University of Michigan at Ann Harbor, University of Washington at Seattle, Carnegie Mellon University, Cornell University).

Chaque filière est décrite dans les pages qui suivent. Toutes ces informations sont également reprises et mises à jour sur le moodle de la 3A en Informatique.

# Algorithmes et fondements des langages de programmation

## Objectifs

La filière « Algorithmes et Fondements des Langages de Programmation » est centré sur les algorithmes et les programmes en tant que concepts scientifiques.

*Par comparaison à trois parcours adjacents :*  
Le parcours est moins orienté ingénierie que le parcours « Conception des systèmes informatiques », et n'offre pas les cours « bas-niveau » sur le traitement du signal ou les circuits intégrés; par rapport au par-

cours « Algorithmique efficace », il contient moins d'algorithmique et d'image, mais couvre plus de concepts relatifs aux programmes eux-mêmes et aborde également la théorie de l'information et la cryptologie; par rapport au parcours « MAT-Info », il ne contient que des modules d'informatique, remplaçant les modules d'algèbre et de théorie des nombres par un approfondissement de la formation informatique.

## Responsables

Gilles Schaeffer  
gilles.schaeffer@polytechnique.edu

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

#### 2 cours obligatoires

- INF550 – Algorithmique avancée
- INF551 [EA] – Computational Logic: Artificial Intelligence in Mathematical Reasoning

#### 2 cours parmi :

- INF558 – Introduction to cryptology
- INF573 [EA] – Analyse d'Images et Vision par ordinateur: algorithmes et applications
- INF574 [EA] – Digital Representations and Analysis of Shapes
- INF575 – Safe Intelligent Systems

### Périodes 1 et 2

- INF513 – Projet d'Algorithmes et fondements des langages de programmation

### Période 2

#### 4 cours au choix

- INF561 – Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms
- INF563 – Théorie de l'information
- INF564 – Compilation
- INF568 – Advanced Cryptology

### Période 3

#### Stage de recherche

- INF591 – Stage d'Informatique

Une journée de formation (ou de rappel) à la Programmation en OCaml est obligatoire au mois de septembre (1 h 30 de cours + 3 h de TD). Elle est par exemple nécessaire pour suivre le cours INF564 – Compilation.

INF558 : prérequis pour INF568.

Recommandations pour cours supplémentaires:  
INF580 – Programmation mathématique,  
INF562 – Géométrie algorithmique.

# Algorithmique efficace

## Responsables

**Luca Castelli**  
luca.castelli@leardi@polytechnique.edu

**Gilles Schaeffer**  
gilles.schaeffer@polytechnique.edu

Le parcours se concentre sur la conception d'algorithmes performants, à l'aide de techniques algorithmiques innovante, en abordant plus particulièrement deux axes et domaines :

L'Image/la Vision d'une part, et l'Optimisation/la Recherche Opérationnelle d'autre part.

L'objectif de ce parcours est de fournir aux étudiants les notions et outils informatiques nécessaires pour la conception d'algorithmes efficaces et robustes pour le traitement des problèmes issus du monde réel actuel, qui font intervenir des données de plus en plus complexes et structurées.

Il s'agit d'un parcours multi-disciplinaire à l'interface entre plusieurs disciplines, dont l'algorithmique, le traitement d'image, la vision par ordinateur, l'optimisation, l'informatique graphique, la géométrie algorithmique et les méthodes probabilistes. En plus de susciter chez les étudiants curiosité et intérêt pour les aspects théoriques de ces disciplines (complexités des algorithmes, paradigmes de calcul parallèle/distribué...), ce parcours vise à faire découvrir une grande variété de problèmes et solutions algorithmiques, des plus expérimentales aux plus théoriques, en montrant leur intérêt pratique et performances à l'aide d'exemples d'applications concrètes. »

## Débouchés

La filière conduit aux programmes de Master 2 suivants (organisé en partenariat avec d'autres institutions) :

- Master Paris-Saclay « Algorithmique et Fondements de la Programmation (AFP) ».
- Master Paris-Saclay « Mathématiques-Vision- Apprentissage (MVA) ».
- Master Paris-Saclay de « Recherche Opérationnelle (RO) ».

D'autres possibilités de Master 2 à l'étranger sont par exemple EPFL, ETH, Stanford, Carnegie Mellon, Berkeley, McGill...

Concernant les stages de recherche de 3A, de nombreuses possibilités académiques ou industrielles sont envisageables.

Voici une petite liste non exhaustive des stages pris ces dernières années : Ubisoft, Dassault Systèmes, Facebook, Adobe, Apple, Google, Parrot, Disney, Lucas Films, EADS, Thalès, Siemens, CEA, INRIA...

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

4 cours

- INF550 – Algorithmique avancée
- INF573 [EA] – Analyse d'Images et Vision par ordinateur : algorithmes et applications
- INF574 [EA] – Digital Representations and Analysis of Shapes
- MAP557 – Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

### Périodes 1 et 2

- INF514 – Projet d'Algorithmique efficace  
(Supplémentaire optionnel)

### Période 2

3 cours obligatoires

- INF560 [EA] – Informatique parallèle et distribuée
- INF561 – Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms
- INF562 – Géométrie algorithmique : de la théorie aux applications

1 EA au choix

- INF580 [EA] – Programmation mathématique
- INF584 [EA] – Images de Synthèse : Théorie et Pratique

### Période 3

Stage de recherche

- INF591 – Stage d'Informatique

# Conception de systèmes autonomes intelligents

## Responsables

**Eric Goubault**  
eric.goubault@polytechnique.edu

**Sylvie Putot**  
sylvie.putot@polytechnique.edu

## Contexte et objectifs

La filière « Conception des Systèmes Informatiques » est une formation permettant d'aborder la problématique du développement de systèmes embarqués et cyberphysiques, en plein boom, et déjà présents partout dans notre vie quotidienne. Cela va des applications « intelligentes » sur smartphones, aux calculateurs de vol pour un Airbus; des véhicules autonomes (Tesla, google etc.) et des drones éventuellement en groupes coordonnés, à la smart-grid, entre autres applications actuelles.

Il n'est plus maintenant de systèmes qui ne soient conçus, spécifiés, développés, simulés ni validés sans l'informatique et surtout les concepts fondamentaux de l'informatique: langages « domain-specific » et de spécification, méthodes formelles, réseaux, systèmes distribués, apprentissage etc. Les métiers visés vont des métiers du développement à ceux de la recherche (c'est un sujet avec également de forts enjeux théoriques), de l'ingénierie aux métiers de chefs de projets en entreprise.

## Débouchés

### La filière prépare notamment à

- La plupart des parcours du master mention Informatique Paris-Saclay, en particulier le parcours COMASIC (l'École polytechnique en est le coordinateur), mais aussi ACN, FIIL etc. ou certains de la mention Ingénierie des Systèmes Complexes.
- La plupart des masters en « computer science », « embedded systems », « systems, control, robotics etc. », ou « cyberphysical systems », par exemple, Master of Computer Science à TUM, CMU, Berkeley, EPFL, ETHZ; KTH « Embedded Systems », « Systems Controls and Robotics », ETHZ « Robotics, Systems and Control », University of California at Irvine ou Delft « cyberphysical systems » etc.

La chaire « Ingénierie des Systèmes Complexes » (École polytechnique, Télécom ParisTech, ENSTA ParisTech, et Thalès-Dassault-Aviation-DCNS-DGA) est susceptible d'offrir des bourses pour les meilleurs projets de stage liés à la filière Conception des Systèmes Informatique, à l'international (certains étudiants sont allés à CMU, GeorgiaTech, Berkeley, Austin les années passées).

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

#### 3 cours obligatoires

- INF557 – From the Internet to the IoT: The Fundamentals of Modern Computer Networking
- INF559 – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation
- INF575 – Safe Intelligent Systems

#### 2 cours dont 1EA parmi:

- INF558 – Introduction to Cryptology
- INF554 – Machine Learning I
- INF571 [EA] – Distributed Computing

### Période 1 et 2

- INF510 – Projet de 3A Conception des systèmes informatiques

### Période 2

#### 2 cours obligatoires

- INF564 [EA] – Compilation
- INF586 – Sécurité des réseaux

#### 2 cours parmi:

- INF560 [EA] – Algorithmique parallèle et distribuée
- INF567 – Wireless Networks: from Cellular to Connected Objects
- INF568 – Wireless Networks: from Cellular to Connected Objects
- INF580 – Large scale mathematical optimization
- INF581 – Advanced Topics in Artificial Intelligence

### Période 3

#### Stage de recherche

- INF591 – Stage d'Informatique

INF558 : prérequis pour INF568.

# Calcul haute performance (HPC)

Responsable

**Patrick Carribault**  
patrick.carribault@polytechnique.edu

## Contexte et objectifs

Depuis plusieurs années, l'évolution de l'architecture des processeurs passe par la duplication des unités de calcul (vecteur, cœurs, etc). Même si cette approche permet d'augmenter les performances de calcul, elle nécessite d'exprimer de plus en plus de parallélisme dans les applications. Ainsi, la notion de calcul parallèle intensif (ou calcul haute performance – HPC) est devenue un point de passage obligé tant dans la recherche académique (validation de nouveaux modèles théoriques, développement d'algorithmes parallèles à large échelle) que dans l'industrie (conception de nouveaux processeurs et supercalculateurs).

De plus les technologies de base du HPC (telle que le parallélisme) se retrouvent utilisées maintenant dans nombre de produits à grande diffusion (tablettes ou téléphones mobiles) et dans des domaines connexes (Big Data, Deep Learning, visualisation, etc). Cette filière vise à former des cadres scientifiques de haut

niveau à même de maîtriser deux évolutions technologiques majeures :

- Utilisation systématique du parallélisme (processeur multi-cœur, processeur graphique, supercalculateur, Cloud Computing),
- Utilisation de plus en plus importante du HPC dans les secteurs industriels et recherche.

## Débouchés

M2 « Calcul Haute Performance et Simulation » mention informatique Paris-Saclay, masters « computer science » dans universités internationales (e.g., University of Oregon) et la plupart des institutions majeures internationales (National Labs aux Etats Unis, RIKEN au Japon...)

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

*2 cours obligatoires*

- INF553 – Database Management Systems
- INF559 – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

*2 cours parmi :*

- INF554 – Machine Learning I
- MAP556 – Stochastic simulation and Monte-Carlo methods
- MAP557 – Recherche opérationnelle: aspects mathématiques et applications
- INF552 – Data Visualization
- MAP572 – Mise en oeuvre de méthodes numériques

### Période 1 et 2

- INF518 – Projet de 3A MAP-INFO Calcul haute performance

### Période 2

*2 cours obligatoires*

- INF560 – Calcul Parallèle et Distribué
- INF583 – Systems for Big Data

*2 cours parmi*

- MAP569 – Machine Learning II
- MAP584 – Mise en oeuvre effective de la méthode des éléments finis

### Période 3

*Stage de recherche*

- INF591 – Stage d'Informatique

INF553 : prérequis pour INF583

# Cybersécurité

## Responsables

**Thomas Clausen**  
thomas.clausen@polytechnique.edu

**Francois Morain**  
francois.morain@polytechnique.edu

## Contexte et objectifs

Le terme Cybersécurité désigne la sécurité d'Internet dans tous ses aspects. Passés les premiers temps de la découverte et de l'illusion d'une nouvelle fraternité débarrassée des problèmes liés à l'existence de méchants, les gens ont réalisé que la sécurisation de nos communications n'était pas aussi simple.

Il n'y a pas de notion globale de sécurité, mais il y a des problèmes de sécurité: utiliser son ordinateur et protéger ses données personnelles; permettre un accès sécurisé à Internet; être sûr que ses communications ne puissent être espionnées ou modifiées quand on accède à son compte bancaire; être sûr de parler à la bonne personne, etc.

Comme il n'y a pas de façon unique d'accéder à ce monde virtuel, il n'y a pas de façon unique de traiter les problèmes de sécurité.

Ce qui est clair, c'est qu'on doit comprendre comment marchent les systèmes, combien ils sont résistants et comment concevoir de nouvelles applications plus sécurisées.

Les mêmes principes s'appliquent quand on veut connecter des machines entre elles, à travers des réseaux qui interfèrent avec le monde physique (vieux réseaux filaires, WiFi, etc.) et dans lesquels les (paquets d'informations vivent leur vie de façon ouverte quoiqu'imprédictibles.

## Débouchés

M2 Algorithmique et fondements de la programmation (AFP) notamment.

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

#### Cours obligatoires

- INF557 – From the Internet to the IoT: The Fundamentals of Modern Computer Networking
- INF558 – Introduction to Cryptology
- INF559 – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation
- INF571 – Distributed Computing

#### En option/supplémentaire, 1 cours parmi

- INF553 [EA] – Database Management Systems
- INF554 [EA] –Machine Learning I

### Période 1 et 2

- INF520 – Projet de Cyber-security

### Période 2

#### Cours obligatoires

- INF565 – Information Systems Security
- INF568 – Advanced Cryptology
- INF586 – Sécurité des réseaux

#### En alternative

- INF563 – Théorie de l'information
- MAP569 – Machine Learning II

### Période 3

#### Stage de recherche

- INF591 – Stage d'Informatique

INF558 : prérequis pour INF568.

# Image-Vision-Apprentissage

Responsables

**Damien Rohmer**  
damien.rohmer@  
polytechnique.edu

**Maks Ovsjanikov**  
maks@  
lix.polytechnique.fr

**Renaud Keriven**  
renaud.keriven@  
bentley.com

## Conexe et objectifs

Ce parcours, commun avec le programme du Graduate Degree Artificial Intelligence & Advanced Visual Computing, s'articule autour de deux thèmes principaux: D'un côté, l'image et l'informatique graphique, et de l'autre, l'intelligence artificielle mettant en avant les méthodes d'apprentissages.

L'image, ou plus largement, l'analyse, le traitement, et la synthèse de données graphique 2D ou 3D, est au cœur de nombreuses applications.

Du domaine du loisir (jeu vidéo, cinéma d'animation, réalité virtuelle ou augmentée, etc) aux applications de traitement de grandes masses de données visuelles (robotique/drones, imagerie médicale, réseaux sociaux, etc), il est aujourd'hui difficile d'imaginer la communication et l'intelligence numérique sans données graphiques.

Les notions fondamentales proposées dans ce parcours sont les suivantes :

- Les bases de l'analyse et du traitement d'images 2D en tant qu'ensemble de pixels;

- La vision par ordinateur et les méthodes récentes d'apprentissage et de classification par réseaux de neurones convolutifs;

- Le rendu efficace de formes 3D par l'utilisation de la carte graphique;

- L'analyse avancée de forme 3D complexes, ainsi que la déformation et l'animation de modèles 3D;

- Les approches classiques et récentes d'intelligence artificielle.

Ces différents thèmes permettent d'apporter les bases nécessaires au développement de solutions à certains challenges scientifiques actuels tels que l'intégration unifiée entre des données virtuelles et réelles, la mise au point d'outils graphiques intelligents, et l'interaction 3D en temps réel.

Enfin, les modules aux choix permettent, en fonction de l'orientation souhaitée de son parcours, de privilégier l'approfondissement dans le domaine graphique, en apprentissage, ou de s'élargir vers les thèmes de l'analyse de données, ou de l'algorithmique.

Les modules de ce parcours mettent en œuvre des compétences en développement informatique efficace (C++, GPU),

ainsi qu'en mathématiques appliquées (géométrie, optimisation, approches probabilistes), et permettent de mettre en avant des approches personnelles créatives.

## Débouchés

Le parcours Image, Vision, Apprentissage peut typiquement conduire aux programmes de Master 2 suivants :

- Ecole Polytechnique: Graduate Degree Artificial Intelligence and Advanced Visual Computing.
- Paris-Saclay: Master Mathématiques, Vision, Apprentissage (MVA).
- Paris-Saclay: Master Algorithmique et Fondements de la Programmation (AFP).
- Intelligence Artificielle et Décision (IAD), Spécialité imagerie du vivant (IMA)
- Ainsi que de nombreux programmes de Master à l'étranger: EPFL, ETH Zurich, Stanford, Carnegie Mellon, Berkeley, McGill, Vancouver, etc.

Les stages de recherche 3A sont ouverts à de nombreux domaines du graphique et de l'intelligence artificielle. Ces domaines permettent notamment la poursuite d'une carrière en R & D en industrie tout autant qu'en recherche académique.

Exemples d'entreprises et laboratoires ayant accueilli des stagiaires ces dernières années: Ubisoft, Dassault Systèmes, Facebook, Adobe, Apple, Google, Bentley Systems, Parrot, Disney, Lucas Films, EADS, Thales, Siemens, CEA, Inria, etc.



## COMPOSITION DU PROGRAMME

**Période 1**

- INF550 – Advanced algorithmics
- INF552 – Data Visualization
- INF554 [EA] – Machine Learning I (a)
- INF555 – Constraint-based modeling and algorithms for decision making problems
- INF556 – Topological data analysis
- INF573 [EA] – Image and Computer Vision (i)
- INF574 [EA] – Digital representation and analysis of shapes (i)
- MAP555 – Signal Processing

**Périodes 1 et 2**

- INF515 – Projet de Image-Vision-Apprentissage (*Supplémentaire optionnel*)

## COMPOSITION DU PROGRAMME

**Période 2**

- INF562 – Computational geometry
- IINF580 [EA] – Large scale mathematical optimization
- INF581 [EA] – Advanced Topics in Artificial Intelligence (a)
- INF582 [EA] – Introduction to Text Mining & NLP (a)
- INF583 – Systems for Big Data
- INF584 [EA] – Image synthesis (i)
- INF585 [EA] – Computer Animation (i)
- MAP566 – Statistics in action
- MAP569 [EA] – Machine Learning II (a)

**Période 3***Stage de recherche*

- INF591 – Stage d'Informatique

# The Internet of Everything for Digitized Society (IOE4DS)

## Responsables

**Thomas Clausen**  
thomas.clausen@polytechnique.edu

**Francois Morain**  
francois.morain@polytechnique.edu

## Contexte et objectifs

Cette filière fait partie du M1/3A Informatique de l'École polytechnique. En tant que tel, il est aussi une composante du programme d'élite « Jacques Herbrand » de l'Université Paris-Saclay. Il est également soutenu en partie par la chaire académique « Internet-of-Everything » <http://www.internet-of-everything.fr/>, un partenariat entre l'École polytechnique et Cisco Systems <http://www.cisco.fr/>.

*Au XXI<sup>e</sup> siècle, la nécessité d'une connectivité omniprésente n'est plus à démontrer, par exemple :*

- extraire directement des « big data » depuis l'environnement, à des fins d'analyse et de prise de décision ;
- piloter à distance et surveiller des installations techniques à des fins sécuritaires, environnementales et socio-économiques ;
- observer la consommation et optimiser l'opération d'infrastructures critiques, par ex. les nouvelles générations de grilles de distribution d'énergie, intégrant énergies renouvelables, production décentralisée, etc. ;
- intelligence de vie, santé connectée, villes et transports intelligents.

Passer d'une « connectivité à l'échelle de l'Internet » avec seulement 10 milliards d'appareils aujourd'hui, à une connectivité omniprésente de plus de 50 milliards d'appareils (la plupart desquels seront intégrés à des systèmes plus larges) dans 10 ans, est à la fois un vecteur inépuisable d'innovation et un challenge technique conséquent.

Ce programme couvre tous les aspects de ce challenge : depuis les fondamentaux de la communication, en passant par l'ingénierie de systèmes à l'échelle d'internet, jusqu'aux technologies qui, dans un futur proche et moins proche, permettront de réaliser le potentiel de cette connectivité omniprésente tout en tenant compte des implications de sécurité et de vie privée qui sont indubitablement liées.

Bien entendu, les fondations théoriques qui permettent cette révolution digitale seront également abordées.

## Débouchés

*Des exemples de 4A (reconnues recommandées :*

- Master ACN « Advanced Communication Networks » de l'X/Télécom Paris-Tech/Université Paris-Saclay.

- Stanford « Computer Science » ou « Electrical Engineering ».
- Université Keio.« cyberinformatique ».

Le **premier trimestre** (automne) permettra d'acquérir les fondamentaux en concurrence, cryptologie, architecture des ordinateurs et des systèmes d'exploitation, ainsi qu'en télécommunications. Cela inclut notamment la compréhension des principes derrière les algorithmes, protocoles, systèmes et architectures qui font que l'Internet et l'Internet des objets (IoT) fonctionnent aujourd'hui.

Bluetooth, ZigBee, Arduino, TLS/SSL... mais aussi OSPF et TCP/IP, sont quelques exemples des constituent technologiques qui s'appuient sur ces principes et qui seront étudiés lors des cours de ce trimestre.

Le **deuxième trimestre** (hiver) sera l'occasion d'aller « des fondamentaux à la réalité ». Bénéficiant d'une proximité avec l'industrie, cela inclut notamment d'examiner comment les principes abordés lors du premier trimestre sont utilisés en pratique. Par exemple, comment les technologies de CDN (Content Delivery Networks) utilisées par Netflix, Youtube, etc. pour délivrer des quantités massives de données temps-réel à travers l'Internet, fonctionnent-elles ? Qu'est-ce qui fait que l'Internet mobile (2G, 3G...) fonctionne – et, comment pourrait-il être utilisé pour connecter non seulement des téléphones/tablettes, mais aussi pour fournir de la connectivité à des « objets » moins puissants ? En d'autres termes : qu'est-ce qui est derrière les technologies de l'IoT telles que la 5G, SigFox, ou Lora ?

## COMPOSITION DU PROGRAMME

## Période 1

## 3 cours obligatoires

- INF557 – From the Internet to the IoT: Fundamentals of Modern Computer Networking
- INF558 – Introduction to Cryptology
- INF559 – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

## 1 cours au choix, parmi

- INF553 – Database Management Systems
- INF554 – Machine Learning I
- INF575 – Safe Intelligent Systems

## Périodes 1 et 2

- INF512 – Projet de réseaux

## Période 2

## 3 cours obligatoires

- INF566 – From Fundamentals to Reality: How the Internet Really Works, and How To Make It Better
- INF567 – Wireless networks: from cellular to connected objects
- INF586 – Sécurité des réseaux

## 1 cours au choix, parmi

- INF583 – Systems for Big Data
- MAP569 – Machine Learning II

## Période 3

## Stage de recherche

- INF591 – Stage d'Informatique

INF553 : prérequis pour INF583

INF554 : prérequis pour MAP569

# Optimisation

## Objectifs

The aim of this track is to introduce students to the decision making science. Decision making is a science studied and used in several disciplines like Engineering, Computer Science, Applied Mathematics, and Economics.

The proposed courses will provide the theoretical methods and practical tools to be actors in the decision and optimization process of that institutions and companies have to perform daily.

The spectrum covered goes from methods tailored for small to large scale optimization problems to methods to deal with big data.

## Débouchés

*This track naturally leads to the following Master 2 programs:*

- M2 – Optimization, Paris Saclay: <https://www.universite-paris-saclay.fr/en/education/master/m2optimisation#presentation-m2>.
- M2 – Recherche Opérationnelle, Paris Saclay: <http://uma.ensta-paristech.fr/mpro/>
- M2RO – Recherche Opérationnelle (Toulouse) <http://m2rit-ro.recherche.enac.fr/>
- Parcours Recherche Opérationnelle, Combinatoire et Optimisation est proposé en deuxième année du Master Informatique <https://master-informatique.univ-grenoble-alpes.fr/programme-academique/recherche-operationnelle-combinatoire-et-optimisation>.
- Montreal, Columbia, etc.

Responsable  
**Claudia d'Ambrosio**  
 claudia.dambrosio@polytechnique.edu

# Parcours MAT-INFO

## Objectifs

Le parcours « MAT-INFO », à l'interface entre les Mathématiques pures et l'Informatique, concerne les thèmes de la Théorie des nombres, la Cryptologie, l'Algèbre, la Logique, les Fondements des mathématiques et de l'informatique.

Responsables

**Olivier Bournez**  
olivier.bournez@polytechnique.edu

**Stéphane Bijakowski**  
stephane.bijakowski@polytechnique.edu

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

*3 cours obligatoires*

- ECO555 – Théorie des Jeux
- INF550 – Algorithmique avancée
- MAP557 – Recherche opérationnelle: aspects mathématiques et applications

*1 cours parmi*

- INF554 [EA] – Machine Learning I

### Périodes 1 et 2

- INF516 – Projet optimisation

### Période 2

*2 cours obligatoires*

- INF569 [EA] – Decision theory, with applications to energy systems
- INF580 [EA] – Large scale mathematical optimization

*2 cours parmi*

- INF561 – Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms
- INF581 [EA] – Advanced Topics in Artificial Intelligence
- MAP562 – Optimal design of structures
- MAP569 – Machine Learning II

### Période 3

- INF591 – Stage d'Informatique

INF554 : prérequis pour MAP569

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

*4 cours dont 1 EA parmi*

- INF550 – Algorithmique avancée
- INF551 – Computational Logic: Artificial Intelligence in Mathematical Reasoning
- INF555 – Constraint-based Modeling and Algorithms for Decision Making Problems
- INF556 – Topological Data Analysis
- INF558 – Introduction to Cryptology
- MAT552 – Théorie algébrique des nombres
- MAT556 – Modules et groupes finis
- MAT557 – Topologie algébrique

### Périodes 1 et 2

- INF519 – Projet de MAT-INFO

### Période 2

*4 cours dont 1 EA parmi*

- INF561 – Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms
- INF568 – Advanced Cryptology
- INF563 – Théorie de l'information
- MAT562 – Introduction à la géométrie algébrique et courbes elliptiques
- MAT563 – Groupes compacts et groupes de Lie

### Période 3

*Stage de recherche*

- INF591 – Stage d'Informatique

INF558 : prérequis pour INF568.

# Science des données

Responsables

**Ioana Manolescu**  
ioana.manolescu@inria.fr

**Steve Oudot**  
steve.oudot@inria.fr

## Contexte et objectifs

La Science des données est un nouveau domaine clé dont l'impact touche de plus en plus de disciplines scientifiques et de secteurs industriels. Ses problématiques sont transverses par nature, et leur traitement mêle intimement les mathématiques et l'informatique.

La science des données recouvre toutes les étapes du cycle de vie des données : la génération et la collecte, leur préparation et structuration, leur exploration et leur analyse à l'aide d'outils expressifs et efficace. Parmi les enjeux du domaine on compte la modélisation et la structuration des données dans différents formats, la gestion de données hétérogènes et potentiellement distribuées, le choix des méthodes d'analyse statistique et les différents biais dans l'échantillonnage, ainsi que des questions d'intégrité des données, de visualisation, d'apprentissage automatique pour la prédiction, des techniques pour l'analyse en temps réel, ou encore l'aide à la décision. Les volumes des Big Data viennent rajouter des défis d'échelle à tous ceux mentionnés ci-dessus.

Ces dernières années ont vu apparaître des convergences fertiles entre l'Intelligence Artificielle et la gestion des Big Data. Ainsi, l'on applique des techniques

d'analyse statistique et d'apprentissage automatique aux problèmes d'exploration et découverte de très grands volumes de données, afin de découvrir les données les plus intéressantes pour un utilisateur, ou encore pour identifier une fragmentation optimale d'un très grand graphe dans une grappe de calcul parallèle. De même, des outils massivement parallèles de traitement de données permettent de tirer profit des nouvelles infrastructures cloud afin de passer à l'échelle les traitements statistiques sur des Big Data.

## Débouchés

Le programme Data Science permet de poursuivre des études dans des programmes M2 de pointe en Big Data et Intelligence Artificielle, des sujets fortement recherchés aujourd'hui.

Les débouchés M2 les plus naturels incluent les M2 « Data Science », « Data and Knowledge » et « Mathématiques, Vision, Apprentissage » de l'Université Paris Saclay. Vu la popularité actuelle de ces thématiques, de très nombreux M2 intéressants sont proposés par d'autres universités à travers le monde (tels que ETH Zurich, Stanford, Carnegie Mellon etc).

## COMPOSITION DU PROGRAMME

### Période 1

*2 cours obligatoires*

- INF553 [EA] – Database Management Systems
- INF554 [EA] – Machine Learning I

*Sauf pour les élèves ayant validé INF442: ceux-ci peuvent remplacer INF554 par l'un des cours ci-dessous.*

*2 cours dont 1 EA parmi*

- INF552 – Data Visualization
- INF556 – Topological Data Analysis
- MAP553 – The Art of Regression
- MAP573 – R pour les Statistiques
- MAT557 – Topologie algébrique (*est conseillé essentiellement en complément de INF556*)

### Périodes 1 et 2

- INF517 – Projet science des données

### Période 2

*2 cours obligatoires*

- INF583 – Systems for Big Data
- MAP569 – Machine Learning II

*2 cours dont 1 EA parmi*

- INF581 [EA] – Advanced Topics in Artificial Intelligence
- INF582 [EA] – Introduction to Text Mining and NLP
- MAP566 – Statistics in action
- MAP583 – Deep Learning

### Période 3

*Stage de recherche*

- INF592 – Internship in Data Science

INF553 : prérequis pour INF583

INF554 : prérequis pour MAP569 (ou INF442 en 2A)

INF556 : prérequis pour MAT557 pour ce parcours