

LIVRET DES ENSEIGNEMENTS DE TROISIÈME ANNÉE

2026
2027

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

IP PARIS

LIVRET DES ENSEIGNEMENTS DE TROISIÈME ANNÉE X2024



Année 2026 – 2027

SOMMAIRE

5 Présentation générale de la 3A du cycle ingénieur
11 Humanité et sciences sociales & Management, innovation et entrepreneuriat
15 Certificat entrepreneuriat

Présentation des PA

19 Affaires publiques
28 Apprentissage et IA
43 BioInformatique
53 Biologie-Santé
67 Chimie aux interfaces/Chemistry and Interfaces
81 Économie
105 Electrical Engineering
113 Énergies
121 Informatique
163 Innovation technologique
205 Mathématiques
215 Mathématiques Appliquées
225 Mécanique
233 Physique
267 Science et défis du spatial
275 Sciences et défis de l'environnement

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA TROISIEME ANNÉE

Préambule

Cette présentation ne remplace pas le règlement des études qui est le document de référence et réglementaire de la scolarité polytechnicienne.

La formation polytechnicienne est composée de quatre années dont trois sont effectuées au sein de l'École et une à l'extérieur. La troisième année débute mi-septembre. Les cours sont dispensés jusqu'à fin mars. À la fin du mois de mars, les élèves commencent leur stage de recherche. Les élèves qui auront rempli tous les objectifs académiques recevront le « Titre d'Ingénieur de l'École polytechnique ».



Programme

A. La spécialisation par le programme d'approfondissement

Les élèves intègrent un programme d'approfondissement (PA) dès le début de l'année et ne peuvent pas permuter entre les périodes. Le programme de troisième année propose ainsi 16 PA :

- Affaires publiques
- Apprentissage et IA
- Biologie-Santé
- Bioinformatique
- Chimie aux interfaces
- Économie
- Electrical Engineering
- Énergies
- Informatique
- Innovation technologique
- Mathématiques
- Mathématiques Appliquées
- Mécanique
- Physique
- Sciences et défis du spatial
- Sciences pour les défis de l'environnement.

Les élèves doivent suivre au minimum 4 cours obligatoires pour chaque période : 3 cours et 1 enseignement d'approfondissement (EA) ou projet - sauf cas contraire indiqué dans le livret pour chaque PA.

Ces cours doivent être choisis conformément au PA intégré.
Les programmes MScT sont également éligibles. Un contrat pédagogique sera alors mis en place entre le programme MScT et le cycle ingénieur.
Il est recommandé de suivre un projet de recherche ou d'ingénierie, soit pour la validation d'un de ces modules.

Il est possible, par période, de « panacher » un seul enseignement du PA choisi avec un module d'un autre PA sur accord du responsable du PA et du responsable du module choisi.

Les élèves peuvent, en complément des exigences du PA choisi, préparer un certificat en Entrepreneuriat. Les modalités d'obtention de ce certificat sont précisées dans des documents spécifiques.

B. Le stage de recherche

Un stage de recherche d'une durée minimale de 16 semaines est requis pour l'obtention du Titre d'Ingénieur. Il doit s'inscrire dans le cadre du PA choisi et être validé par le responsable du code option « stage » du programme.

Il est demandé à l'élève de mettre en œuvre une démarche scientifique donnant lieu à un rapport écrit et une soutenance. En dehors des objectifs pédagogiques propres (mise à profit de connaissances scientifiques, apprentissage d'une démarche scientifique dans un travail personnel prolongé de recherche, intégration dans une équipe de travail et prise de contact avec la vie professionnelle), ce stage permet aussi à l'élève de découvrir le secteur dans lequel il se spécialise. Il peut se dérouler dans un laboratoire de l'École polytechnique ou dans un organisme extérieur.

Le stage ne peut être scindé sur deux organismes. Une convention de stage doit obligatoirement être établie. Aucun départ en stage n'est possible si la convention n'est pas signée par toutes les parties concernées.

C. DFHM

La pratique de la discipline sportive suivie jusque-là est obligatoire (sauf dérogation accordée par le commandant de promotion). La troisième année du cycle ingénieur polytechnicien inclut la participation obligatoire (ou parfois optionnelle) à un ensemble d'activités relevant de la formation humaine et militaire dont le détail est précisé dans une directive spécifique.

D. Humanités et Sciences Sociales & Management de l'Innovation et de l'Entrepreneuriat

Chaque élève est tenu de suivre un cours d'Humanités et Sciences Sociales (HSS) ainsi qu'un cours de Management de l'Innovation et de l'Entrepreneuriat (MIE). Il doit également participer à un séminaire, soit en HSS, soit en MIE.

E. Langues Vivantes

Comme en deuxième année, chaque élève doit suivre des enseignements dans deux langues vivantes :
L'anglais est obligatoire pour les élèves français et internationaux francophones. La LV2 étudiée en deuxième année doit être poursuivie en 3e année, sauf cas particulier, conditionné par une demande motivée et justifiée à la Présidence du département qui examinera l'acceptabilité de la demande.

Le « Français Langue Étrangère » (FLE) en première langue et l'anglais en deuxième langue sont obligatoires pour les non-francophones, sauf dérogation accordée sur vérification individuelle de niveau par la Présidence du département Langues et Cultures.

La LV3 étudiée en 2e année doit être poursuivie en 3e année. En revanche, il n'est pas possible de débuter une langue en 3e année.

Les cours de langue en 3e année se déroulent sur une seule période (septembre à mars) et sont évalués en contrôle continu uniquement (une seule note par langue).

La validation de l'enseignement de langues vivantes de 3e année avec la note minimale « C » est une condition d'obtention du titre d'Ingénieur de l'École polytechnique (distincte de la condition d'obtention d'un score minimal à Linguaskills ou au TCF).

Les élèves n'ayant pas validé l'enseignement de langues vivantes à l'issue de la 3e année du cycle d'ingénieur devront produire la preuve de validation d'un certificat de langue reconnu internationalement (cf. Règlement des études).

Validation de la troisième année et du Titre d'Ingénieur

L'évaluation des enseignements repose à la fois sur le contrôle continu et sur un examen final appelé « pâle », organisé sous forme d'épreuve écrite à la fin de chaque période.

Les notes sont attribuées de A+ à F. Le module est validé par l'obtention de la note minimale de « C ». En cas d'obtention d'une note inférieure à celle-ci, les élèves sont inscrits en rattrapages.
Il est possible de faire compenser les notes des modules scientifiques entre eux et par période, selon les règles de compensation suivante :

- une note « B », ou supérieure, peut compenser une note « D » dans un autre module ;
- une note « A+ ; A ; A- » ne peut pas compenser 2 notes « D » ;
- les cours supplémentaires validés n'entrent pas en compte dans la compensation.

De la même manière, il est possible de faire compenser entre eux les 3 modules choisis en HSS et MIE.

En revanche, ni la note de Formation Humaine, ni celle de stage, ne peut être compensées.

Le nombre maximum de rattrapages autorisés par élève pour un module est limité à 2. Si l'élève ne valide pas le module après les 2 rattrapages autorisés, il passe obligatoirement en jury, qui pourra décider de la suite (3e rattrapage autorisé, changement de cours, etc.).

A la fin de l'année, les élèves qui ont validé l'ensemble des modules acquièrent 76 ECTS répartis comme suit :

Programme d'approfondissement (60 ECTS)
- Période 1 : quatre modules d'enseignement scientifique (4 x 5 ECTS)
- Période 2 : quatre modules d'enseignement scientifique (4 x 5 ECTS)
- Période 3 : Stage de recherche (20 ECTS)

Langues vivantes (6 ECTS)
- Anglais pour les francophones ou Français Langue étrangère pour les non-francophones (3 ECTS)
- 2e langue vivante (3 ECTS)

Humanités et Sciences Sociales & Management de l'Innovation et Entrepreneuriat (6 ECTS)
- 1 cours d'Humanités et Sciences Sociales (2 ECTS)
- 1 cours de Management de l'Innovation et Entrepreneuriat (2 ECTS)
- 1 séminaire d'Humanités et Sciences Sociales ou 1 séminaire de Management de l'Innovation et Entrepreneuriat (2 ECTS)

Formation Humaine (4 ECTS)
- Sport et attitude générale (4 ECTS)

A la fin de cette année, les élèves qui auront validé tous les objectifs académiques des trois premières années du Cycle, se verront attribuer le « Titre d'Ingénieur Polytechnicien » par un Jury réuni pour l'occasion.

3A et contribution au classement de sortie

Les notations suivantes de 3A contribuent à l'établissement du classement de sortie :
- Aptitude 3A ;
- Softskills ;
- Sport 3A ;
- Cours de MIE 3A.

Les notes classantes attribuées vont de 0 à 20.
Les élèves qui valident chaque période, sans passer de rattrapage, se voient attribuer 300 points.

Le classement sera définitif à l'issue de la période 2 de l'année. Un Jury prendra acte des vœux et des places de chaque élève afin de déterminer les places au sein des Corps de l'Etat demandés.

Quid de la 4A ?

Au cours de la troisième année, plusieurs rendez-vous sont proposés pour que les élèves puissent se projeter dans leur fin de formation.

- Forums
- Amphi de présentation de la 4A
- Amphis de présentation des Corps de l'Etat : Armement, INSEE, Mines, IPEF

Tous les éléments relatifs à la 4A sont consultables sur la page de l'espace étudiant, ainsi que dans le guide de la 4A :

www.polytechnique.edu/espace-etudiant/cycle-ingenieur-polytechnicien/4eme-annee

Contacts et adresses

Pour toute demande relative à l'emploi du temps, changements de cours… :

scolarite.3a-m1@polytechnique.fr

Pour toute demande de documents officiels type attestation, relevé de notes… :

demande.documents@polytechnique.fr

Pour prendre contact avec la coordinatrice pédagogique de votre promotion :

Jône : Louison SAMYN

louison.samyn@polytechnique.edu

Rôuje : Estelle NICOLAS

estelle.nicolas@polytechnique.edu

Pour toute demande relative à votre 4A, merci de prendre contact avec :

Ophélie BELREPAYRE

ophelie.belrepayre@polytechnique.edu

Pour envoyer un certificat médical

certificats.medicaux.3a@polytechnique.fr

Lien vers espace étudiant :

www.polytechnique.edu/espace-etudiant/cycle-ingenieur-polytechnicien



HUMANITÉ ET SCIENCES SOCIALES & MANAGEMENT, INNOVATION ET ENTREPRENEURIAT

Au cours de la troisième année, les élèves doivent valider un cours d'Humanité et Sciences Sociales (HSS) et de Management, Innovation Et Entrepreneuriat (MIE) et un séminaire au choix.

L'offre des cours et des séminaires est susceptible d'évoluer.

Cours

1 cours MIE au choix

IME_51C21_EP — Vers une innovation responsable : le rôle des business models, des écosystèmes et de l'impact

IME_51C22_EP — Gouvernance d'entreprise et finance durable

IME_51C23_EP — Management de l'innovation numérique en santé

IME_51C24_EP — Consommation collaborative et modèles participatifs

IME_51C25_EP — Innovation publique : nouvelles formes d'action publique face aux enjeux sociétaux actuels

1 cours HSS au choix

HSS_51C21_EP – Face à la crise environnementale et climatique : Des humanités environnementales ?

HSS_51C22_EP – Sociologie des données numériques et de l'IA

HSS_51C23_EP – Stratégie et géopolitique

HSS_51C24_EP – Introduction aux Sciences Cognitives

HSS_51C25_EP – Littérature française : romanciers d'aujourd'hui

HSS_51G10_EP – Principles and history of Geopolitics

HSS_51G11_EP – Aspects of comparative commercial law

HSS_51G12_EP – Introduction to French Politics

HSS_51G14_EP – Philosophy of Science Fiction

Séminaires

1 séminaire HSS ou MIE au choix

HSS_51A01_EP – Cinéma : La communauté des images

HSS_51A02_EP – Architecture contemporaine : Du chant de l'Architecture

HSS_51A03_EP – Peinture

HSS_51A04_EP – Dessin

HSS_51A05_EP – Sculpture

HSS_51A06_EP – Gravure

HSS_51A07_EP – Infographie

HSS_51A08_EP – Découverte de l'Opéra

HSS_51G15_EP – Dark sides of the City of Lights

HSS_51H01_EP – La science décrit-elle le monde tel qu'il est ? Introduction à la querelle du réalisme scientifique

HSS_51H02_EP – Histoire des sciences contemporaines

HSS_51H03_EP – Genre et sciences sociales

HSS_51H04_EP – Civilisation gréco-latine

HSS_51H05_EP – Approches expérimentales de la cognition

HSS_51S01_EP – Grands enjeux politiques contemporains

HSS_51S02_EP – Cultures et transferts de technologies (X-HEC)

HSS_51S03_EP – Droit privé, droit public

HSS_51S04_EP – Géopolitique : l'Eurasie

HSS_51S05_EP – Economie du développement durable

HSS_51S06_EP – Métropoles et extrêmes climatiques : risques, vulnérabilités, résiliences, adaptations

IME_51S01_EP – Digital innovation and the health sector
IME_51S03_EP – Stratégie, Innovation & Société : les nouvelles formes de concurrence
IME_51S04_EP – Data marketing et expérience client/Data Challenge
IME_51S05_EP – Project Management
IME_51S06_EP – Du résultat de la recherche à l'innovation : de Nature au Nasdaq
IME_51S07_EP – Management de la transition énergétique : changements socio-techniques et choix politiques et sociaux
IME_51S09_EP – Pratiques de consommation, innovation et adaptation aux enjeux contemporains

Pour vous aider à construire votre emploi du temps, le tableau ci-dessous montre la répartition des cours dans la semaine.
Les cours de MIE seront dispensés dans un premier temps, puis, suivront sur le même créneau les cours d'HSS.
Tous les cours de MIE ont lieu en même temps.
Tous les cours de HSS ont lieu en même temps.
Tous les séminaires ont lieu en même temps.
Il n'est donc pas possible de s'inscrire à plusieurs cours MIE ou HSS ou séminaires.



CERTIFICAT ENTREPRENEURIAT

Bruno Martinaud
bruno.martinaud@polytechnique.edu

Contexte et Objectifs

La compréhension de l'entrepreneuriat est du rôle de l'entrepreneur en tant qu'acteur de l'innovation, une composante essentielle de la formation supérieure de tout individu, qu'il se prépare à travailler sur les politiques publiques, à rejoindre un grand Groupe, à poursuivre dans la recherche scientifique, ou bien sûr, à être lui-même entrepreneur.

Dans ce contexte, l'objectif du Certificat Entrepreneuriat est double :
- Apporter un socle méthodologique solide, utile à tout étudiant polytechnicien 3A
- Travailler avec un esprit entrepreneurial sur des sujets à impact
- Préparer aux parcours entrepreneuriat de 4A offerts par l'École

Le suivi de ce Certificat est proposé durant la 3e année du cycle ingénieur. Il est compatible en termes d'emploi du temps avec la plupart des enseignements de 3e année et des PA.

Structure

Le Certificat Entrepreneuriat est composé d'un cours/projet : IME_51003_EP – et est complété par des MOOCs réalisables en autonomie, accessibles sur un espace dédié sur Coursera.

Startup Deep Tech : IME_51003
Il s'agit d'un cours-projet, dans un format Challenge, étalé sur les 2 périodes, (P1 et P2) de troisième année, au rythme de 2 sessions par période de 3 semaines en P1 et une session toutes les 2 semaines en P2.
Ce cours peut être pris en panachage en P1 en cours supplémentaire (recommandé) ou en cours obligatoire avec accord dans ce dernier cas des responsables de PA. S'il est pris comme cours obligatoire, il sera pris en compte dans la validation des 300 points de classement par période de 3A.

Attention : Ce cours a le volume d'un cours d'une seule période bien qu'étalé sur P1 et P2. L'inscription pédagogique et la note rentreront dans les éventuelles règles de compensation et attribution points de classement d'un cours de P1. Sa notation ne sera, en revanche, disponible qu'en fin de P2.

Les sessions sont planifiées le **mardi** en fin d'après-midi **de 18 heures à 20 heures**. Chaque session comprendra une partie méthodologique et une partie, en groupe, consacrée au travail sur le projet de Startup.
N.B. : bien que proche dans son format, le cours Startup Deep Tech n'est pas un EA.
Il est majoritairement enseigné en anglais, sans, pour autant, qu'il y ait des prérequis en cette matière.

Ce cours est organisé en classe inversée, combinant :
- un parcours SPOC en ligne introduisant les concepts fondamentaux
- une session en salle articulée autour de cas réels de start-up (Dreem, Cardiologs, Feetme, tarmac, Skypher, etc.) illustrant chacun l'un des concepts fondamentaux de la construction d'un projet de start-up
- une mise en pratique dans le cadre d'un Challenge sur un thème imposé (Santé, Développement Durable, travail, éducation). Le thème pressenti pour la rentrée 2026 sera dans l'éducation
- Des témoignages d'entrepreneurs enrichiront également ces sessions, au rythme moyen d'un témoin toutes les deux sessions
- Enfin les sessions de coaching sont assurées par praticiens expérimentés. Au-delà du travail projet, elles constituent un moment privilégié d'échanges et de rencontres avec des entrepreneurs

Ce cours offre une exposition à l'ensemble des étapes du processus entrepreneurial :
- Recherche d'opportunités
- Exploration et cartographie du territoire d'innovation
- Faisabilité et construction d'un business case de startup
- Pitch final face à un jury de professionnels et d'investisseurs

Entrepreneurship toolbox

Ce bloc est constitué de workshop de 3 heures, planifiés essentiellement en P2, et couvre les compétences fondamentales de l'entrepreneur, et complète les Mooc.
N.B. : certains workshop seront animés par les auteurs de Mooc (Steve Ahn, Hélène Musikas).

Voici les principaux workshop qui seront organisés en P2 :
- Business Model Design (Hélène Musikas, HEC)
- Financial Projections & Dealing with VC (Steve Ahn Kaist, Guillaume Meulle XAnge)
- Pitching in front of investors

Start-up project

Refondu complètement cette année, en lien avec le cours IME_51003_EP (MIE503), le projet de startup sera un *challenge* à thème.

Les étudiants, organisés en groupe de 4, travailleront sur un projet qu'ils auront identifié dans l'un des 2 thèmes proposés (Santé et Développement durable).
Chaque projet sera défini par un sujet à impact, dans le thème choisi et une hypothèse de solution.

Le travail sur le projet au fil du certificat sera double :
- Explorer, structurer l'opportunité.
- Maquetter et valider la faisabilité technique de la solution.

Un accès privilégié au Fablab, ainsi que des ressources informatiques AWS seront mises à disposition dans ce cadre.

Enfin, les meilleurs projets seront récompensés.
Le projet est développé de manière synchronisée avec le cours Startup Deep Tech IME_51003_EP (MIE503) au sens où le travail et les livrables suivent le rythme et les thèmes des séances de ce cours, selon la structure suivante :
- Validation de l'opportunité
- Exploration de territoires d'innovation
- Faisabilité technique et pratique
- Maquettage, prototypage et test
- Projections Financières
- Business Plan
- Pitch

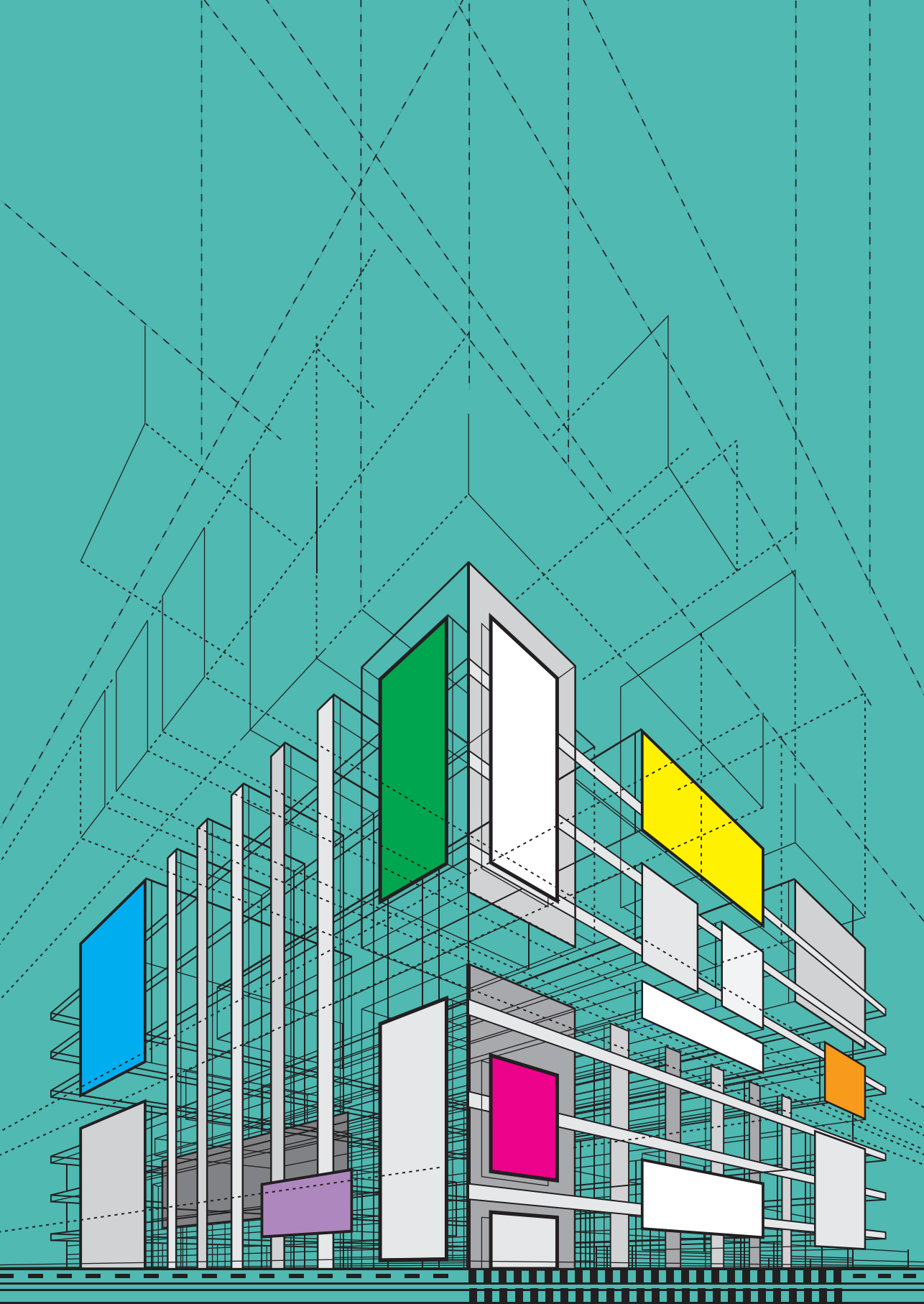
Coaching

Chaque projet est suivi par une équipe de coach qui évaluent et guident le travail des étudiants et aident à l'apprentissage des fondamentaux :
- 2 coachs par projet : 1 membre de l'équipe pédagogique, 1 professionnel (investisseur ou entrepreneur)
- Aide à la mise en relation avec des experts en lien avec le projet
- Jury Final (fin P2)

Incentive

Afin de reconnaître l'engagement et le travail fourni, 2 Prix seront mis en place pour distinguer le meilleur projet pour chacun des 2 thèmes. Ces Prix pourront être distribués ou non selon la qualité de ces projets ; la décision en reviendra au Jury final.

Le contenu exact de ces prix sera déterminé ultérieurement, mais ils consisteront en une expérience, rencontre, événement, unique et en lien avec le thème du *challenge*.



AFFAIRES PUBLIQUES

Vincent Martigny
vincent.martigny@polytechnique.edu

Marine Guillaume
marine.guillaume@polytechnique.edu

Objectifs

Ce parcours d'approfondissement, adossé au département des humanités et sciences sociales (HSS), propose une formation à l'intersection des sciences exactes et des sciences de l'administration, répondant à une demande croissante de profils capables d'articuler expertise technique et action publique.

La complexité croissante des grands défis contemporains – transition énergétique, souveraineté numérique, régulation des marchés, gouvernance internationale – illustre la nécessité pour les futurs ingénieurs de maîtriser à la fois les fondements scientifiques et les mécanismes de l'action publique qui en orientent les usages.

Ce parcours vise ainsi à doter les étudiants d'une double expertise : une solide culture en droit, finances publiques et relations internationales, combinée à la rigueur analytique acquise dans leur formation scientifique à l'École. Cette formation préparera les élèves à exercer des responsabilités dans la haute fonction publique, les institutions européennes et internationales, ou les directions affaires publiques des grandes organisations.

Il intéressera les élèves ingénieurs qui se destinent aux corps administratifs de l'Etat, notamment ceux qui souhaitent présenter un concours de la haute fonction publique (INSP, INET, MEAE), ou de manière générale à tous ceux qui se destinent à servir l'intérêt général.

Un socle scientifique au service des sciences de l'administration

Le PA est l'un des rares parcours en France permettant de combiner, dans un même cursus, la rigueur des sciences exactes et l'acquisition des fondamentaux des sciences politiques et administratives.

Cette double culture se construit à travers une architecture pédagogique hybride :

- Des enseignements en droit, finances publiques, politiques publiques, affaires européennes et relations internationales apportent les fondements des sciences de l'administration et de l'action publique ;

- Des cours scientifiques au choix (2 par période), issus des départements de physique, biologie, économie, mathématiques appliquées et informatique, permettent à l'élève de conserver une spécialité disciplinaire forte ;

- Des enseignements en droit, finances publiques, politiques publiques, affaires européennes et relations internationales apportent les fondements des sciences de l'administration et de l'action publique ;

- L'articulation entre les deux pôles se concrétise dans les EA et le stage, où l'élève est invité à mobiliser son expertise scientifique au service de l'analyse des politiques publiques et internationales.

L'enjeu de ce parcours est de former des étudiants capables de comprendre les enjeux techniques (énergie, numérique, santé, environnement) et de les traduire en termes de politique publique, de régulation ou de gouvernance institutionnelle. C'est ce type de profil que recherchent les corps administratifs de l'État, les agences, les institutions européennes et internationales.

Une préparation aux corps administratifs de l'État

Ce parcours offre aux élèves ingénieurs envisageant une carrière dans l'administration publique une formation structurée autour des disciplines fondatrices de la culture administrative – droit administratif, questions européennes, finances publiques, politiques publiques –, en prise directe avec les attendus des concours et recrutements des grands corps de l'État (INSP, INET, concours européens et de grandes organisations internationales…).

Il prépare également les élèves à intégrer, pour leur stage de recherche de 3A, des environnements institutionnels exigeants : ambassades, agences indépendantes, cabinets ministériels, organisations internationales ou laboratoires de recherche en politiques publiques.

Le PA « Affaires publiques » aura également pour vocation d'aider les élèves à trouver des stages de recherche 3A dans la haute fonction publique ou dans des laboratoires de recherche en politiques publiques, à l'image des stages actuellement proposés en ambassade, à la Cour des Comptes, au Conseil d'Etat, dans des agences indépendantes de l'Etat comme l'ARCEP, l'AFD, l'Autorité de Régulation de l'Electricité, dans un cabinet ministériel, au sein d'une collectivité territoriale, dans une organisation internationale (OTAN, ONU, UE…), dans un cabinet de conseils en politiques publiques ou au sein d'un laboratoire de recherches (Centre Marc Bloch à Berlin, CEVIPOF-Sciences Po…).

Sélectivité

Le PA « Affaires publiques » est ouvert à tous les élèves ingénieurs qui le souhaitent par sélection sur dossier en fin de 2A, qui tiendra compte de leurs résultats scolaires à l'École, particulièrement dans les séminaires et cours HSS, ainsi que des motivations exposées par les candidats sous la forme d'un statement of purpose. Un numerus clausus sera établi annuellement. Sans que cela soit un prérequis, il est conseillé aux élèves de 1re et de 2e année qui se destinent au PA AP de choisir des enseignements HSS cohérents avec les objectifs généraux du PA.



Formations de 4A conseillées

Le PA « Affaires publiques » aura pour vocation de former des ingénieurs alliant une formation scientifique de haut niveau avec des enseignements exigeants en sciences de l'administration. Ce type de formation mixte, très demandée sur le marché du travail, serait particulièrement destiné aux élèves ingénieurs qui souhaitent intégrer Sciences Po en 4A dans les Masters de l'École d'Affaires Publiques (« Politiques publiques », « Affaires Européennes »…), tous les Master de la Paris School of International Affairs (PSIA) ou de l'École d'Affaires Urbaines, les masters en affaires publiques de la Sorbonne ou de l'université de Paris Dauphine, ou une institution de même niveau au plan international comme la London School of Economics, la School of International and Public Affairs de Columbia university, la Kennedy School of Governance à Harvard, et les Schools of Public Affairs du MIT et de Princeton, la School of Public Policy de Berkeley, la Hertie School of Governance en Allemagne, le Collège de l'Europe à Bruges, ou l'Université Bocconi à Milan.

Pour ce qui relève plus précisément des masters à Sciences Po, une convention avec l'École polytechnique formalise depuis 2017 les conditions d'entrée aux masters ci-dessous à pour les élèves ingénieurs polytechniciens dans le cadre de leur quatrième année :

- **École d'affaires publiques** : Master politique publique, Master affaires européennes,

- **Écoles d'affaires internationales** : Master in international security, Master in international public management, Master in international economic policy, Master in international development, Master in human rights and humanitarian action, Master in environmental policy, Master in international energy,

- **École urbaine** : Master stratégie territoriale et urbaine, Master governing the large metropolis, Master d'urbanisme.

Débouchés

Les débouchés du PA affaires publiques sont divers et couvrent un vaste pan allant de la haute fonction publique aux départements « affaires publiques » d'entreprises privées en passant par les organisations européennes et internationales ou les ONG :

Corps administratifs de l'État accessibles par concours (INSP, Quai d'Orsay, INET…)

- Fonction publique hors concours (contractuels) au niveau de la fonction publique d'État, des collectivités territoriales, des agences et autorités administratives indépendantes (AFD, ARCEP, Agence de l'Eau, Autorité des Marchés financiers…)

- Fonction publique européenne, ONU et organisations internationales ou supranationales (FMI, Banque Mondiale…)

- Métiers de la sécurité et de la défense, notamment en lien avec les relations internationales, incluant les organisations internationales de défense et les services de sécurité (OTAN, DGSE),

- Entreprises privées ayant attrait aux affaires publiques (cabinets de conseil en affaires para-publiques, directions des relations institutionnelles des grands groupes, entreprises de communication publique)

- Secteur non profitable et ONG, en lien avec les institutions publiques.

Composition du PA

Les enseignements d'approfondissement ont été envisagés en interface avec la formation scientifique des élèves et avec le monde professionnel en France et en Europe. L'EA « Principes et modalités de l'Action Publique » prendra ainsi la forme de conférences d'acteurs des affaires publiques (haut-fonctionnaires, acteurs politiques, chercheurs travaillant avec des administrations telles que l'ANSSI, cadres d'entreprises et autres professionnels en lien avec les affaires publiques : administrations, entreprises, ONG…). L'EA Relations internationales à l'ère de la Révolution numérique, défense et société s'adresse particulièrement aux élèves qui souhaiteraient poursuivre des carrières dans la diplomatie, la cybersécurité, la défense ou les renseignements. Les institutions, la politique et l'économie de l'Union Européenne y seront présentés sous l'angle des relations internationales.

Les cours scientifiques en panachage ont été choisis, en accord avec les PA concernés, pour leur lien avec le domaine des affaires publiques. Pour rendre plus lisible l'offre de cours en panachage, ces derniers ont été répartis en trois ensembles :

1) Environnement ;
2) Santé ;
3) Données.

En fonction des projets professionnels de chacun, il est recommandé de choisir ses panachages de manière cohérente, même si chaque élève reste libre de ses choix.

Modalités d'évaluation

Une partie importante des enseignements est évaluée en contrôle continu ou par un papier à rédiger chez soi. Une évaluation finale est organisée pour les cours de Finances publiques et de droit administratif.

Panachages

Le PA Affaires publiques accepte les panachages pour l'ensemble de ses cours et séminaires de la part d'élèves issus d'autres PA. Il autorise également le panachage vers les autres PA d'élèves inscrits en Affaires Publiques, au-delà de la liste proposée, sur présentation des motivations des élèves. Tout panachage hors liste devra être validé par les responsables du PA d'accueil et du PA d'origine. Les panachages avec les PA Energie du XXI^e^ siècle et Sciences et Défis de l'Environnement sont particulièrement encouragés pour les élèves intéressés par les carrières d'affaires publiques dans le domaine des enjeux de transition écologique. Les séminaires et les EA en panachage ne font pas l'objet de numerus clausus.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Rappel : les panachages ne sont autorisés que sur les cours scientifiques et ne doivent pas donner lieu à un conflit d'emploi du temps.
Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(Obligatoire)*															
HSS_51001_EP																
HSS_51003_EP																
Cours Panachés	*(2 au choix obligatoires)*															
PHY_51055_EP																
PHY_51004_EP												**				
MEC_51059_EP																
ECO_51172_EP																
BIO_51051_EP																
BIO_51055_EP																
BIO_51053_EP																
CSC_51073_EP										***						
CSC_51058_EP														**		
EA P1	*(1 EA obligatoire)*															
HSS_50101_EP																

Période 1

1 cours obligatoire et 1 cours supplémentaire obligatoire

HSS_51001_EP — Droit administratif

HSS_51003_EP — Affaires européennes ➠ Cours supplémentaire obligatoie

2 cours obligatoires « panachés » au choix parmi

Ensemble Environnement

PHY_51055_EP — Energy and Environment

PHY_51004_EP — Physics and engineering of photovoltaic devices

MEC_51059_EP — Mécanique pour l'éolien

ECO_51172_EP — Environmental economics 1

Ensemble Santé

BIO_51051_EP — Immunologie et agents infectieux

BIO_51055_EP — Biodiversity and ecosystem functioning

BIO_51053_EP — Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture

Ensemble Données

CSC_51073_EP — Image Processing and Computer Vision

CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology

1 EA obligatoire

HSS_50101_EP — Principes et modalités de l'action publique

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(Obligatoire)*															
HSS_52061_EP																
Cours Panachés	*(2 au choix obligatoires)*															
ECO_52189_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52180_EP																
BIO_52064_EP																
APM_52068_EP																
APM_52066_EP														**		
APM_52065_EP																
CSC_52066_EP																
EA P2	*(1 EA obligatoire)*															
HSS_52182_EP																

Période 2

1 cours obligatoire

HSS_52061_EP – Finances publiques

2 cours obligatoires « panachés » au choix parmi

Ensemble Environnement

ECO_52189_EP – Perspectives croisées sur les problématiques environnementales

ECO_52067_EP – Energy economics with a geography focus

ECO_52069_EP – Environmental Economics 2

Ensemble Santé

BIO_52064_EP – Cancer Immunotherapies

Ensemble Données

APM_52068_EP – Gestion des incertitudes et analyse du risque

APM_52066_EP – Statistics in action

APM_52065_EP – Modélisation aléatoire et statistique des processus

CSC_52066_EP – From fundamentals to reality: How the Internet really works – and how to make it better

ECO_52180_EP – Competition Policy

1 EA obligatoire

HSS_52182_EP – Les relations internationales à l'ère de la révolution numérique

Périodes 3

Stage de recherche

HSS_52901_EP – Systèmes économiques et développement durable

HSS_52902_EP – Villes du XXIe siècle et développement durable

HSS_52904_EP – Stages service public

HSS_52908_EP – Géopolitique et relations internationales

HSS_52911_EP – Urbanisme, architecture, art de bâtir


AI

APPRENTISSAGE ET IA

Alain Durmus
Karim Lounici
Sonia Vanier
Jesse Read

pa-map-info-ia@meslistes.polytechnique.fr

Objectifs

Ce programme d'approfondissement en Intelligence Artificielle, conjoint entre les départements de Mathématiques Appliquées (MAP) et d'Informatique (DIX), propose une formation à l'intersection des mathématiques et de l'informatique, répondant aux avancées spectaculaires du domaine ces dernières années.
L'essor de l'apprentissage et de l'IA générative – avec des exemples marquants comme ChatGPT, Stable Diffusion ou AlphaFold – illustre la nécessité pour les futurs experts de maîtriser à la fois les fondements théoriques et les compétences en implémentation algorithmique. Ce parcours vise ainsi à doter les étudiants d'une double expertise : une compréhension fine des modèles et algorithmes d'IA d'un point de vue théorique, ainsi qu'une maîtrise avancée de leur mise en œuvre dans des applications concrètes. Ceci préparera les étudiants à exceller dans la recherche et l'innovation, aussi bien en milieu académique qu'industriel.

Contenu

Les avancées récentes en Intelligence Artificielle reposent sur une synergie entre l'informatique et les mathématiques appliquées, notamment dans les domaines de la vision par ordinateur et du traitement du langage naturel. Ces disciplines s'appuient sur des modèles d'apprentissage profond, tels que les Transformers, ainsi que sur des méthodes mathématiques avancées, comme la modélisation probabiliste du langage ou les modèles de diffusion.
Ce programme offre des bases solides en Mathématiques Appliquées et en Informatique, combinant enseignements fondamentaux et développements récents pour comprendre ces avancées et relever les nouveaux défis associés. En particulier, il permettra aux étudiants d'acquérir les connaissances indispensables pour la réalisation de leur stage de troisième année et pour poursuivre en quatrième année dans le domaine de l'IA.

Éléments spécifiques
Les élèves inscrits dans ce parcours doivent valider quatre cours par période, un EA étant considéré comme un cours.

Période 1 : Un socle fondamental structuré en blocs
La première période est organisée en trois blocs thématiques : Mathématiques de l'IA ; Base méthodologique de l'IA ; et Informatique de l'IA. Chaque étudiant doit choisir un bloc principal et valider les deux cours obligatoires qui y sont associés. Ces blocs ont pour objectif d'offrir un socle de connaissances fondamentales, permettant d'aborder des enseignements plus avancés en intelligence artificielle. Les blocs avec leurs cours obligatoires associés.

Période 2 : Une flexibilité accrue
Lors de la seconde période, les étudiants ont la liberté de composer leur programme selon leurs préférences, sous réserve de valider quatre cours parmi les listes suivantes.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Mathématiques de l'IA

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

*Cours obligatoires

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1																
APM_51056_EP *																
APM_51059_EP *																
APM_51055_EP																
APM_51178_EP																
CSC_51052_EP														**		
CSC_51056_EP																
CSC_51076_EP																

Projets possibles (à suivre sur P1 + P2)																
APM_50113_EP																
CSC_50P17_EP	Projet															

Période 1

2 Cours obligatoires

APM_51056_EP — Probability Theory for Generative Models and Monte Carlo methods

APM_51059_EP — Advanced Statistical Learning Theory

2 cours obligatoires au choix parmi

Le choix des troisième et quatrième cours est libre : il peut être sélectionné parmi les cours obligatoires des deux autres thématiques ou dans la liste de cours suivants :

APM_51055_EP — Signal Processing from Fourier to ML

APM_51178_EP — Collaborative Learning + fairness

CSC_51052_EP — Data Visualization

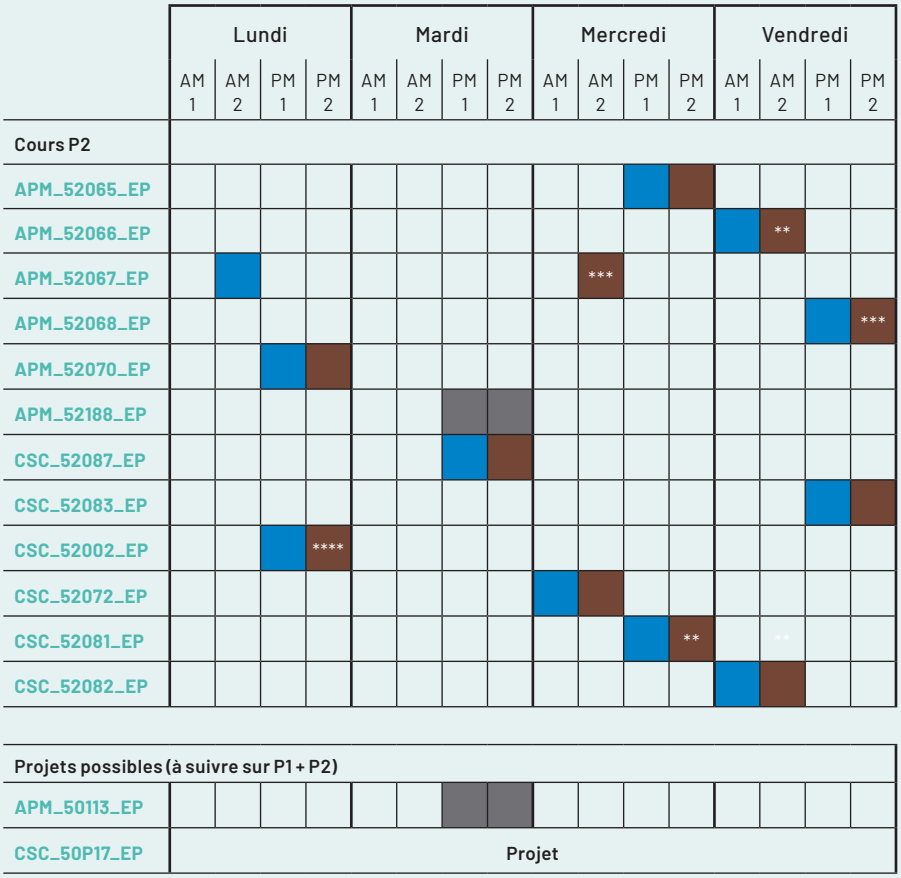
CSC_51056_EP — Topological Data Analysis

CSC_51076_EP — Optimisation and responsible AI

APM_50113_EP — Research Project (P1 + P2) **or**

CSC_50P17_EP — Research Project (P1 + P2)

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 2

4 Cours obligatoires au choix

APM_52065_EP — Modélisation aléatoire et statistique des processus

APM_52066_EP — Statistics in Action

APM_52067_EP — Optimization for AI

APM_52068_EP — Uncertainty Quantification

APM_52070_EP — Mathematical Foundations of Decision Theory in AI

APM_52188_EP — Optimal Transport + Fairness

CSC_52087_EP — Advanced Deep Learning

CSC_52083_EP —Big Data and Cloud Computing

CSC_52002_EP —Multimodal Generative AI

CSC_52072_EP —Graph Representation Learning

CSC_52081_EP —Reinforcement Learning and Autonomous Agents

APM_50113_EP — Research Project **or** ➠ Prérequis Research Project en P1

CSC_50P17_EP — Research Project ➠ Prérequis Research Project en P1

CSC_52082_EP — Introduction to Text Mining & NLP

Période 3

Stage de recherche au choix

APM_52996_EP — Stage en Mathématiques de l'IA

CSC_52992_EP — Stage en Informatique de l'IA

COMPOSITION DU PROGRAMME

Bases méthodologiques de l'IA

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1																
MDC_51006_EP *		**	**						**							
CSC_51054_EP*				**					***							
APM_51055_EP																
APM_51178_EP																
CSC_51056_EP																
CSC_51052_EP														**		
CSC_51076_EP																
Projets (à suivre sur P1 + P2)																
APM_50113_EP																
CSC_50P17_EP	Projet															

*Cours obligatoires

Période 1

2 cours obligatoires

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

CSC_51054_EP — Deep Learning

2 cours obligatoires au choix parmi

le choix des troisième et quatrième cours est libre : il peut être sélectionné parmi les cours obligatoires des deux autres thématiques ou dans la liste de cours suivants :

APM_51055_EP — Signal Processing from Fourier to ML

APM_51178_EP — Collaborative Learning + fairness

CSC_51052_EP — Data Visualization

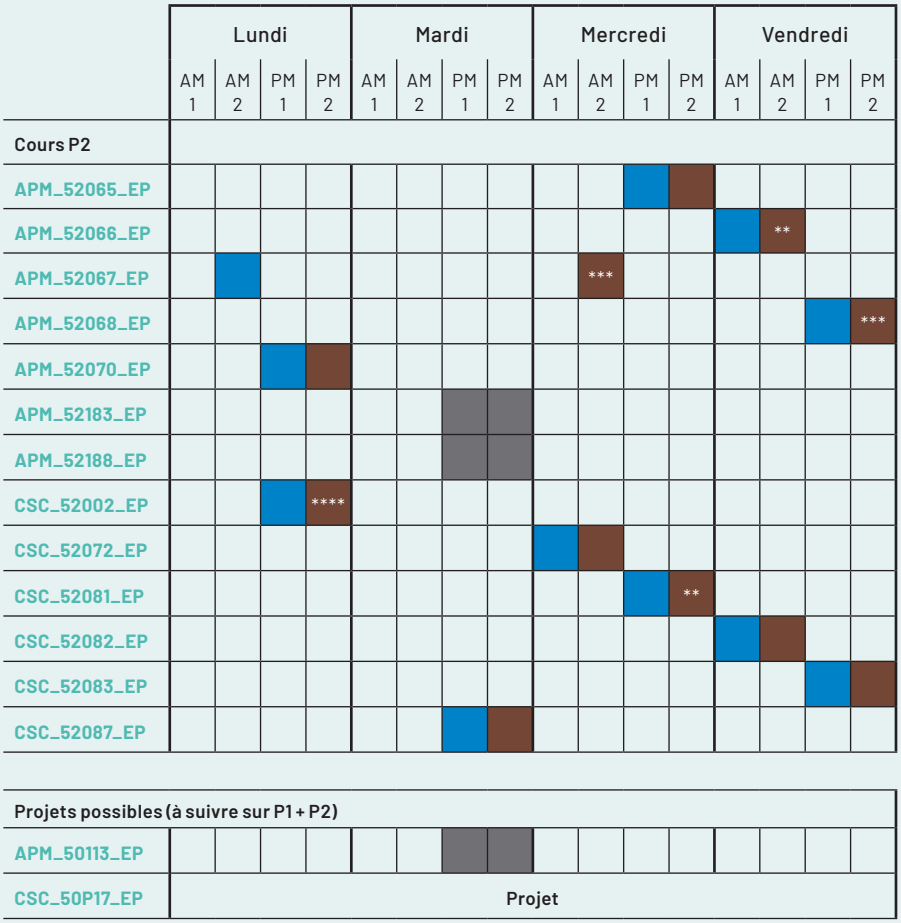
CSC_51056_EP — Topological Data Analysis

CSC_51076_EP — Optimisation and Responsible AI

APM_50113_EP — Research Project (P1 + P2) **or**

CSC_50P17_EP — Research Project (P1 + P2)

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 2

4 cours obligatoires au choix parmi

APM_52065_EP – Modélisation aléatoire et statistique des processus

APM_52066_EP – Statistics in Action

APM_52067_EP – Optimization for AI

APM_52068_EP – Uncertainty Quantification

APM_52070_EP – Mathematical Foundations of Decision Theory in AI

APM_52183_EP – Deep learning from theory to practice

APM_52188_EP – Optimal Transport + Fairness

CSC_52002_EP – Multimodal Generative AI

CSC_52072_EP – Graph Representation Learning

CSC_52081_EP – Reinforcement Learning and Autonomous Agents

CSC_52083_EP – Big Data and Cloud Computing ➠ Prérequis : CSC_51053_EP

CSC_52087_EP – Advanced Deep Learning

APM_50113_EP – Research Project **or** ➠ Prérequis Research Project en P1

CSC_50P17_EP – Research Project ➠ Prérequis Research Project en P1

CSC_52082_EP – Introduction to Text Mining & NLP

Période 3

Stage de recherche au choix

APM_52996_EP – Stage en Mathématiques de l'IA

CSC_52992_EP – Stage en Informatique de l'IA

COMPOSITION DU PROGRAMME

Informatique de l'IA

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1																
MDC_51006_EP *		**	**									**				
CSC_51054_EP*				***								***				
CSC_51053_EP*																***
APM_51055_EP																
APM_51178_EP																
CSC_51056_EP																
CSC_51052_EP														**		
CSC_51076_EP																

*2 Cours obligatoires, 1 option entre CSC_51054_EP et MDC_51006_EP

Projets (à suivre sur P1 + P2)																
APM_50113_EP																
CSC_50P17_EP	Projet															

Période 1

2 cours obligatoires au choix parmi

CSC_51053_EP — Database Management Systems

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning **ou**

CSC_51054_EP — Deep Learning

2 cours obligatoires au choix parmi

le choix des troisième et quatrième cours est libre : il peut être sélectionné parmi les cours obligatoires des deux autres thématiques ou dans la liste de cours suivants :

APM_51055_EP — Signal Processing from Fourier to ML

APM_51178_EP — Collaborative Learning + fairness

CSC_51056_EP — Topological Data Analysis

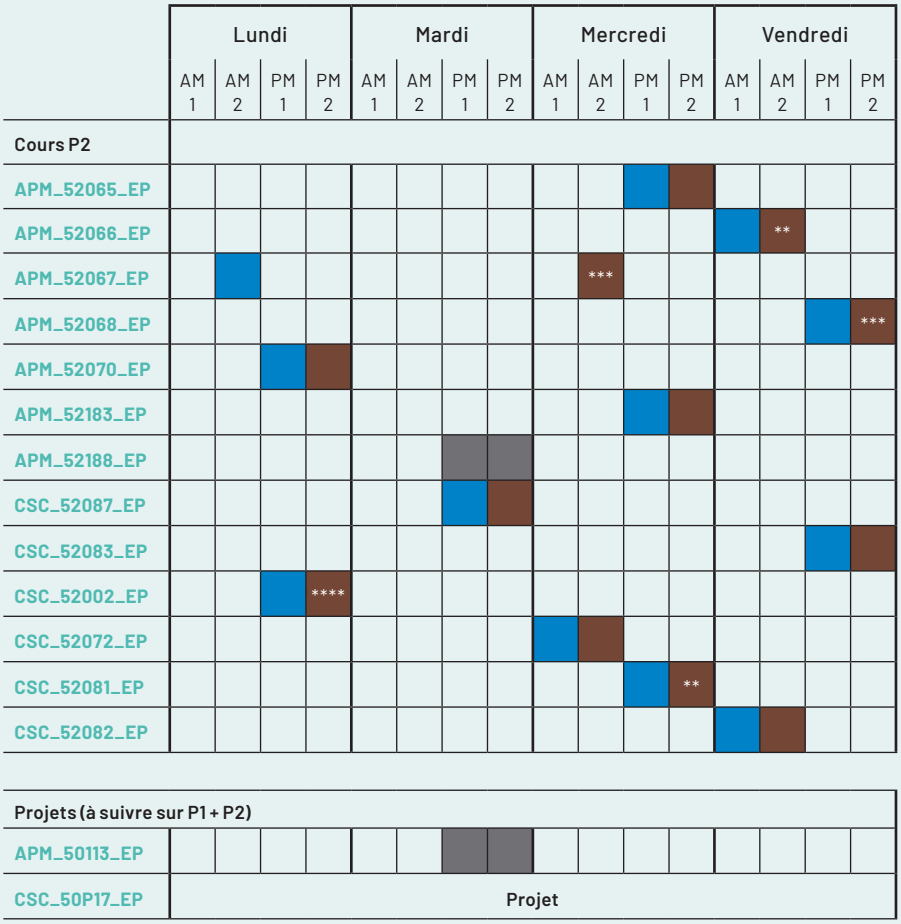
CSC_51052_EP — Data Visualization

CSC_51076_EP — Optimisation and Responsible AI

APM_50113_EP — Research Project (P1 + P2) **or**

CSC_50P17_EP — Research Project (P1 + P2)

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 2

4 cours obligatoires au choix parmi

APM_52065_EP – Modélisation aléatoire et statistique des processus

APM_52066_EP – Statistics in Action

APM_52067_EP – Optimization for AI

APM_52068_EP – Uncertainty Quantification

APM_52070_EP – Mathematical Foundations of Decision Theory in AI

APM_52183_EP – Deep learning from theory to practice

APM_52188_EP – Optimal Transport + Fairness

CSC_52087_EP – Advanced Deep Learning

CSC_52083_EP – Big Data and Cloud Computing ➠ Prérequis CSC_51053_EP

CSC_52002_EP – Multimodal Generative AI

CSC_52072_EP – Graph Representation Learning

CSC_52081_EP – Reinforcement Learning and Autonomous Agents

APM_50113_EP – Research Project **or** ➠ Prérequis Research Project en P1

CSC_50P17_EP – Research Project ➠ Prérequis Research Project en P1

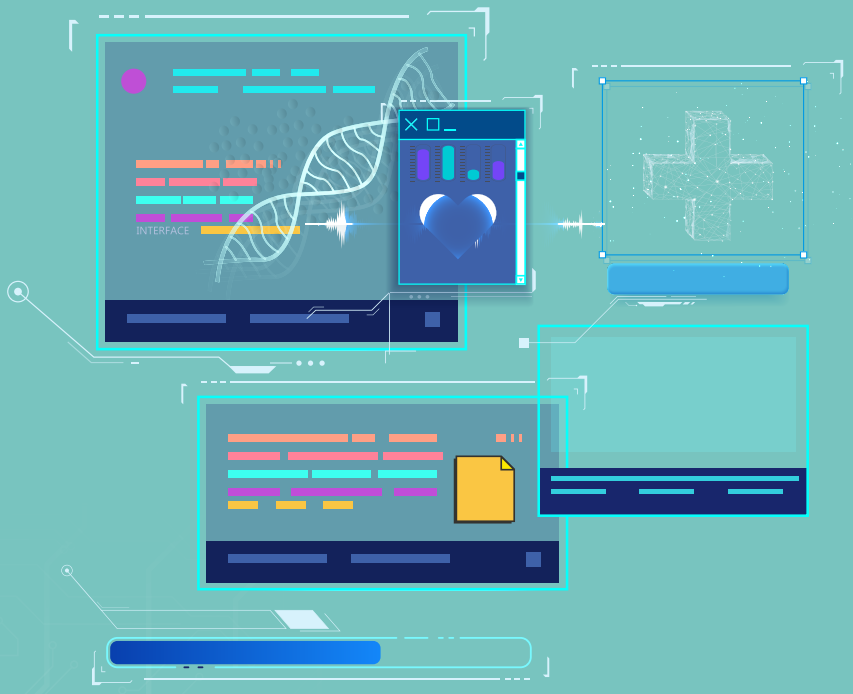
CSC_52082_EP – Introduction to Text Mining & NLP

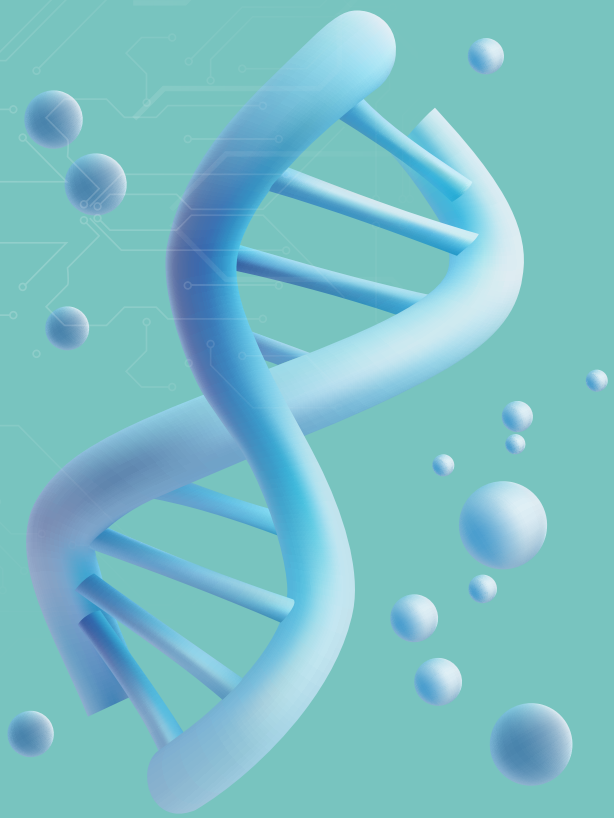
Période 3

Stage de recherche au choix

APM_52996_EP – Stage en Mathématiques de l'IA

CSC_52992_EP – Stage en Informatique de l'IA


INTERFACE



BIOINFORMATIQUE

Sebastian Will
sebastian.will@polytechnique.edu

En une cinquantaine d'années, l'informatique est devenue une composante essentielle dans beaucoup de secteurs de la recherche et de l'ingénierie en biologie.

De nouveaux domaines se sont imposés qui, sans informatique, n'existeraient pas, du simple fait de la masse de données à traiter : par exemple, le séquençage des génomes et donc la génomique comparée, la classification des protéines et des ARN, la prédiction et l'ingénierie des structures qui ouvrent des voies nouvelles en biologie, pharmacologie et médecine, avec les enjeux nouveaux de la médecine génomique. Réciproquement, les questions soulevées par la biologie et les singularités des données biologiques induisent de nouveaux problèmes en algorithmique, combinatoire et apprentissage.

Si le séquençage à haute vitesse atteint maintenant des débits spectaculaires, certaines analyses restent encore longues, délicates et coûteuses. Les données « -omiques » et cliniques peuvent aussi être rares pour certaines pathologies et l'exception est souvent la règle. Le recours systématique à l'apprentissage massif touche ainsi ses limites. Enfin, le biologiste et le médecin attendent des explications qui permettent d'augmenter la compréhension des phénomènes sous-jacents et pas simplement une optimisation statistique.

La modélisation, l'algorithmique et la science des données prennent donc une importance croissante. On s'attache à la construction de modèles informatiques et mathématiques pour prédire mais aussi expliquer les phénomènes biologiques qui se produisent au niveau de la cellule et de ses composants, et aussi pour des groupes de cellules, voire des organismes complexes. Il s'agit souvent de concevoir des outils dédiés à des phénomènes très particuliers.

Mais les techniques de l'information seules ne sauraient résoudre les problèmes et de larges connaissances en biologie restent indispensables en amont et en aval pour une contribution certaine aux sciences du vivant. La Bioinformatique, à l'interface entre Biologie et Informatique, est ainsi une discipline très diversifiée et qui évolue rapidement, tant les questions posées se renouvellent vite au fur-et-à-mesure des découvertes en biologie et du progrès des outils d'observation du monde vivant.

Les Neurosciences constituent un domaine encore plus vaste. Les compétences acquises dans le Programme d'Approfondissement Bioinformatique constituent aussi une bonne introduction pour aborder les Neurosciences avant une spécialisation dans ce domaine en quatrième année. Si l'on envisage une telle voie, un complément par le cours **HSS_51C24_EP** – « Sciences cognitives, sciences naturelles de l'esprit » est alors indiqué.

La plupart des cours de Biologie concernent assez directement l'étude du système nerveux, plusieurs cours d'Informatique s'appliquent naturellement à l'analyse des données en Neurosciences, et d'autres aux algorithmes de simulation des mécanismes neuronaux.

Objectifs

Le programme d'approfondissement en Bioinformatique est une introduction aux concepts et enjeux de cette discipline, à travers quelques cours généraux en biologie et en informatique et quelques autres modules qui peuvent constituer un début de spécialisation. Il s'agit de se donner la compétence double qui permettra d'interagir au plus haut niveau avec des informaticiens, des biologistes et des médecins, au sein des équipes pluridisciplaires qui structurent maintenant la recherche et le développement dans ce domaine. Un choix de cours relativement vaste, théoriques ou appliqués, donne la possibilité de se construire un parcours individualisé, pour compléter sa formation au cas par cas et préparer un projet de carrière adapté, en fonction de ses centres d'intérêts.

Cette spécialisation se poursuivra en quatrième année, avant une orientation aussi bien vers le monde académique que vers le monde de l'entreprise.

Dans ce dernier cas aussi, s'agissant le plus souvent de sociétés internationales, la thèse est toujours une étape conseillée pour une carrière de haut niveau.

Règles de composition du programme

Durant les deux premières périodes, l'accent est mis sur la consolidation des connaissances dont l'utilisation transversale sera développée au cours du stage de recherche. Le projet long, étalé sur les deux périodes, est aussi un moyen d'aborder cet exercice pluridisciplinaire. Les règles imposées veillent à maintenir un certain équilibre entre biologie et informatique, avec quelques compléments possibles en statistique, afin d'acquérir la compétence étendue qui fait la spécificité du bioinformaticien. Ces règles visent aussi à éviter la dispersion, tout en permettant à chacun de consolider ses points faibles et d'approfondir le domaine pressenti pour un début de carrière.

Prérequis

Les prérequis généraux pour ce programme sont d'avoir validé, en deuxième année :

- au moins un cours de Biologie, de préférence, **BIO_41052_EP** – Biologie moléculaire et information génétique,

- au moins deux cours d'Informatique (hors modal), de préférence, **CSC_42021_EP** – Conception et analyse d'algorithmes et **CSC_43042_EP** – Algorithmes pour l'analyse de données en C++,

- au moins un projet de programmation (soit intégré dans un cours d'informatique, soit comme le modal d'Informatique).

Lors de son inscription, il convient également de vérifier les prérequis ou cours conseillés spécifiques à chaque cours, comme indiqués sur « moodle.polytechnique.fr ».

En particulier, il est conseillé d'avoir suivi en deuxième année le cours **APM_41033_EP** – « Statistiques », surtout si l'on incorpore des cours MAP dans son cursus 3A. Le cours **APM_41032_EP** – « Modélisation de phénomènes aléatoires » peut être aussi utile.

Débouchés

À l'issue du programme d'approfondissement, il est possible de continuer un cursus en bioinformatique. Il est possible aussi de se réorienter vers l'informatique ou la biologie, en conservant un bénéfice de ce début de double formation bioinformatique. La poursuite dans un cursus monodisciplinaire suppose bien entendu que cette discipline soit restée une majeure du cursus de 2A et 3A, étayant ainsi cette motivation.

Comme formations relativement équilibrées entre les deux disciplines, on peut citer, par exemple,
- le « MSc in Computer Science with option in Bioinformatics » de McGill,
- le « MSc of Science in Computational Biology and Quantitative Genetics » de Harvard,
- le « MSc in Computer Science with track in Computational Biology » de Columbia,
- le « MSc in Bioinformatics » de University of Copenhagen avec deux spécialisations « Computational Biology » et « Computer Science »,
- le « MPhil in Computational Biology » de Cambridge,
- le « MSc in Bioinformatics and Theoretical Systems Biology » de Imperial College London,
- le « Master in Computational Biology and Bioinformatics » de ETH Zürich…

On peut ajouter, en France, des M2 comme « AMI2B » de Paris-Saclay, le parcours BIM-BMC « BioInformatique et Modélisation » du master d'Informatique de Sorbonne Université et d'autres à Bordeaux, Aix-Marseille, Toulouse…

La durée de ces formations est variable, de un an pour un M2 en France ou certains MSc, à deux ans pour des programmes plus complets. Elles proposent en général une voie recherche qui prépare à la poursuite en thèse.

Les débouchés en recherche académique, après une thèse, sont en laboratoires universitaires ou dans les grands centres de recherche français (INRA, Institut Pasteur, Institut Curie, Inserm…) ou internationaux (ex. EBI, SIB, NCBI…). Les activités exercées peuvent concerner notamment la conception d'algorithmes d'analyse ou de prédiction, mais également le développement, le nettoyage et l'enrichissement des grandes bases de données qui sont mises à disposition de la communauté, ainsi que l'ingénierie des plateformes qui les hébergent.

Les débouchés en entreprise, de préférence après une thèse, peuvent être en Recherche et Développement dans les industries pharmaceutique et agroalimentaire, l'agrochimie, l'ingénierie pour la santé, l'environnement, ou les biotechnologies.

Il existe aussi des débouchés en gestion et valorisation de la R&D et en conseil ou management de l'innovation technologique.

Règles de choix
Règle de cohérence globale:
Au total, sur les deux périodes et les 8 modules obligatoires, il faut suivre au moins
- 3 modules (cours, EA ou projet) de Biologie (pris dans la liste ci-dessous) et

- 3 modules (cours, EA ou projet) d'Informatique (pris dans la liste ci-dessous).

Dans ce calcul, **MDC_52P88_EP** peut compter comme BIO ou comme INF et un projet long compte pour 2 modules.

Projet(s) :

La réalisation d'un projet long, couvrant les deux périodes, est encouragée. C'est la meilleure occasion de développer des compétences transversales, avant le stage de 3A. Cela peut se réaliser dans le cadre des 8 modules obligatoires, à la place de l'EA de chaque période.

Si un projet long est réalisé de manière facultative (cours supplémentaire), il devra être réalisé en totalité, ce qui correspond à l'obtention d'une note supplémentaire par période.

Attention :

Plusieurs cours d'informatique, notamment ceux marqués ea, demandent la réalisation d'un projet de programmation significatif et comptant pour la validation. il convient à chacun de mesurer la charge de travail lors de son choix de cours.

Règle de panachage

Le panachage est autorisé dans la limite d'un module par période et il ne peut pas être utilisé pour la réalisation d'un projet long autre que **CSC_50P11_EP**.

Un panachage ne sera accepté que s'il s'intègre dans un cursus cohérent, motivé et clairement explicité lors de l'inscription.

URL: https://www.enseignement.polytechnique.fr/bioinformatique

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(3 au choix obligatoires)*															
BIO_51051_EP																
BIO_51053_EP																
BIO_51056_EP																
BIO_51057_EP																
CSC_51050_EP																
CSC_51052_EP																
CSC_51055_EP																
CSC_51056_EP																
EA	*(1 au choix)*															
BIO_51171_EP																
CSC_51054_EP				***							***					
CSC_51073_EP																
Projet	*Le projet long CSC_50P11_EP remplace les EA de période 1 et 2, il est obligatoirement suivi sur les deux périodes*															
CSC_50P11_EP	**Projet**															

Période 1

3 cours obligatoires au choix

BIO_51051_EP — Immunologie et agents infectieux

BIO_51053_EP — Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture

BIO_51056_EP — Genomes, diversity, environment and human health

BIO_51057_EP — Neurosciences

CSC_51050_EP — Algorithmique avancée

CSC_51052_EP — Data Visualization

CSC_51055_EP — Constraint-based Modeling and Algorithms for Decision-making

CSC_51056_EP — Topological data analysis

1 EA ou 1 projet obligatoire au choix

BIO_51171_EP — Travaux expérimentaux de génie génétique

CSC_51054_EP — [EA] Deep Learning

CSC_51073_EP — [EA] Image Analysis and Computer Vision

CSC_50P11_EP — Projet de Bioinformatique

Les projets longs sont toujours accordés sous réserve de la définition préalable d'un sujet.
Le projet long CSC_50P11_EP remplace les EA de période 1 et 2 ou il peut être pris comme deux modules optionnels, un par période.

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercr.				Vendr.			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(1 obligatoires)*															
CSC_52089_EP																

	Plus 2 au choix obligatoires															
BIO_52001_EP																
BIO_52002_EP																
CSC_52081_EP												**				
APM_52066_EP														**		

EA P2	*(1 au choix)*															
BIO_52101_EP																
MDC_52P88_EP																

Projet	*Le projet long CSC_50P11_EP remplace les EA de période 1 et 2, il est obligatoirement suivi sur les deux périodes*
CSC_50P11_EP	**Projet**

Période 2

1 cours obligatoire

CSC_52089_EP – Computational analysis of high-throughput sequencing data

2 cours obligatoires au choix parmi

BIO_52001_EP – Biologie des systèmes moléculaires

BIO_52002_EP – Epigénétique et ARN non-codants

CSC_52081_EP – Advanced Topics in Artificial Intelligence

APM_52066_EP – Statistics in action

1 EA ou projet obligatoire

BIO_52101_EP – Sciences des données en imagerie biologique

MDC_52P88_EP – Projet en bioinformatique

CSC_50P11_EP – Projet de Bioinformatique ➠ Prérequis : avoir suivi CSC_50P11_EP en P1

Période 3

Stage de recherche au choix

BIO_52991_EP – Biologie et Écologie

CSC_52991_EP – Informatique

CSC_52992_EP – Data Science



BIOLOGIE-SANTÉ

Yves Mechulam
yves.mechulam@polytechnique.edu

Olivier Tenaillon
olivier.tenaillon@polytechnique.edu

Département de Biologie

Contexte

En l'espace de deux décennies, la biologie a changé d'échelle. Portée par une révolution spectaculaire des méthodes de séquençage qui en ont augmenté la vitesse et fait chuter les couts, ainsi que par les progrès de l'imagerie, elle est devenue une science de données, quantitative et intégrative, dans laquelle l'ingénieur trouve désormais toute sa place. Il est aujourd'hui possible de séquencer le génome de pratiquement n'importe quel organisme offrant un nouveau regard sur la biodiversité, de caractériser les profils d'expression des gènes dans tout type de tissu – de l'organe fonctionnel à celui infecté ou tumoral – et de reprogrammer les cellules à façon, de suivre les migrations cellulaires en réponse à leur environnement ou à des flux, d'observer les systèmes moléculaires au sein des cellules, et même d'en déterminer la structure grâce à leur visualisation directe. Génomes, transcriptomes, épigénomes et images à haute résolution offrent ainsi une description sans précédent du vivant, du niveau moléculaire aux écosystèmes. Cette abondance d'informations transforme les approches scientifiques, mobilisant désormais des outils issus de la physique, des mathématiques, de l'informatique des statistiques et maintenant de l'intelligence artificielle pour comprendre, modéliser, prédire et modifier le fonctionnement des systèmes biologiques. Le programme de biologie s'inscrit dans cette dynamique et propose aux étudiants une formation qui articule les fondements du vivant avec les technologies et les méthodes qui en redéfinissent l'étude.

Tirer pleinement parti de ces avancées suppose une compréhension solide des systèmes biologiques eux-mêmes. Pour formuler des questions pertinentes et interpréter correctement les données, il est indispensable de maîtriser les bases du fonctionnement du vivant, du génome aux grands systèmes physiologiques ainsi qu'aux pressions de sélections auxquels les organismes font face. Le programme accorde ainsi une place centrale à des enseignements décrivant les systèmes biologiques, condition nécessaire pour aborder avec rigueur et pertinence les approches quantitatives et interdisciplinaires contemporaines.

Objectifs

Deux parcours sont proposés, construits sur un socle commun d'enseignements fondamentaux en biologie. Ils permettent ensuite une spécialisation progressive selon les aspirations des étudiants : d'un côté, un parcours orienté vers une biologie fondamentale aux interfaces avec les autres disciplines, le programme « Frontières en Biologie Quantitative » ; de l'autre, un parcours davantage tourné vers les applications médicales et les enjeux biomédicaux, le programme « Sciences pour les Défis de la Santé ».

Le parcours **Frontières en Biologie Quantitative** forme des étudiants capables de naviguer entre les disciplines pour appréhender la complexité du vivant. Après l'acquisition des bases essentielles – génomique, épigénétique, système nerveux, immunité, physiologie intégrative – les étudiants explorent les liens entre biologie, physique, informatique et ingénierie. Ils apprennent comment les grandes révolutions technologiques, du séquençage à la microscopie avancée, produisent des données massives qui nécessitent des approches quantitatives, statistiques et computationnelles. Ce parcours met l'accent sur la modélisation des systèmes biologiques, de la cellule et de ses interactions physiques jusqu'aux dynamiques d'écosystèmes, ainsi que sur les outils d'analyse permettant d'en extraire des lois générales. Il prépare ainsi à des carrières à l'interface des disciplines, où la capacité à intégrer des approches expérimentales et théoriques est devenue essentielle.

Le parcours Sciences pour les Défis de la Santé s'appuie sur les mêmes fondations pour se concentrer sur les applications médicales des grandes avancées en biologie. Les étudiants y approfondissent la compréhension des grands systèmes impliqués dans la santé – système nerveux, système immunitaire, fonctionnement des génomes et biotechnologies – en mettant l'accent sur les mécanismes par lesquels leur dérégulation conduit à la maladie. Les technologies récentes permettent désormais d'analyser ces processus avec une précision inédite, depuis l'échelle cellulaire jusqu'aux organismes entiers, et d'intégrer ces informations grâce à des approches quantitatives et à l'intelligence artificielle. Ce parcours vise à former des scientifiques capables de relier mécanismes fondamentaux et enjeux cliniques, et de participer au développement de nouvelles stratégies thérapeutiques, en mobilisant un large éventail d'outils, de l'observation expérimentale à l'analyse de données complexes.

Contenu

a. Règles de choix de cours :

Les cours seront dispensés en anglais ou en français, suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.

Pour chacune des périodes P1 et P2, il faut choisir trois cours et un EA.
Le cours MIE du jeudi matin, doit être IME_51C23_EP de l'Innovation Numérique en Santé par Etienne Minvielle (Jeudi 10 h 30-12h, un des 5 parcours du cours MIE obligatoire pour les 3A)

BIO_50P11_EP, la période 1 et la période 2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA. Acquérir une première expérience de recherche dans le cadre d'un cours facultatif au cours des semestres P1 et P2.

Il peut se poursuivre en P2 mais est alors un cours supplémentaire qui ne se substitue pas à un EA de P2. Les projets facultatifs seront discutés avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA. Sélection de 8 élèves ayant suivi **BIO_43032_EP** – Pathologies et stratégies thérapeutiques.

b. Règles de panachage :

Le panachage entre les deux parcours est autorisé.
Les autres panachages (maximum un par période) doivent être justifiés et validés par un responsable du PA.

c. Pré-requis :

Au moins un module de Biologie en année 2.

d. Stage de recherche :

Les stages de recherche peuvent être réalisés en milieu académique ou en entreprise, en France comme à l'étranger. Dans tous les cas, une problématique recherche devra être clairement définie.

Les étudiants sont invités à participer activement à la recherche de leur stage, en liaison avec le coordinateur et avec l'aide de l'équipe pédagogique.

Le coordinateur validera la proposition de stage émanant du laboratoire d'accueil et désignera un enseignant référent.
La proposition devra impérativement mentionner le titre du stage, un descriptif succinct (une dizaine de lignes), le nom du tuteur de stage et les dates prévues.

e. Compétences acquises :

Les enseignements de l'année 3 s'adressent aux élèves qui veulent explorer les propriétés du vivant de manière plus approfondie et à des niveaux croissants d'intégration, de la molécule à la cellule et aux organismes : génétique, reproduction, clonage, architecture et spéciation cellulaire, réseau de cellules en communication, ontogénèse du système nerveux, populations, génomique. Il s'agit, dans ces domaines, de fournir des connaissances opérationnelles en Biologie qui permettront aux élèves de continuer dans cette branche (voir ci-dessous).

4A, débouchés et métiers

Responsable :
Benoit Schneider (p. 4860)
benoit.schneider@polytechnique.edu

En France :
Écoles en partenariat :
- AgroParisTech (BIOTECH),
- Chimie ParisTech,
- ENSTA Paris (Énergie et Environnement),
- ESPCI ParisTech (Bioingénierie),
- Mines ParisTech (Biotechnologie).
- Toxicologie.

Parcours Master IPP :
- Biology and Health

Autres universités :
Tout M2 universitaire en biologie, immunologie, pharmacologie, génétique, neurosciences, bioinformatique, physique et systèmes biologiques, etc.

Études Doctorales :
Formation par et pour la recherche en biologie moléculaire, cellulaire, biotechnologie, neurosciences, immunologie, cancérologie, etc.

A l'Etranger :
Master (of Science) :
Bioengineering, Biomedical Engineering, Biochemistry, Environmental Engineering.

Attention :

Dans la plupart des universités anglosaxonnes, les départements ne pro- posent que des PhD avec master intégré, pas de master seul.

Métiers liés à l'ingénierie du vivant, par exemple dans les secteurs suivants :

- Recherche en sciences du vivant
- Biomédecine
- Pharmacie (thérapeutique, diagnostique, prophylactique)
- Cosmétologie
- Agroalimentaire, agrochimie.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Frontières en Biologie Quantitative

Yves Mechulam
yves.mechulam@polytechnique.edu

Ollvier Tenaillon
olivier.tenaillon@inserm.fr

Les cours seront dispensés en anglais ou en français suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.
Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
	(*3 au choix*)															
BIO_51051_EP																
BIO_51053_EP																
BIO_51055_EP																
BIO_51056_EP																
BIO_51057_EP																

EA P1	(*1 au choix*)															
BIO_51171_EP																
BIO_51172_EP																
BIO_50P72_EP																

Projet	*La période 1 et la période 2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.*
BIO_50P11_EP	Projet

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

BIO_51051_EP – Immunologie et maladies infectieuses
BIO_51053_EP – Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture
BIO_51055_EP – Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes
BIO_51056_EP – Genomes: Diversity, Environment and Human Health
BIO_51057_EP – Neurosciences

1 EA obligatoire au choix parmi

BIO_51171_EP – Travaux expérimentaux de génie génétique
BIO_51172_EP – Travaux expérimentaux en imagerie quantitative
BIO_50P72_EP – Biomédecine de précision du cancer

➠ Sélection faite le jour de l'amphi de rentrée

1 projet supplémentaire possible

La période 1 et la période2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.
Projet facultatif à définir avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA.
BIO_50P11_EP – Projet de Biologie

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(3 au choix)*															
BIO_52001_EP																
BIO_52002_EP																
BIO_52004_EP																
MDC_52068_EP																
PHY_52065_EP																

EA P2	*(1 au choix)*															
BIO_52101_EP																
BIO_50P72_EP																
MDC_52P80_EP																
MDC_52P88_EP																

Projet	*La période 1 et la période 2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.*
BIO_50P11_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix

BIO_52001_EP – Biologie des systèmes moléculaire et Biologie synthétique

BIO_52002_EP – Epigénétique et ARN non-codants

BIO_52004_EP – Biophotonique et applications

MDC_52068_EP – Sciences du médicament

PHY_52065_EP – Physics of living systems: fluctuations,self-organization and active matter

1 EA obligatoire au choix

BIO_52101_EP – Sciences des données en imagerie biologique

BIO_50P72_EP – Biomédecine de précision du cancer

➠ Sélection faite le jour de l'amphi de rentrée

MDC_52P80_EP – Projet en modélisation des systèmes vivants

MDC_52P88_EP – Projet en bioinformatique

1 projet supplémentaire possible

BIO_50P11_EP – Projet de Biologie ➠ Prérequis : avoir suivi BIO_50P11_EP en P1

Période 3

Stage de recherche

BIO_52991_EP – Biologie, Santé ou Écologie

COMPOSITION DU PROGRAMME

Sciences pour les Défis de la Santé

Yves Mechulam
yves.mechulam@polytechnique.edu

Olivier Tenaillon
olivier.tenaillon@inserm.fr

Les cours seront dispensés en anglais ou en français suivant la présence ou non d'étudiants non-francophones.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
	(*3 au choix*)															
BIO_51051_EP																
BIO_51053_EP																
BIO_51056_EP																
BIO_51057_EP																
MEC_51050_EP																

EA P1	(*1 au choix*)															
BIO_51171_EP																
BIO_50P72_EP																

Projet	*La période 1 et la période 2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.*
BIO_50P11_EP	**Projet**

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

BIO_51051_EP — Immunologie et maladies infectieuses
BIO_51053_EP — Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture
BIO_51056_EP — Genomes: Diversity, Environment and Human Health
BIO_51057_EP — Neurosciences
MEC_51050_EP — Biofluids Mechanics and Mass Transport

1 EA obligatoire

BIO_51171_EP — Travaux expérimentaux de génie génétique
BIO_50P72_EP — Biomédecine de précision du cancer (sélection faite le jour de l'amphi de rentrée)

1 projet supplémentaire possible

La période 1 et la période2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.
Projet facultatif à définir avec les enseignants lors de l'amphi de démarrage du PA.
BIO_50P11_EP — Projet de Biologie

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(3 au choix)*															
BIO_52002_EP																
BIO_52063_EP																
BIO_52064_EP																
MDC_52068_EP																
PHY_52065_EP																

EA P2	*(1 au choix)*															
BIO_50P72_EP																
MDC_52P80_EP																
MDC_52086_EP																
MDC_52P88_EP																

Projet	*La période 1 et la période 2, quel que soit le parcours, peuvent être complétées par un projet facultatif en cours supplémentaire qui ne remplace pas un EA.*
BIO_50P11_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix

BIO_52002_EP — Epigénétique et ARN non-codant

BIO_52063_EP — IA pour la biologie et la santé

BIO_52064_EP — Cancer Immunotherapies

MDC_52068_EP — Sciences du médicament

PHY_52065_EP — Physics of living systems: fluctuations,self-organization and active matter

1 EA obligatoire au choix

BIO_50P72_EP — Biomédecine de précision du cancer (*sélection faite le jour de l'amphi de rentrée*)

MDC_52P80_EP — Projet en modélisation des systèmes vivants

MDC_52086_EP — Biomechanics in health and disease

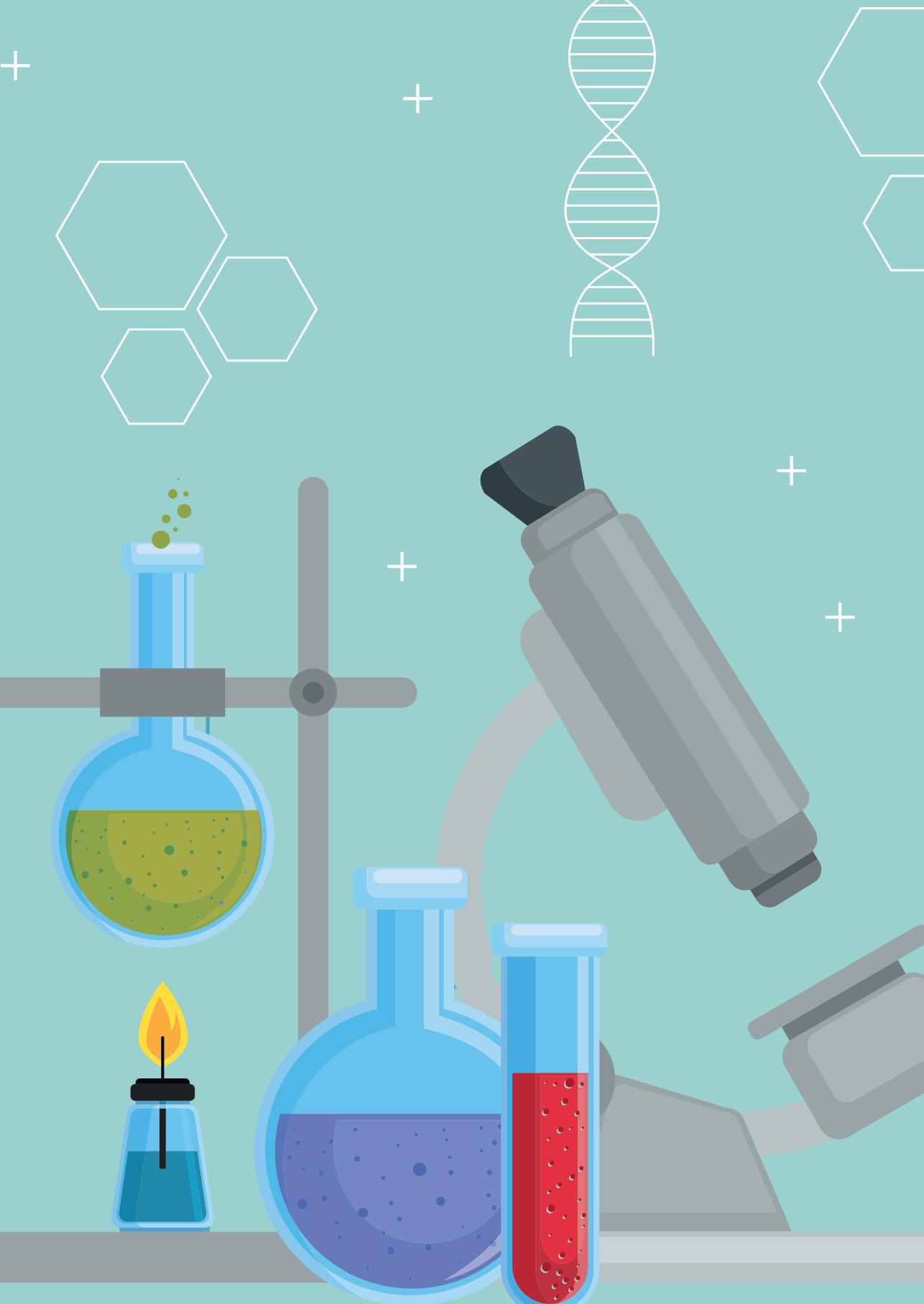
MDC_52P88_EP — Projet en bioinformatique

Projet supplémentaire possible

BIO_50P11_EP — Projet de biologie

Période 3

Stage de recherche



CHIMIE AUX INTERFACES
CHEMISTRY AND INTERFACES

Simon Delacroix ▸ *Responsable*
simon.delacroix@polytechnique.edu

Thierry Gacoin ▸ *Responsable*
thierry.gacoin@polytechnique.edu

Département de chimie
Moodle

Contexte

Comment les sciences chimiques peuvent-elles répondre aux grands défis sociétaux ; en santé et en bio-ingénierie, pour l'environnement autour d'énergies propres, sûres et efficaces, pour le développement de technologies quantiques et de matériaux sobres et innovants ?

À l'origine, la chimie est une science naturelle. Elle est l'étude de la matière, d'abord visible, celles des minéraux, des métaux, des substances organiques, puis à une échelle microscopique avec des outils de microscopie et de spectroscopie ainsi que des outils théoriques, largement développés ces dernières années.

Étudier la chimie, c'est chercher à comprendre comment la matière se transforme, chercher à fabriquer des produits innovants ou des produits connus avec des méthodes plus sobres en énergie, en limitant les déchets ou en les réutilisant. C'est aussi comprendre la relation entre la structure/propriétés.

Pourquoi telle molécule naturelle possède des propriétés thérapeutiques alors que telle autre est un perturbateur endocrinien ? Comment alléger les matériaux magnétiques contenus dans les turbines d'éoliennes ?

Comment stocker l'énergie dans des batteries performantes et recyclables et développer des catalyseurs durables pour la production d'hydrogène ?

L'ensemble de ce programme d'approfondissement s'adresse ainsi à tous les élèves ingénieurs ayant décidé de construire leur parcours professionnel autour de ces grands défis modernes pour lesquels la chimie est au cœur du jeu avec des interfaces assumées avec la biologie, l'énergie, les sciences de l'environnement, la physique et la mécanique. Le parcours est construit pour proposer une très large palette de débouchés possibles qu'ils soient dans le monde industriel, dans les corps de l'état tels que celui des ponts eaux et forêt et de la direction générale de l'armement, ainsi que dans le monde académique.

Objectifs

La première partie du programme d'approfondissement « Chimie aux interfaces » comprend des cours de base qui approfondissent les aspects de la chimie proposés en seconde année et en abordent de nouveaux. L'objectif est de donner un ensemble solide de connaissances de base en chimie qui permettra aux étudiants de poursuivre dans tous les sous-parcours proposés en seconde période. À ce titre, les cours obligatoires de chimie physique et de chimie du solide introduisent la spectroscopie RMN et l'électrochimie ainsi que les connaissances fondamentales de la chimie des phases condensées. Un cours obligatoire supplémentaire est laissé au choix des étudiants afin de compléter leur formation de base parmi les cours suivants :

- Un cours axé sur la chimie moléculaire hétérocyclique et organométallique
- Un cours traitant des polymères, de leur synthèse et caractérisation à l'étude de leurs propriétés, notamment mécanique
- Un cours d'électrochimie, reliant concepts fondamentaux aux applications technologiques pour faire face aux futurs défis énergétiques
- Un cours de physique des électrons dans la phase condensée
- Un cours sur les surfaces molles.

Dans le cadre des enseignements d'approfondissement, il est proposé aux étudiants de choisir une unité de projet expérimental (PREX) ou un cours aux interfaces d'autres départements (physique, biologie). Compte tenu du caractère expérimental de la chimie (y compris pour la chimie théorique), il est fortement conseillé aux étudiants de choisir un EA expérimental que ce soit en période 1 (CHE_51P71) ou en période 2 (CHE_51P72_EP_EP). Pour ceux-ci, chaque étudiant effectue un travail de recherche avec un chercheur référent sur un thème en développement dans son laboratoire.

Les élèves de 3A/M1 ont également la possibilité de remplacer le projet expérimental par un module appelé « Projet de Recherche en laboratoire (PRL) – « Labwork program in chemical science », en période 1 : CHE_51P11_EP et/ou en période 2 : CHE_51P12_EP. Ce module est à destination d'élèves particulièrement motivés par la recherche, en leur laissant la possibilité d'accéder à un laboratoire où ils pourront, quand ils le voudront, venir travailler sous la responsabilité d'un tuteur et sous réserve de l'accord du directeur d'unité. Ci-dessous quelques règles concernant l'organisation de ces projets.

Parmi les choix des EA, les EA expérimentaux sont proposés dans chaque sous-parcours et le Projet de Recherche en Laboratoire se poursuit sur la seconde période.

Des informations supplémentaires peuvent être obtenues sur le site moodle du département de chimie : https://moodle.polytechnique.fr/course/index.php?categoryid=1140

Contenu

a. Règles de choix de cours :

Les cours seront dispensés en anglais.

Les cours seront dispensés en anglais. En **période 1** : 2 cours seront obligatoires, 1 cours au choix parmi 5 propositions de cours, 1 cours facultatif et d'un EA au choix.

En **période 2** : La seconde partie du programme d'approfondissement « **Chimie aux interfaces** » contient un dernier cours obligatoire de base sur la chimie quantique et la modélisation moléculaire, puis le programme se divise en sous-parcours que les étudiants doivent sélectionner :

- Chimie pour la biologie et la santé.
- Chimie durable pour l'énergie, l'environnement.
- Matériaux innovants pour la technologie.

Chaque sous-parcours nécessite le choix de trois cours et d'un EA.

b. Règles de panachage :

Les cours sont souvent mutualisés avec d'autres programmes d'approfondissement en énergie, biologie, science et défis de l'environnement et physique et permettent aux élèves ingénieurs de débuter une spécialisation dans un des grands domaines d'avenir de la chimie. Un cours peut être panaché pour chacune des périodes. Les panachages sont à justifier et à discuter avec les responsables du PA.

c. Prérequis :

Avoir validé au moins un cours de Chimie en année 2 :
CHE_41031_EP ; CHE_42021_EP ; CHE_43051_EP ou CHE_43052_EP

d. Stage de recherche :

Les stages de recherche s'articulent autour des trois sous parcours proposés mais pourront être choisis en dehors de la thématique du sous-parcours suivi par l'élève ingénieur. Ils peuvent avoir lieu en France ou à l'étranger. Les élèves sont invités à participer activement à la recherche de leur stage, en liaison avec le coordinateur d'option et avec l'aide de l'équipe pédagogique. La validation du stage par le coordinateur nécessite une proposition de stage émanant du laboratoire d'accueil, mentionnant le sujet (une dizaine de lignes au moins, pas seulement le titre), le nom du tuteur de stage et les dates. Un formulaire de stage sera dès lors à compléter et à envoyer à l'administration de l'École.

- CHE_52991_EP – Chemistry for Biology and Health
  Resp. Bastien Nay

- CHE_52992_EP – Chemistry for Energy and Sustainable Development
  Resp. Cédric Tard

- CHE_52993_EP – Innovative Materials for Technology
  Resp. Thierry Gacoin

e. Compétences acquises :

Les élèves ayant suivi le Programme d'Approfondissement « Chimie aux interfaces » disposeront, à la fin du programme, d'une base technique particulièrement solide leur permettant d'aborder une 4e année dans n'importe quel domaine de la chimie, mais aussi de poursuivre sur des thématiques plus larges (énergie, environnement, santé…) où ils pourront mobiliser leurs connaissances de pointe et mettre en avant une culture scientifique large.

4A, débouchés et métiers

En France

Écoles :

- Chimie ParisTech, ENSTA Paris (génie des procédés – environnement).

- IFP School (Advanced Technology in Petrochemicals – Polymers and Plastics).

- Mines ParisTech (développement industriel des procédés avancés).

Master :

Dans le domaine de la chimie des matériaux ou de la chimie moléculaire

- Chemistry and interfaces (IP Paris).

Dans le domaine de la science des matériaux :

- Sciences des Matériaux et Nano-Objets (SMNO) – Sorbonne Université, l'ESPCI, Chimie ParisTech et les écoles Normales Supérieurs (Ulm et Paris-Saclay).

M2 (autres universités) :

- Chimie, Génie chimiques, chimie des matériaux, chimie du solide, nanomatériaux, matériaux fonctionnels.

À l'étranger

De nombreux programmes Masters sont accessibles dans différents domaines. Parfois, des compétences élargies sont nécessaires, notamment en physique.

Des exemples représentatifs sont donnés ci-dessous :

- Master of Chemical Sciences, Biochemistry, Chemical Engineering (EPFL, Berkeley, UC San Diego), Environmental Engineering.

- Material Science and Engineering: TU Delft (Pays Bas), Nanyang Technological University, National University Singapore (Singapour), EPFL (Suisse), Cambridge, Imperial College (Grande Bretagne), Berkeley, Cornell, Stanford, North Western University, MIT (USA)…

Métiers liés à la Chimie :

Ce programme vise à donner une culture de base dans le domaine de la chimie moléculaire ou des matériaux, et prépare à des carrières très diverses dans les corps de l'État, les cabinets de conseil et d'ingénierie, en recherche académique en université et organismes de recherche fondamentale (CNRS, INRA) ou appliquée (CEA) et comme cadre de l'industrie (PME, grandes entreprises publiques ou privées, R & D industrielle).

Il permet aussi d'envisager l'entreprenariat dans des domaines multiples de la santé, pour l'environnement, l'énergie, le recyclage, les matériaux intelligents associé à du machine learning…

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(2 cours obligatoires)*															
CHE_51051_EP																
CHE_51054_EP																
	(1 au choix obligatoire)															
CHE_51052_EP																
CHE_51055_EP																
CHE_51056_EP																
PHY_51052_EP																
PHY_51057_EP																
EA P1*	*(1 au choix obligatoire)*															
CHE_51P11_EP																
CHE_51P71_EP																
PHY_51170_EP																

*Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 : « Projet expérimental » CHE_51P71_EP/ CHE_52P72_EP – ou « Module de Recherche en laboratoire » CHE_51P11_EP, CHE_52P12_EP.

Période 1

2 cours obligatoires

CHE_51051_EP – Chimie physique

CHE_51054_EP – Chimie du solide

1 cours obligatoire parmi les choix suivants

CHE_51052_EP – Chimie hétérocyclique et organométallique

CHE_51055_EP – Electrochimie

CHE_51056_EP – Polymères

PHY_51052_EP – Quantum Physics of Electrons in Solids

PHY_51057_EP – Soft surface

1 EA obligatoire

Note : Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 : « Projet expérimental en chimie » CHE_51P71_EP/CHE_52P72_EP – ou « Projet de Recherche en laboratoire » CHE_51P11_EP CHE_52P12_EP.

CHE_51P11_EP – Projet de recherche en laboratoire (PRL) ➠ Attention, voir note en fin de document

CHE_51P71_EP – Projet Expérimental de Chimie

PHY_51170_EP – Materials Design

La période 2 est divisée en 3 sous-parcours

Biologie et Santé,

Energie et developpement durable,

Matériaux tecchnologiques innovants

COMPOSITION DU PROGRAMME

Biologie et santé
Biology and Health

Bastien Nay
bastien.nay@polytechnique.edu

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
CHE_52063_EP																
	(2 cours *obligatoires*)															
CHE_52061_EP																
MDC_52068_EP																

EA P2*	(*1 au choix obligatoires*)															
CHE_52P12_EP																
CHE_52P72_EP																
MDC_52P80_EP																

*Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 : « Projet expérimental » ou « Module de Recherche en laboratoire »

Période 2

1 cours obligatoire

CHE_52063_EP – Chimie quantique

2 cours obligatoires

CHE_52061_EP – Synthèse de médicaments et de substances naturelles

MDC_52068_EP – Sciences du médicament

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

Note : Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 :

« Projet expérimental » – ou « Module de Recherche en laboratoire »

CHE_52P12_EP – Projet de recherche en laboratoire (PRL)

➠ Attention, voir note en fin de document

CHE_52P72_EP – Projet Expérimental de Chimie (PREX)

MDC_52P80_EP – Project in modelling of living systems

COMPOSITION DU PROGRAMME

Energie et développement durable
Energy and Sustainable Development

Cédric Tard
cedric.tard@polytechnique.edu

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
CHE_52063_EP																
Cours P2	(*2 cours Obligatoires*)															
CHE_52062_EP																
CHE_52065_EP																
CHE_52066_EP																
CHE_52067_EP																
MDC_52063_EP																
EA P2*	(*2 au choix obligatoires*)															
CHE_52P72_EP																
CHE_52P12_EP																
PHY_52189_EP																

*Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 : « Projet expérimental » ou « Module de Recherche en laboratoire »

Période 2

1 cours obligatoire

CHE_52063_EP – Chimie quantique

2 cours obligatoires parmi les choix suivants

CHE_52062_EP – Sustainable Chemistry

CHE_52065_EP – Environmental Chemistry

CHE_52066_EP – Chimie digitale

CHE_52067_EP – Chimie au sein des limites planétaires

MDC_52063_EP – Materials Science for Energy Conversion and Storages

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

Note : Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 :

« Projet expérimental » ou « Module de Recherche en laboratoire »

CHE_52P72_EP – Projet Expérimental de Chimie (PREX)

CHE_52P12_EP – Projet de recherche en laboratoire (PRL)

➠ Attention, voir note en fin de document

PHY_52189_EP – Laboratory Course in Photovoltaics

COMPOSITION DU PROGRAMME

Matériaux technologiques innovants innovative *Materials for Technology*

Thierry Gacoin
thierry.gacoin@polytechnique.edu

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
CHE_52063_EP																
Cours P2	(*2 au choix obligatoires*)															
MDC_52063_EP																
PHY_52002_EP																
CHE_52066_EP																
EA P2	(*1 au choix obligatoire*)															
CHE_52P72_EP																
CHE_52P12_EP																
PHY_52182_EP																

Période 2

1 cours obligatoire

CHE_52063_EP – Chimie quantique

2 cours obligatoires parmi les choix suivants

MDC_52063_EP – Materials Science for Energy Conversion and Storages
PHY_52002_EP – Nanomaterials: Electronic and Energy Applications
CHE_52066_EP – Chimie digitale

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

Note : Au moins un EA expérimental devra obligatoirement être choisi en P1 ou en P2 : « Projet expérimental » CHE_51P71_EP (P1) CHE_52P72_EP (P2) – ou « Module de Recherche en laboratoire » CHE_51P11(P1) CHE_52P12_EP (P2)

CHE_52P72_EP – Projet Expérimental de Chimie (PREX)
CHE_52P12_EP – Projet de recherche en laboratoire (PRL)

➠ Attention, voir note en fin de document

PHY_52182_EP – Current Trends in Materials Science
PHY_52189_EP – Laboratory Course in Photovoltaics

Note sur le Projet de Recherche en laboratoire (PRL)

Les élèves de 3A/M1 ont la possibilité de choisir un module appelé « Projet de Recherche en laboratoire », en période 1 CHE_51P11_EP et/ou en période 2 CHE_51P12_EP. Ce module est à destination d'élèves particulièrement motivés par la recherche, en leur laissant la possibilité d'accéder à un laboratoire où ils pourront, quand ils le voudront, venir travailler sous la responsabilité d'un tuteur et sous réserve de l'accord du directeur d'unité. Ci-dessous quelques règles concernant l'organisation de ces projets :

- Les élèves ne peuvent valider ce module que sous réserve d'avoir trouvé par eux même un tuteur au sein des laboratoires et après validation des responsables du module et du directeur et d'unité qui fixera les règles d'accès.
- Le module peut être choisi en période 1, en période 2, ou bien sur les deux périodes. Dans ce dernier cas, le sujet peut être le même, ou différent sur les deux périodes.
- Le Module se substitue aux modules de projets expérimentaux (PREX) CHE_51P71_EP en P1 et CHE_52P72_EP en P2. L'évaluation du module se fait sous le même format que les PREX avec en plus un entretien avec le tuteur et les responsables de PA.
- En comparaison des PREX, le module requière un investissement significativement plus important, à l'appréciation du tuteur mais au minimum l'équivalent de 6 heures supplémentaires par semaine en plus de la demi-journée du mardi dédiée aux PREX, éventuellement fractionnées sur l'ensemble de la semaine.

Période 3

Stage de recherche

Coordinateur : B. Nay

CHE_52991_EP – Chemistry for Biology and Health
CHE_52992_EP – Chemistry for Energy and Sustainable Development
CHE_52993_EP – Innovative Materials for Technology



ÉCONOMIE

Marie-Laure Allain ▸ *Responsable du PA*
marie-laure.allain@polytechnique.edu

Jean – Baptiste Michau ▸ *Responsable du Master in Economics*
jean-baptiste.michau@polytechnique.edu

Weronika Leduc ▸ *Assistante du Département* – Bureau 4050, ENSAE
Weronika-natalia.leduc@polytechnique.edu

Département d'Économie
Moodle du Département

Program Description

The PA Economics is a one-year specialization program in Economics. The program emphasizes the quantitative aspects of economic analysis. Core courses rely mainly on modeling and game theory for the theory part, econometrics and data analytics for the empirical part. Applied courses extend these concepts to corporate finance and economic activity analysis. Although various courses are based on case studies, applications in real examples and data analysis, the main focus of the program will be on scientific studies aimed at engineers, and thus the provided courses will use strong scientific methodologies.

The program is aimed at the students who expect to develop their career in the public sector (economic administration, ministries, regulation agency, central banks, international organizations) or the private sector (consulting in business strategy, industry, bank, M&A, insurance, venture capital, financial services), or who wish to become entrepreneurs.

The PA Eco offers five specialization tracks: market strategy, corporate finance, public policy, environment economics and Master in Economics. All courses are taught in English.

Fourth-year opportunities

In France

- Corps de l'État.
- ENSAE, Mines, Ponts (economics management, finance), Télécom, HEC.
- Master 2 at École Polytechnique: MScT Economics, Data Analytics and Corporate Finance, Data and Economics for Public Policy.
- Second year (M2) of the Master in Economics (mainly for students from the "MIE track").

Abroad

Master and Phd in Economics, Finance, Public Administration, Operations Research, Business Analytics, Technology and Management, International Affairs.

Master in Economics track

This track of the PA Economics corresponds to the first year (M1) of the Master in Economics, which is a two-year program jointly offered by IP Paris and HEC. The objective of this program is to provide an advanced training in economics to students who want to become professional economists working in government, central banks, international organizations, consulting, and finance or in academic research.

The Master in Economics trains students to have a sound expertise in economics. The program heavily relies on advanced quantitative methods. The first year focuses on the theoretical and empirical tools of modern economic analysis, together with their most important applications. By the end of that year, students should be able to read research papers and assess the quality of economic arguments on non-trivial policy issues.

Students who choose to stay on for the second year (M2) will specialize within subfields of economics (finance, games and decision theory, industrial economics, macroeconomics, international economics, labor economics, public economics, sustainable development, and econometrics). By the end of that year, they should be familiar with the research frontier within their main area of specialization.

After finishing the M2, many strong students start a PhD in the U.S., at IP Paris, or elsewhere.

Website of the Master in Economics

Course choice rules

The students must register to, follow and pass four courses per semester. The available course choice is listed in each track. Some courses are mandatory in each track. Students must follow either the full Applied econometrics sequence or the full Advanced Econometrics sequence during the year.

Taking courses outside the list ("panachage") is allowed only for one course per year. If a student wants to choose a second course outside our PA, they must send a motivated request to the Head of Program. Students outside PA ECO wanting to take Economics courses, must contact the Head of Program.

The research track (master) is composed of a compulsory common core.

General Prerequisites

In order to choose PA Economics, in principle the students must have passed ECO_41031_EP Microéconomie or ECO_42032_EP Macroéconomie in their second year (2A).

For the Master in Economics track, ECO_42032_EP is a prerequisite; ECO_43033_EP Data and Economics or APM_41033_EP Statistiques are strongly recommended.

For Public Policy track, ECO_41031_EP is a prerequisite. If not passed, ECO_51650_EP becomes mandatory in the track.

Prerequisites for courses

- ECO_51052_EP Applied Econometrics 1 for ECO_52062_EP Applied Econometrics 2
- ECO_51652_EP Advanced Econometrics 1 for ECO_52662_EP Advanced Econometrics 2
- ECO_51054_EP Corporate Finance for ECO_52068_EP Advanced Corporate Finance
- ECO_51053_EP Financial Decisions under risk 1 for ECO_52182_EP Financial Decisions under risk 2
- ECO_41031_EP Microéconomie for ECO_5TO13_AE Public Economics and Public Finance
- ECO_51172_EP Environmental Economics for ECO_52069_EP Environmental Economics 2
- ECO_51056_EP Industrial Organization for ECO_52180_EP Competition Policy, ECO_52183_EP Business Economics and ECO_52188_EP Digital Economics

Semester 1 and 2

Elective Applied projects

ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics
through 1st and 2nd semester, it replaces two courses, one per semester.

In order to complement theoretical knowledge acquired during the courses, Project **ECO_50P11_EP** provides students with opportunities to work on a topic in applied economics, with some empirical ingredients or applied economic theory. Students work in groups of two or three members, and they are graded during an oral exam in March. A written report is submitted a week before the oral exam. Academic tutors provide topics, and meet the students on regular basis to supervise their work. The list of topics is provided at the end of September. Any topics proposed by the students/any arrangements are to be discussed individually. A mid term report is submitted for the first semester grade.

Approximate timeline

- September: announcement of the subject list by the department
- Beginning of October: registration, beginning of work
- Beginning of December: mid-term report (Semester 1)
- Beginning of March: final report (Semester 2)
- Mid- March, oral exam

Semester 3

Stage de recherche **(Research Internship)**

ECO_52991_EP – Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector, coordinator: Thierry Kamionka – thierry.kamionka.@ensae.fr
ECO_52992_EP – Internship in International Economics/Public Policy, coordinator: Alessandro Riboni – alessandro.riboni@polytechnique.edu
ECO_52993_EP – Internship in Banking/Finance, coordinator: Julien Prat – julien.prat@ensae.fr

In the third semester, students do an internship of 16 weeks minimum. The objective of this research internship is to provide students with opportunities to apply economic theory in practice. The students are expected to deliver application of economic theory into practice in a public or private institution, or conduct economic research in an academic institution.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Track corporate finance

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoires*)															
ECO_51052_EP										***						
ou ECO_51652_EP																
ECO_51054_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_51053_EP																
ECO_51152_EP																
ECO_51179_EP																
ECO_51180_EP																
ECO_5MA12_AE																
EA P1	(*1 au choix*)															
ECO_51053_EP																
ECO_51056_EP																
ECO_51057_EP																
ECO_51060_EP																
ECO_51152_EP																
ECO_51172_EP																
ECO_51179_EP																
ECO_51180_EP																
ECO_5MA12_AE																
ECO_5T013_AE																
CSC_51053_EP																***
APM_51057_EP															**	
Projet P1 & P2																
ECO_50P11_EP	Projet															

First period

Two Mandatory courses

ECO_51052_EP – Applied Econometrics 1 **or**
ECO_51652_EP – Advanced Econometrics 1

ECO_51054_EP – Corporate Finance

One mandatory course among

ECO_51053_EP – Financial Decisions under risk 1
ECO_51152_EP – Valuation of start-ups
ECO_51179_EP – Case studies in Corporate Finance
ECO_51180_EP – Private Equity
ECO_5MA12_AE – Digital Finance: Cryptocurrencies and Blockchains (ENSAE)

One mandatory course among

ECO_51053_EP – Financial Decisions under risk 1 (*if not chosen*)
ECO_51056_EP – Industrial Organization
ECO_51057_EP – Market Design
ECO_51060_EP – International Economics
ECO_51152_EP – Valuation of start-ups (*if not chosen*)
ECO_51172_EP – Environmental economics
ECO_51179_EP – Case studies in Corporate Finance (*if not chosen*)
ECO_51180_EP – Private Equity (*if not chosen*)
ECO_5MA12_AE – Digital Finance: Cryptocurrencies and Blockchains (ENSAE) (*if not chosen*)
ECO_5T013_AE – Public Economics & Public Finance (ENSAE)
➠ Prerequisite : ECO_41031_EP
CSC_51053_EP – Database and Management Systems
➠ Prerequisite: CSC_41011_EP (strongly recommended) or CSC_41012_EP
APM_51057_EP – Operations Research: Mathematical Aspects and Applications
ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*2 obligatoires*)															
ECO_52062_EP										***						**
ou ECO_52662_EP																
ECO_52068_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_52063_EP																
ECO_52066_EP																
ECO_52182_EP																
ECO_52187_EP																
EA P2	(*1 au choix*)															
ECO_52063_EP																
ECO_52064_EP																
ECO_52065_EP																
ECO_52066_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52111_EP																
ECO_52180_EP																
ECO_52181_EP																
ECO_52182_EP																
ECO_52183_EP																
ECO_52184_EP																
ECO_52185_EP																
ECO_52187_EP																
ECO_52188_EP																
ECO_52189_EP																
ECO_54460_EP																

Projet P1 & P2	
ECO_50P11_EP	**Projet**

Second period

Two Mandatory courses

ECO_52062_EP – Applied Econometrics 2 **or** ➠ Prerequisite : ECO_51052_EP

ECO_52662_EP – Advanced Econometrics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51652_EP

ECO_52068_EP – Advanced Corporate Finance ➠ Prerequisite : ECO_51054_EP

One mandatory course among

ECO_52063_EP – Financial Markets

ECO_52066_EP – Law and finance

ECO_52182_EP – Financial Decisions under Risk 2 ➠ Prerequisite : ECO_51053_EP

ECO_52187_EP – Behavioral Finance

One mandatory course among

ECO_52063_EP – Financial Markets (*if not chosen*)

ECO_52064_EP – Economics of energy sectors

ECO_52065_EP – Economics of Migration

ECO_52066_EP – Law and finance (*if not chosen*)

ECO_52067_EP – Energy Economics with geography focus

ECO_52069_EP – Environmental Economics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51172_EP

ECO_52111_EP – Lecture series in Finance and Economics

ECO_52180_EP – Competition Policy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52181-EP – Economics of Biodiversity

ECO_52182_EP – Financial Decisions under Risk 2 (*if not chosen*) ➠ Prerequisite : ECO_51053_EP

ECO_52183_EP – Business Economics

ECO_52184_EP – Machine Learning for Causal Inference in Economics

ECO_52185_EP – Economists facing nature: history and context

ECO_52187_EP – Behavioral Finance (*if not chosen*)

ECO_52188_EP – Digital Economics ➠ Prerequisite ECO_51056_EP

ECO_52189_EP – Perspectives croisées sur les problématiques environnementales à travers l'étude de territoires

ECO_54460_EP – New technologies and Sharing Economy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics

Third period

Research Internship

ECO_52991_EP - Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector

ECO_52992_EP - Internship in International Economics/Public Policy

ECO_52993_EP - Internship in Banking/Finance

COMPOSITION DU PROGRAMME

Market strategy

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoires*)															
ECO_51052_EP										***						
ou ECO_51652_EP																
ECO_51056_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_51057_EP																
ECO_51172_EP																
EA P1	(*1 au choix*)															
ECO_51053_EP																
ECO_51054_EP																
ECO_51057_EP																
ECO_51060_EP																
ECO_51152_EP																
ECO_51172_EP																
ECO_51179_EP																
ECO_51180_EP																
ECO_5MA12_AE																
ECO_5T013_AE																
ECO_5T019_AE																
CSC_51053_EP*																***
APM_51057_EP															**	

Projet P1 & P2	
ECO_50P11_EP	Projet

First period

Two Mandatory courses

ECO_51052_EP — Applied Econometrics 1 **or**

ECO_51652_EP — Advanced Econometrics 1

ECO_51056_EP — Industrial Organization

One mandatory course among

ECO_51057_EP — Market Design

ECO_51172_EP — Environmental Economics

One mandatory course among

ECO_51053_EP — Financial Decisions under risk 1

ECO_51054_EP — Corporate Finance

ECO_51057_EP — Market Design (*if not chosen*)

ECO_51060_EP — International Economics

ECO_51152_EP — Valuation of start-ups

ECO_51172_EP —Environmental Economics (*if not chosen*)

ECO_51179_EP — Case studies in Corporate Finance

ECO_51180_EP — Private Equity

ECO_5MA12_AE — Digital Finance: Cryptocurrencies and Blockchains (ENSAE)

ECO_5T013_AE — Public Economics & Public Finance (ENSAE) ➠ Prerequisite : ECO_41031_EP

ECO_5T019_AE — Dynamic pricing and revenue management (ENSAE)

CSC_51053_EP — Database and Management Systems ➠ Prerequisite : CSC_41011_ EP (strongly recommended) or CSC_41012_EP

APM_51057_EP — Operations Research: Mathematical Aspects and Applications

ECO_50P11_EP — Research Project in Applied or Theoretical Economics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(2 obligatoires)*															
ECO_52062_EP ou ECO_52662_EP										***						**
ECO_52183_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_52180_EP																
ECO_52184_EP																
ECO_52188_EP																
EA P2	*(1 obligatoire au choix)*															
ECO_52063_EP																
ECO_52064_EP																
ECO_52065_EP																
ECO_52066_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52068_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52180_EP																
ECO_52181_EP																
ECO_52182_EP																
ECO_52184_EP																
ECO_52185_EP																
ECO_52188_EP																
ECO_52189_EP																
ECO_52111_EP																
ECO_54460_EP																
Projet P1 & P2																
ECO_50P11_EP	**Projet**															

Second period

Two Mandatory courses

ECO_52062_EP – Applied Econometrics 2 **or** ➠ Prerequisite : ECO_51052_EP

ECO_52662_EP – Advanced Econometrics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51652_EP

ECO_52183_EP – Business Economics ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

One mandatory course among

ECO_52180_EP – Competition Policy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52184_EP – Machine Learning for Causal Inference in Economics

ECO_52188_EP – Digital Economics ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

One mandatory course among

ECO_52063_EP – Financial Markets

ECO_52064_EP – Economics of energy sectors

ECO_52065_EP – Economics of Migration

ECO_52066_EP – Law and finance

ECO_52067_EP – Energy Economics with geography focus

ECO_52068_EP – Advanced Corporate Finance ➠ Prerequisite : ECO_51054_EP

ECO_52069_EP – Environmental Economics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51172_EP)

ECO_52111_EP – Lecture Series in Economics and Finance

ECO_52180_EP – Competition Policy (*if not chosen*) ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52181_EP – Economics of Biodiversity

ECO_52182_EP – Financial Decisions under Risk 2 ➠ Prerequisite : ECO_51053_EP

ECO_52184_EP – Machine Learning for Causal Inference in Economics (*if not chosen*)

ECO_52185_EP – Economists facing nature: history and context

ECO_52188_EP – Digital Economics ➠ Prerequisite ECO_51056_EP

ECO_52189_EP – Perspectives croisées sur les problématiques environnementales à travers l'étude de territoires

ECO_54460_EP – New technologies and Sharing Economy

ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics

Third period

Research Internship

ECO_52991_EP - Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector

ECO_52992_EP - Internship in International Economics/Public Policy

ECO_52993_EP - Internship in Banking/Finance

COMPOSITION DU PROGRAMME

Public Policy

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(1 obligatoire)*															
ECO_51052_EP										***						
ou																
ECO_51652_EP																
Plus 2 au choix obligatoire																
ECO_51056_EP																
ECO_51057_EP																
ECO_51172_EP																
ECO_51650_EP																
ECO_5T013_AE																
EA P1	*(1 obligatoire au choix)*															
ECO_51053_EP																
ECO_51054_EP																
ECO_51056_EP																
ECO_51057_EP																
ECO_51060_EP																
ECO_51172_EP																
ECO_51179_EP																
ECO_51180_EP																
ECO_51650_EP																
ECO_5MA12_AE																
ECO_5T013_AE																
CSC_51053_EP																***
APM_51057_EP															**	

Projet P1 & P2	
ECO_50P11_EP	Projet

First period

One Mandatory course

ECO_51052_EP – Applied Econometrics 1 **or**

ECO_51652_EP – Advanced Econometrics 1

Two mandatory course among

ECO_51056_EP – Industrial Organization

ECO_51057_EP – Market Design

ECO_51172_EP – Environmental Economics

ECO_51650_EP – Microeconomics 1 (*compulsory if ECO_41031_EP not passed*)

ECO_5T013_AE – Public Economics and Public Finance (ENSAE)

➠ Prerequisite : ECO_41031_EP

One mandatory course among

ECO_51053_EP – Financial Decisions under risk 1

ECO_51054_EP – Corporate Finance

ECO_51056_EP – Industrial Organization (*if not chosen*)

ECO_51057_EP – Market Design (*if not chosen*)

ECO_51060_EP – International Economics

ECO_51172_EP – Environmental Economics (*if not chosen*)

ECO_51179_EP – Case studies in Corporate Finance

ECO_51180_EP – Private Equity

ECO_51650_EP – Microeconomics 1 (*if not chosen*)

ECO_5MA12_AE –Digital Finance: Cryptocurrencies and Blockchains

ECO_5T013_AE – Public Economics and Public Finance (ENSAE) (*if not chosen*)

CSC_51053_EP – Database and Management Systems

➠ Prerequisite : CSC_41011_EP (strongly recommended) or CSC_41012_EP

APM_51057_EP – Operations Research: Mathematical Aspects and Applications

ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*1 obligatoire*)															
ECO_52062_EP										***						**
ou ECO_52662_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_52180_EP																
ECO_52661_EP																
EA P2	(*2 obligatoires au choix*)															
ECO_52661_EP																
ECO_52063_EP																
ECO_52064_EP																
ECO_52065_EP																
ECO_52066_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52068_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52111_EP																
ECO_52180_EP																
ECO_52181_EP																
ECO_52182_EP																
ECO_52184_EP																
ECO_52185_EP																
ECO_52187_EP																
ECO_52188_EP																
ECO_52189_EP																
ECO_54460_EP																
Projet P1 & P2																
ECO_50P11_EP	Projet															

Second period

One Mandatory course

ECO_52062_EP — Applied Econometrics 2 **or** ➠ Prerequisite : ECO_51052_EP

ECO_52662_EP — Advanced Econometrics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51652_EP

One mandatory course among

ECO_52180_EP — Competition Policy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52661_EP — Macroeconomics 2

Two mandatory courses among

ECO_52063_EP — Financial Markets

ECO_52064_EP — Economics of energy sectors

ECO_52065_EP — Economics of Migration

ECO_52066_EP — Law and Finance

ECO_52067_EP — Energy Economics with geography focus

ECO_52068_EP — Advanced Corporate Finance ➠ Prerequisite : ECO_51054_EP

ECO_52069_EP — Environmental Economics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51172_EP)

ECO_52111_EP — Lecture Series in Economics and Finance

ECO_52180_EP — Competition Policy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52181_EP — Economics of Biodiversity

ECO_52182_EP — Financial Decisions under Risk 2 ➠ Prerequisite : ECO_51053_EP

ECO_52184_EP — Machine Learning for Causal Inference in Economics

ECO_52185_EP — Economists facing nature: history and context

ECO_52187_EP — Behavioral Finance

ECO_52188_EP — Digital Economics ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52189_EP — Perspectives croisées sur les problématiques environnementales à travers l'étude de territoires

ECO_54460_EP — New technologies and Sharing Economy ➠ Prerequisite : ECO_51056_EP

ECO_52661_EP — Macroeconomics 2 (*if not chosen*)

ECO_50P11_EP — Research Project in Applied or Theoretical Economics

Third period

Research Internship

ECO_52991_EP — Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector

ECO_52992_EP — Internship in International Economics/Public Policy

ECO_52993_EP — Internship in Banking/Finance

COMPOSITION DU PROGRAMME

Environmental Economics

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(2 *obligatoires*)															
ECO_51052_EP ou ECO_51652_EP										***						
ECO_51172_EP																
Plus 2 obligatoires au choix																
ECO_51053_EP																
ECO_51056_EP																
ECO_51057_EP																
ECO_51060_EP																
ECO_51650_EP																
Projet P1 & P2																
ECO_50P11_EP	Projet															

First period

Two Mandatory courses

ECO_51052_EP — Applied Econometrics 1 **or**

ECO_51652_EP — Advanced Econometrics 1

ECO_51172_EP — Environmental Economics

Two mandatory courses among

ECO_51053_EP — Financial Decisions under Risk 1

ECO_51056_EP — Industrial Organization

ECO_51057_EP — Market Design

ECO_51060_EP — International Economics

ECO_51650_EP — Microeconomics 1 (*compulsory if ECO_41031_EP not passed*)

ECO_50P11_EP — Research Project in Applied or Theoretical Economics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(1 obligatoire)*															
ECO_52062_EP										***						**
ou ECO_52662_EP																
Plus 1 au choix obligatoire																
ECO_52064_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52069_EP																
EA P2	*(2 obligatoires au choix)*															
ECO_52063_EP																
ECO_52064_EP																
ECO_52065_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52111_EP																
ECO_52181_EP																
ECO_52184_EP																
ECO_52185_EP																
ECO_52188_EP																
ECO_52189_EP																
ECO_54460_EP																
Projet P1 & P2																
ECO_50P11_EP	**Projet**															

Second period

One mandatory course

ECO_52062_EP – Applied Econometrics 2 **or** ➠ Prerequisite : ECO_51052_EP

ECO_52662_EP – Advanced Econometrics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51652_EP

One mandatory course among

ECO_52064_EP –Economics of energy sectors

ECO_52067_EP – Energy Economics with geography focus

ECO_52069_EP – Environmental Economics 2 ➠ Prerequisite : ECO_51172_EP

Two mandatory courses among

ECO_52063_EP – Financial Markets

ECO_52064_EP – Economics of energy sectors (*if not chosen*)

ECO_52065_EP – Economics of Migration

ECO_52067_EP – Energy Economics with geography focus (*if not chosen*)

ECO_52069_EP – Environmental Economics 2 (*if not chosen*)

ECO_52111_EP – Lecture Series in Economics and Finance

ECO_52181_EP – Economics of Biodiversity

ECO_52184_EP – Machine Learning for Causal Inference in Economics
➠ Prerequisite: ECO_51172_EP

ECO_52185_EP – Economists facing nature: history and context

ECO_52188_EP – Digital Economics ➠ Prerequisite: ECO_51056_EP

ECO_52189_EP – Perspectives croisées sur les problématiques environnementales à travers l'étude de territoires

ECO_54460_EP – New technologies and Sharing Economy

ECO_50P11_EP – Research Project in Applied or Theoretical Economics

Third period

Research Internship

ECO_52991_EP – Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector

ECO_52992_EP – Internship in International Economics/Public Policy

ECO_52993_EP – Internship in Banking/Finance

COMPOSITION DU PROGRAMME

Master in Economics

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoires*)															
ECO_51650_EP																
ECO_51651_EP																
ECO_51652_EP																

Projet P1 & P2	
ECO_50P11_EP	**Projet**

Cours additionnel supplémentaire																
ECO_51658_EP																

First period

All courses are mandatory

ECO_51650_EP — Microeconomics 1

ECO_51651_EP — Macroeconomics 1

ECO_51652_EP — Advanced Econometrics 1

ECO_50P11_EP — Research Project in Applied or Theoretical Economics

Additional course

ECO_51658_EP — Time Series Econometrics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*3 obligatoires*)															
ECO_52660_EP																
ECO_52661_EP																
ECO_52662_EP																

Projet P1 & P2	
ECO_50P11_EP	**Projet**

Second period

All courses are mandatory

ECO_52660_EP — Microeconomics 2

ECO_52661_EP — Macroeconomics 2

ECO_52662_EP — Advanced Econometrics 2

ECO_50P11_EP — Research Project in Applied or Theoretical Economics

Third period

Research Internship

ECO_52991_EP — Internship in Microeconomics/Corporate/Environmental Sector

ECO_52992_EP — Internship in International Economics/Public Policy

ECO_52993_EP — Internship in Banking/Finance



ELECTRICAL ENGINEERING

Yvan Bonnassieux
Physique
yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

Contexte

Ce programme d'approfondissement est fortement multidisciplinaire. Il propose de fournir à chaque élève une vision complète des champs de l'Electrical Engineering.

Objectifs

Les fondamentaux professionnels du métier d'ingénieur dans les grands domaines actuels et futurs des hautes technologies :

- Electronique et microélectronique ;
- Objets connectés ;
- Electronique de puissance ;
- Automatisation des systèmes embarqués et complexes ;
- Traitement du signal et de l'information ;
- Nanotechnologies et nanoélectronique ;
- Réseaux et télécommunications ;
- Architecture matérielle et logicielle des systèmes informatiques.

Contenu

a. Règles de choix de cours :

Projet de la 3e année : le PA EE privilégie l'approche 3 cours et 1 EA (projet intégré dans les cours ou EA). Projet de laboratoire possible, s'il est bien défini avec perspective de recherche pour 4A (**PHY_50P13_EP**) remplace 1 ou 2 EA).

b. Règles de panachage :

Un panachage de cours ou d'EA avec une autre thématique est toujours possible s'il cela est en bonne cohérence avec les projets de 4A et de début de carrière.

c. Pré-requis

Pas de prérequis spécifique pour le PA EE.

d. Stage de recherche :

CSC_52991_EP – Informatique
PHY_52993_EP – Matériaux, semi-conducteurs et composants
APM_52992_EP, APM_52993_EP, APM_52994_EP

Quelques pistes intéressantes de stages :

- Laboratoires et startups de l'École polytechnique ou IP Paris, CEA
- KTH (Stockholm), TUM (Munich), Cambridge
- The University of Tokyo & NARA Institute of Science and Technology, (Japon)
- Columbia University (Alliance program) Massachusetts
- Institute of Technology, UPMC, Northwestern University (USA).
- Thales, ST-Microelectronics, Stellantis, Renault, ARM

e. Compétences acquises :

Ce programme d'approfondissement est fortement multidisciplinaire. Il se propose de fournir à chaque élève une vision complète des champs de l'Electrical Engineering et les fondamentaux professionnels du métier d'ingénieur en Electrical Engineering dans les grands domaines actuels et futurs des hautes technologies :

- Électronique et microélectronique ;
- Objets connectés et systèmes embarqués ;
- Électronique de puissance et Energie renouvelable ;
- Robotique et automatisation ;
- Traitement du signal et de l'information ;
- Nanotechnologies et nanoélectronique ;
- Réseaux et télécommunications ;
- Architecture matérielle et logicielle des systèmes informatiques.

4A, débouchés et métiers

En France :
Il est possible de compléter sa formation avec un Master en France : Institut Polytechnique de Paris, Université Paris-Saclay, PSL, Sorbonne Université…

À l'étranger :
Le programme peut également être complété par un Master à l'étranger, notamment dans les universités suivantes :

- Stanford University,
- Columbia University,
- Massachusetts Institute of Technology (MIT),
- Princeton University,
- École polytechnique fédérale de Lausanne, KTH,
- ETH Zürich,
- TUM,
- Imperial College London,
- NAIST,
- The University of Tokyo…

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*3 cours obligatoires au choix*)															
CSC_51063_EP																
CSC_51057_EP												***				
APM_51055_EP																
APM_51057_EP															**	
PHY_51059_EP																
PHY_51005_EP																
EA P1	(*Obligatoire*)															
PHY_51173_EP																

Période 1

3 cours obligatoires au choix

CSC_51063_EP — Théorie de l'information

CSC_51057_EP — From the Internet to the IoT: the fondamental of modern computer networking

APM_51055_EP — Signal Processing

APM_51057_EP — Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

PHY_51059_EP — Conception of numerical and analog integrated circuits

PHY_51005_EP — Power Electronic Engineering

1 EA obligatoire

PHY_51173_EP — Conception expérimentale électronique (*projet*)

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*3 cours au choix*)															
CSC_52066_EP																
PHY_52002_EP															**	
PHY_52003_EP																
PHY_52067_EP																

EA P2	(*1 au choix*)															
PHY_52181_EP																
PHY_52064_EP																
PHY_52101_EP																

Période 2

3 cours obligatoires au choix

CSC_52066_EP – Internet: from Fundamentals to the Reality

PHY_52002_EP – Nanomaterials and electronic applications

PHY_52003_EP – Optoelectronics

PHY_52067_EP – Physique des composants semi-conducteurs

1 EA obligatoire

PHY_52181_EP – Electronique de spin

PHY_52064_EP – Open electronic: fromArduino, Raspberry Pi to Internet of Things (*projet*)

PHY_52101_EP – Conception expérimentale microélectronique VLSI (*projet*)

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Informatique

PHY_52993_EP – Matériaux, semi-conducteurs et composants

APM_52992_EP, **APM_52993_EP**, **APM_52994_EP**, **APM_52995_EP** – Signal, images, modélisation, automatique



ÉNERGIES

Marie-Jean Thoraval ▸ *Mécanique*
marie-jean.thoraval@polytechnique.edu

Daniel Suchet ▸ *Physique*
daniel.suchet@polytechnique.edu

Contexte

A l'heure actuelle, plus de 80 % de l'approvisionnement énergétique mondial vient d'énergies fossiles. Ce mix pose des problèmes scientifiques et stratégiques majeurs depuis longtemps ; mais ces questions gagnent encore en visibilité alors que le changement climatique est de plus en plus sensible. Elles concernent une grande diversité d'acteurs – entreprises, collectivités, institutions nationales et internationale – qui sont amenés à agir et à réagir pour assurer leur approvisionnement énergétique et en gérer les conséquences.

On distingue souvent 3 grands enjeux énergétiques : la durabilité (climat, pollution, épuisement des ressources), la sécurité (maitrise de l'approvisionnement, sureté des installations) et la justice (accès aux bénéfices de l'énergie, répartition des coûts). Dans chacune de ces dimensions, le débat public et les prises de décisions doivent être nourris d'une compétence technique, dans laquelle les ingénieurs ont une responsabilité particulière.

Objectifs

Le programme d'approfondissement « Énergies » est proposé par les départements de Mécanique et de Physique. Il s'adresse particulièrement aux étudiants se destinant aux différents métiers s'exerçant dans les domaines très vastes du développement des nouvelles techniques dans la production de l'énergie, de son transport, de son stockage, de sa gestion et de ses conséquences pour notre société.

L'objectif de ce programme est l'acquisition des concepts scientifiques essentiels pour la compréhension technique des questions énergétiques, notamment dans le développement et la gestion des énergies dites « non fossiles ».

Différentes trajectoires peuvent être envisagées au sein du PA pour mettre l'accent sur différentes facettes de ces problématiques : énergie nucléaire, énergie solaire, énergie éolienne, matériaux pour l'énergie, enjeux stratégiques etc.

Sa pédagogie combine cours magistraux à forte composante scientifique, sensibilisation aux enjeux technologiques et économiques, découverte du secteur (visites, exposés), et mise en œuvre pratique par des projets ou par des stages. Le PA invite les élèves à profiter pleinement de l'écosystème de recherche en lien avec l'énergie sur le campus (conférences, laboratoires, centre E4C…).

Si l'enjeu principal de cette formation est l'acquisition d'un solide bagage technique, l'ouverture à des perspectives issues des sciences humaines est indispensable pour envisager le domaine dans sa complexité. Le PA invite donc à suivre des cours des départements ECO, MIE ou HSS consacrés à l'énergie.

Contenu

a. Règles de choix de cours

- P1 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- P2 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- Sur l'année : au moins 4 cours ou EA du PA Énergies entre PHY et MEC
- FOrtement recommandé
  - Au moins 1 et au maximum 2 cours ECO, MIE, HSS ou MDC
  - Cours PHY_51055 (Energy & Environment) et ECO_52064 (Economy of energy sectors)
- Impossible de suivre deux cours dont les amphis sont sur le même créneau

b. Règles de panachage

- Pour chaque période, 1 panachage (cours ou EA) est possible – dans la limite des règles ci-dessus.

c. Prérequis

Les prérequis sont spécifiques à chaque cours du programme : il n'y a donc pas de prérequis général au programme, au-delà d'une bonne formation initiale en mécanique et en physique. Pour les étudiants rejoignant l'École polytechnique en master, il faut cependant noter qu'une bonne formation de base en mécanique et physique est nécessaire pour suivre ce programme.

Recommandations en parallèle des cours du PA :

- Séminaire HSS/MIE
  - HSS_51S05_EP – Economie du développement durable
  - IME_51S07_EP – Management de la transition énergétique : changements socio-techniques et choix politiques et sociaux

- Cours HSS
  – HSS_51C21_EP – Face à la crise environnementale et climatique : des humanités environnementales ?

- Conférences organisées par le centre Energy For Climate (E4C)
  – Conférences Coriolis, cycle Energy:research & innovation et cycle Ingénieur de demain
  – Séminaires Technologies de la Transition Energétique
  https://www.e4c.ip-paris.fr/evenements

- Challenge étudiant E4C (https://energy4climate.agorize.com/en)

d. Stage de recherche

Le stage peut être effectué en France ou à l'étranger, dans un laboratoire, une entreprise ou une institution. Le point crucial est que l'activité doit être un projet **de recherche** – c'est-à-dire qu'il s'agit de produire des connaissances nouvelles, sans certitude initiale sur les résultats finaux.

e. Compétences acquises

- Socle de compétences techniques pertinentes pour les enjeux énergétiques
- Spécialisation dans un (ou quelques) secteur énergétique
- Introduction multidisciplinaire aux problématiques énergétiques

4A, débouchés et métiers

En 4A, environ 10-30 % des élèves poursuivent leur formation dans un corps de l'État (Mines, IPEF, Armement), 20-40 % dans une école d'application (IMT, ENPC, ENSTA) et environ 50 % dans un Master, en France (IPP, PSL…) ou à l'étranger (EPFL, Montréal, ETH, KTH, Stanford, Oxford, Cambridge…).

A plus long terme, le PA peut ouvrir vers une thèse de doctorat ou directement vers le monde du travail. Il permet d'aller vers la recherche académique dans le domaine de l'énergie, la R&D industrielle, la gestion de projets énergétiques (développement, installation, opération), l'analyse prospective…

COMPOSITION DU PROGRAMME

Pour vous aider à construire votre emploi du temps, le tableau ci-dessous montre la répartition des cours dans la semaine.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(3 cours obligatoires au choix)*															
APM_51051_EP																
MEC_51051_EP																
MEC_51055_EP																
MEC_51057_EP																
MEC_51059_EP																
PHY_51004_EP																
PHY_51005_EP																
PHY_51055_EP																
PHY_51058_EP																
CHE_51055_EP																

EA P1	*(1 au choix)*															
MEC_51170_EP																
MEC_51171_EP																
MEC_51177_EP																
MDC_51170_EP																
PHY_51006_EP																

Période 1

3 cours obligatoires au choix

APM_51051_EP — Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des milieux réactifs multi-échelles

MEC_51051_EP — Comportements des matériaux

MEC_51055_EP — Instabilities and Turbulence

MEC_51057_EP — Machine learning for climate and energy

MEC_51059_EP — Mécanique pour l'éolien

PHY_51004_EP — Physique et Ingénierie d'Appareils Photovoltaïques

PHY_51005_EP — Génie Electrique et Energie Renouvelable

PHY_51055_EP — Énergie et environnement ➠ Fortement recommandé

PHY_51058_EP — Physique des réacteurs nucléaires

CHE_51055_EP — Electrochimie

1 EA obligatoire au choix

MEC_51170_EP — Analyse et dimensionnement des structures et composants

MEC_51171_EP — Chagements climatiques : impacts, enjeux énergétiques et environnementaux

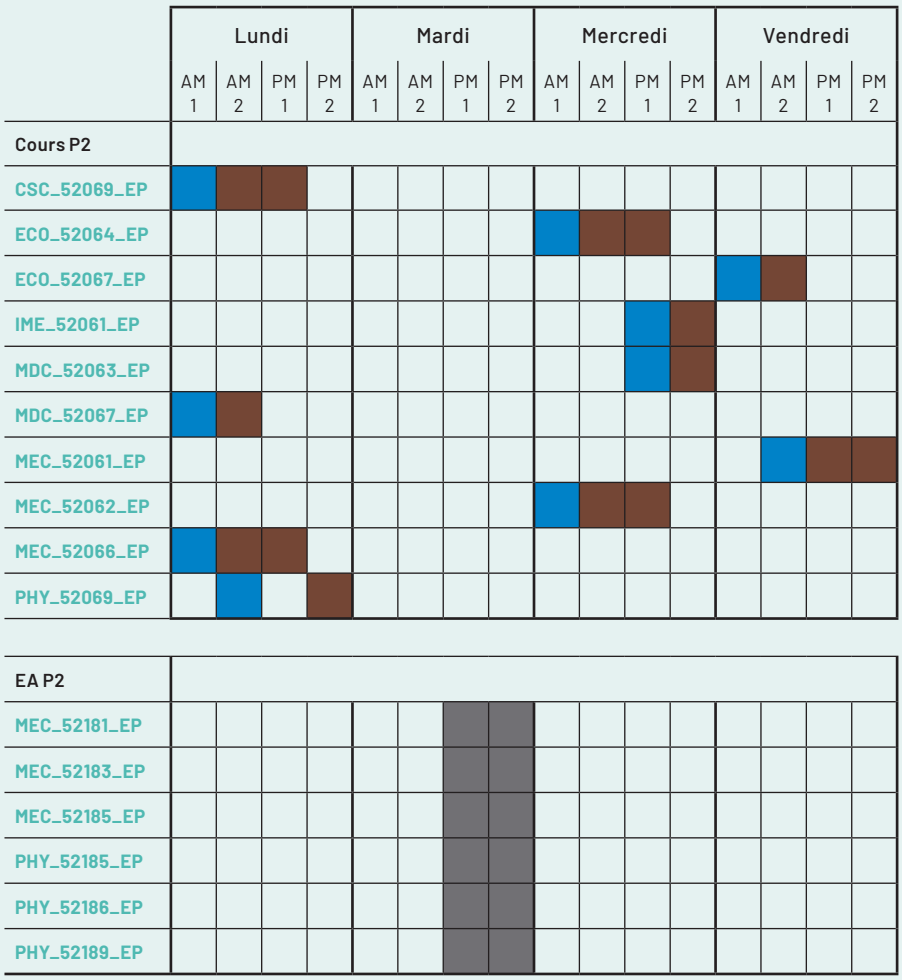
MEC_51177_EP — Écoulements environnementaux

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

PHY_51006_EP — Building and using models for the energy transition

COMPOSITION DU PROGRAMME

Pour vous aider à construire votre emploi du temps, le tableau ci-dessous montre la répartition des cours dans la semaine. Code couleur : bleu = amphi, vert = PC.



Période 2

3 cours obligatoires au choix

CSC_52069_EP — Decision theory, with applications to energy systems

ECO_52064_EP — Économie des secteurs énergétiques ➠ Fortement recommandé

ECO_52067_EP — Energy Economics with a Geography Focus

IME_52061_EP — Eco-conception pour l'innovation soutenable

MDC_52063_EP — Material science for energy conversion and storage

MDC_52067_EP — Transport et diffusion

MEC_52061_EP — Fluid-Structure Interactions

MEC_52062_EP — Mécanique et couplages multiphysiques

MEC_52066_EP — Mécanique des fluides pour l'énergie et applications au domaine nucléaire

PHY_52069_EP — Physics of plasmas and thermonuclear fusion

1 EA obligatoire au choix

MEC_52181_EP — Modèles et données en mécanique

MEC_52183_EP — Projects on Solar and Wind Energy: Resource and Performance Analysis

MEC_52185_EP — Engineering computational solid mechanics

PHY_52185_EP — Travaux expérimentaux en physique de l'environnement

PHY_52186_EP — Technologie des réacteurs nucléaires et cycle du combustible

PHY_52189_EP — Laboratory Course in Photovoltaics

Période 3

Stage de recherche

MEC_52997_EP — Énergies

PHY_52997_EP — Énergies



INFORMATIQUE

Samuel Mimram
samuel.mimram@polytechnique.edu

Olivier Bournez
olivier.bournez@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 efficaces et fondements des langages de programmation.
- Methodes Formelles et Fondements des Systemes Cyberphysiques.
- Cyber-Sécurité.
- Internet des objets pour une société numérique (IOE4DS).

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

- Image-Vision-Apprentissage.
- Optimisation.
- MAT-INFO

Nous proposons aussi un parcours bi-disciplinaire physique/informatique :

- Informatique quantique

et la possibilité de parcours à la carte :

- Parcours personnalisé

Cours, et projets 3A

- Vous devez choisir obligatoirement 4 modules (hors projet) par période.

Pour les élèves qui souhaitent se familiariser avec la recherche, il est fortement conseillé de réaliser, en plus des 4 cours par période, un projet qui peut s'étaler sur une ou deux périodes. Le cas échéant, prenez rapidement contact avec le responsable de filière pour discuter d'un sujet et d'un encadrant.

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 :
ENSEEIHT, ENSIMAG, ENSTA Paris (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 IP Paris « Computer Science for Networks ».
- Master IP Paris « Cybersecurity ».
- Master IP Paris « Cyber Physical Systems ».
- Master IP Paris « Data & Artificial Intelligence ».
- Master IP Paris « Foundations in Computer Science ».
- Master IP Paris « High Performance Data Analytics ».
- Master IP Paris « Interaction, Graphic & Design ».
- Master IP Paris « Operations Research ».
- Master IP Paris « Parallel and Distributed Systems ».
- Master « Mathématique et Informatique appliqués à la Cryptologie » (MIC), Paris 7 (Parcours MAT-INFO).
- MVA (Mathématiques, Vision et Apprentissage) d'IPP.
- MPRO (Master Parisien en Recherche Opérationnelle).
- MPRI (Master Parisien de Recherche en 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 EFFICACES ET FONDEMENTS DES LANGAGES DE PROGRAMMATION

Gilles Schaeffer
gilles.schaeffer@polytechnique.edu

Luca Castelli
luca.castellialeardi@polytechnique.edu

Objectifs

Cette filière permet aux étudiants avec un intérêt pour l'informatique au sens large de poursuivre un enseignement équilibré entre les deux finalités de la discipline: l'efficacité et la sûreté. Une importance particulière est attachée ici à la rigueur mathématique, sans toutefois perdre le contact avec les finalités pratiques: résoudre des tâches ardues sur ordinateur de façon efficace et pérenne!

Les cours offrents ainsi un aperçu:

- des applications des mathématiques en informatique (cryptographie, théorie de l'information, image),
- des utilisations de la logique en informatique (assistants de preuve, compilation)
- des techniques avancées en algorithmique

Le parcours permet de se concentrer aussi sur la conception d'algorithmes performants, à l'aide de techniques algorithmiques innovantes, en abordant plus particulièrement deux axes et domaines:
L'Image/la Vision d'une part, et l'Optimisation/la Recherche Opérationnelle d'autre part. Il s'agit à ce titre 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

Cette filière constitue la première année du master IP Paris « Foundations of Computer Science » et débouche possiblement sur la seconde année de ce même master, qui est un programme joint avec l'Université de Paris, l'Université Paris Saclay et l'École Normale de Paris, sous le nom de Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI).

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

- Master Paris-Saclay « MathématiquesVision-Apprentissage (MVA) ».
- Master IP Paris « Operations Research ».

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

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

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(Obligatoire)*															
CSC_51050_EP																
	(3 cours obligatoires au choix)															
CSC_51051_EP																
CSC_51055_EP																
CSC_51058_EP														**		
CSC_51063_EP																
CSC_51071_EP																
CSC_51073_EP										***						
CSC_51074_EP								**								
CSC_51075_EP																
APM_51057_EP															**	
MDC_51002_EP																
Projet P1 et P2																
CSC_50P13_EP	**Projet**															

Période 1

1 cours obligatoire

CSC_51050_EP – Algorithmique avancée

3 cours obligatoires au choix parmi

CSC_51051_EP – Computational Logic: from Artificial Intelligence to Zero Bugs
CSC_51055_EP – Constraint-based modelling and algorithms for decision support
CSC_51058_EP – Introduction to cryptology
CSC_51063_EP – Introduction to informations theory
CSC_51071_EP – Distributed Computing
CSC_51073_EP – Image Analysis and Computer Vision
CSC_51074_EP – Digital Representations and Analysis of Shapes
CSC_51075_EP – Safe Intelligent Systems
APM_51057_EP – Recherche opérationnelle: aspects mathématiques et applications
MDC_51002_EP – Information et Calcul Quantique : Fondements

Périodes 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P13_EP – Projet supplémentaire d'Algorithmes et fondements des langages de programmation

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(4 cours au choix)*															
CSC_52003_EP																
CSC_52060_EP																
CSC_52061_EP																
CSC_52062_EP																
CSC_52064_EP				**												
CSC_52068_EP*																
CSC_52070_EP																
CSC_52071_EP*																
CSC_52084_EP																
CSC_52089_EP																

*CSC_51058_EP : prérequis pour CSC_52068_EP

Projet P1 et P2	
CSC_50P13_EP	**Projet**

Période 2

4 cours obligatoires au choix

CSC_52003_EP — Quantum Diagrams and Programs

CSC_52060_EP — Informatique parallèle et distribuée

CSC_52061_EP — Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms

CSC_52062_EP — Géométrie algorithmique: de la théorie aux applications

CSC_52064_EP — Compilation

CSC_52068_EP — Advanced Cryptology ➠ Prérequis : CSC_51058_EP

CSC_52070_EP — Logical verification of hybrid systems

CSC_52071_EP — Foundations in software verification ➠ Prérequis : avoir suivi CSC_51051_EP

CSC_52084_EP — Synthèse d'image

CSC_52089_EP — Computational analysis of high-throughtput sequencing date

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP — Stage d'Informatique

FORMAL METHODS AND FOUNDATIONS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (FMFCPS)

Eric Goubault
eric.goubault@polytechnique.edu

Sylvie Putot
sylvie.putot@polytechnique.edu

Objectifs

Les méthodes formelles sont des techniques mathématiquement rigoureuses destinées à la spécification, au développement, à l'analyse et à la vérification des systèmes logiciels et matériels. Elles ont donné naissance à des domaines logiques et mathématiques avancés tels que l'interprétation abstraite, les méthodes de preuve et les assistants de preuve (ainsi que des cadres logiques d'ordre supérieur comme Coq, Agda ou Lean), la vérification de modèles et les algorithmes SAT/SMT, qui constituent le cœur de cette filière, avec tous les aspects sémantiques et algorithmiques qui s'y rapportent.

Les 5 cours fondamentaux de la filière, parmi lesquels les étudiants doivent choisir au moins 3, fournissent tout le matériel théorique et pratique nécessaire pour les assistants de preuve (CSC_51051_EP, CSC_52071_EP, CSC_52003_EP), l'interprétation abstraite (CSC_51075_EP) et la vérification de modèles, SAT/SMT (CSC_51075_EP, CSC_52070_EP), en tenant compte de divers domaines d'application : les preuves et la synthèse de programmes (CSC_51051_EP, CSC_52070_EP, CSC_51075_EP, CSC_52003_EP) et la validation de systèmes cyber-physiques et basés sur l'IA (CSC_51075_EP, CSC_52070_EP).

Les méthodes formelles ont connu de grands succès dans la conception de systèmes corrects ou la détection de bogues. Par exemple, les méthodes formelles ont joué un rôle déterminant dans la conception des lignes de métro autonomes de la RATP (par exemple la ligne 14) et font partie des normes internationales en aéronautique telles que la norme DO178C. Les méthodes formelles ont été intégrées au développement continu des systèmes d'exploitation et des pilotes chez Microsoft, avec le développement d'outils tels que le solveur SMT Z3 ou le cadre logique TLA+ pour la conception et la vérification de systèmes concurrents et distribués. Intel utilise les méthodes formelles depuis la découverte du bogue FDIV du Pentium en 1994 et Amazon AWS utilise systématiquement les méthodes formelles pour la conception et la vérification de ses services cloud, utilisés par 4,19 millions de clients dans le monde en 2025.

Il existe aujourd'hui diverses interactions entre les méthodes formelles et d'autres branches des mathématiques et de l'informatique, qui se reflètent dans le programme de ce parcours :

- Logique et algorithmique (possiblement quantique) : la plupart des propriétés d'intérêt sont indécidables, mais certains fragments ou certaines abstractions conduisent à des méthodes algorithmiquement gérables (les cours complémentaires que vous pourriez suivre sont alors par exemple CSC_51055_EP, CSC_52060_EP, CSC_51071_EP, CSC_52003_EP).
- Les systèmes basés sur l'IA ont un besoin urgent de méthodes formelles, afin de renforcer la confiance que les utilisateurs peuvent avoir dans ces systèmes, en prouvant la robustesse des décisions (les cours complémentaires que vous pourrez suivre sont par exemple APM_51053_EP, APM_51055_EP, CSC_52081_EP, CSC_52087_EP).
- Les systèmes cyber-physiques (systèmes de contrôle distribués), potentiellement alimentés par l'IA, sont des systèmes qui interagissent avec le monde physique : voitures autonomes et systèmes de transport, réseaux électriques intelligents, essaims de drones, appareils médicaux, etc et dont le bon fonctionnement est essentiel (les cours complémentaires que vous pourriez suivre sont par exemple CSC_51059_EP, CSC_51063_EP, CSC_51058_EP, CSC_52065_EP, CSC_52068_EP, CSC_51071_EP).

4A et débouchés

Cette filière trouve naturellement son prolongement dans la filière 4A :
la plupart des filières en informatique de l'IP Paris, en particulier le MPRI et la filière cyber-physique (CPS),
la plupart des masters en informatique, systèmes embarqués, systèmes, contrôle, robotique, etc., ou en systèmes cyber-physiques, par exemple le Master of Computer Science à la TUM, la CMU, Berkeley, l'EPFL, l'ETHZ, KTH Systèmes embarqués, Contrôles des systèmes et Robotique, ETHZ Robotique, Systèmes et Contrôle, Université de Californie à Irvine ou Systèmes cyberphysiques de Delft, etc.

Partenariats
La filière bénéficie de relations de longue date avec le département EECS de Berkeley ; jusqu'à 4 bourses destinées à soutenir des stages à Berkeley sont attribuées chaque année, sur une base concurrentielle.
Ce programme est également soutenu en partie par la chaire académique IP-Paris « Architecture des systèmes complexes », en partenariat avec la DGA, Dassault Aviation, Dassault Systèmes, Naval Group et KNDS. La chaire peut offrir un certain nombre de bourses pour les meilleurs projets de stage dans d'autres institutions internationales (certains étudiants sont allés à la CMU, GeorgiaTech, Austin et Boulder ces dernières années).

Cours :
Les étudiants doivent suivre au moins 3 des 5 cours sur les méthodes formelles (« Cours FM » plus bas : CSC_51051_EP, CSC_51075_EP, CSC_52071_EP, CSC_52070_EP, CSC_52003_EP). Nous indiquons ci-dessous les cours qui sont compatibles, compte tenu des contraintes d'emploi du temps, et qui sont les plus logiques à suivre dans le cadre du programme :

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(4 cours obligatoires)*															
CSC_51051_EP																
CSC_51075_EP																
CSC_51055_EP																
CSC_51058_EP*														**		
CSC_51059_EP										**						
CSC_51063_EP																
CSC_51071_EP																
APM_51055_EP																
MDC_51002_EP																
MDC_51006_EP		**	**								**					

Projet P1 et P2	
CSC_50P10_EP	**Projet**

Période 1

4 cours obligatoires au choix parmi

CSC_51051_EP – Logique Informatique : de l'Intelligence Artificielle à l'Absence d'erreurs

CSC_51075_EP – Méthodes formelles pour les systèmes cyber-physiques : des systèmes réactifs aux systèmes pilotés par l'IA

CSC_51055_EP – Modélisation et algorithmes basés sur les contraintes pour la prise de décision

CSC_51058_EP – Introduction à la cryptologie

CSC_51059_EP – Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

CSC_51063_EP – Introduction à la théorie de l'information

CSC_51071_EP – Structures de données distribuées, avec un accent particulier sur les chaînes de blocs

APM_51055_EP – Traitement du signal

MDC_51002_EP – Introduction à l'information et à l'informatique quantiques

MDC_51006_EP – Bases de l'Apprentissage Automatique

Période 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P10_EP – Projet supplémentaire de 3A Conception des systèmes informatiques

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(4 cours obligatoires)*															
CSC_52003_EP																
CSC_52070_EP																
CSC_51051_EP : prérequis pour CSC_52071_EP — CSC_52071_EP																
CSC_52060_EP																
CSC_52064_EP				**												
CSC_52065_EP																
CSC_51058_EP : prérequis pour CSC_52068_EP — CSC_52068_EP																
CSC_52081_EP																
CSC_52087_EP																

Projet P1 et P2	
CSC_50P10_EP	**Projet**

Période 2

4 cours obligatoires au choix parmi

CSC_52003_EP – Circuits quantiques avancés

CSC_52070_EP – Vérification logique des systèmes hybrides

CSC_52071_EP – Fondements de la vérification des logiciels
➠ Prérequis recommandé CSC_51051_EP

CSC_52060_EP – Algorithmique parallèle et distribuée

CSC_52064_EP – Compilation

CSC_52065_EP – Sécurité des systèmes d'information

CSC_52068_EP – Cryptologie avancée
➠ Prérequis : CSC_51058_EP

CSC_52081_EP – Apprentissage automatique avancé et agents autonomes

CSC_52087_EP – Apprentissage profond avancé

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Stage d'Informatique

CYBERSÉCURITÉ

Francois Morain
francois.morain@polytechnique.edu

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

École polytechnique : Graduate Degree Cyber-sécurité (parcours cyber-sécurité).

Master IP Paris « Cybersecurity ».

Master « Mathématique et Informatique appliqués à la Cryptologie » (MIC), Paris 7 (Parcours MAT-INFO).

MPRI (Master Parisien de Recherche en 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).

Mais aussi : les services de l'Etat et grandes industries informatiques.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoires*)															
CSC_51057_EP												**				
CSC_51058_EP*																
CSC_51059_EP																

	(*1 obligatoire au choix*)															
CSC_51051_EP																
CSC_51053_EP																***
CSC_51054_EP				***							***					
CSC_51063_EP																
CSC_51071_EP																
MDC_51006_EP		**	**								**					

Projet P1 et P2	
CSC_50P20_EP	**Projet**

Période 1

3 cours obligatoires

CSC_51057_EP — From the Internet to the IoT: The Fundamentals of Modern Computer Networking

CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology

CSC_51059_EP — Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

1 cours obligatoire au choix parmi

CSC_51051_EP — Computational Logic: from Artificial Intelligence to Zero Bugs

CSC_51053_EP — Database Management Systems

CSC_51054_EP — Machine and Deep learning

CSC_51063_EP — Introduction to informations theory

CSC_51071_EP — Distributed Computing

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

Période 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P20_EP — Projet supplémentaire de Cyber-securité

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoires*)															
CSC_52065_EP																
CSC_52068_EP*																
CSC_52086_EP																

	(*1 obligatoire au choix*)															
CSC_52064_EP				**												
CSC_52071_EP*																
CSC_52074_EP																

Projet P1 et P2	
CSC_50P20_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires

CSC_52065_EP — Information Systems Security

CSC_52068_EP — Advanced Cryptoloy — Prérequis : CSC_51058_EP

CSC_52086_EP — Sécurité des réseaux — Prérequis : CSC_51058_EP

1 cours obligatoire au choix parmi

CSC_52064_EP — Compilation

CSC_52071_EP — Foundations in software verification — Prérequis avoir suivi CSC_51051_EP en P1

CSC_52074_EP — Capture the flag

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP — Stage d'Informatique

IMAGE-VISION-APPRENTISSAGE

Damien Rohmer
damien.rohmer@poltechnique.edu

Objectifs

Cette filière propose une formation mixte généraliste dans les aspects fondamentaux de l'IA et en Image, avec un focus sur les applications de "Visual Computing", qui comprend la vision par ordinateur, l'analyse d'image et vidéos, et l'informatique graphique.

L'objectif de la filière est de permettre une formation avancée en Machine Learning, intégrant les méthodes avancées en IA multimodales et d'IA générative, tout en proposant des applications en analyse et synthèse de contenus visuels 2D et 3D.

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.

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.

Les cours sont mixtes entre ceux des PA Informatique et de Mathématique Appliqués, et s'appuient sur une liberté de choix de spécialisation et/ou de pluridisciplinarité entre les thèmes "Image", et "d'Apprentissage", ainsi qu'entre théorie et pratique.

Principaux cours proposés sur les aspects apprentissages : Les méthodes fondamentales d'apprentissage, le Deep Learning ainsi que ses méthodes avancées, l'IA multimodale et géné-

rative, les LLMs. Les aspects « Visual Computing » sont vus via l'introduction à l'analyse d'image et à la vision, aux méthodes de représentation de formes, aux méthodes d'animation et de simulation numérique, et aux approches de synthèse d'images.
Une large part de cours connexes liés à l'algorithmique efficace, l'optimisation, et à la géométrie sont également proposés.

Différence entre IVA et le PA en IA et Machine Learning : IVA propose la même base fondamentale de cours en apprentissage. IVA propose par contre moins de cours en statistiques, et moins de cours en gestion de données, mais plus de cours en Vision, ainsi que des cours en Graphique 3D et Géométrie avec des applications au domaine du loisir et de la simulation numérique.

Contrainte de la filière : Suivre au minimum deux cours d'images et un cours d'apprentissage sur l'année.

4A et débouchés

En sortie de filière IVA, les étudiants sont en mesure d'intégrer les meilleurs masters en IA et apprentissage générique, ainsi que les formations spécialisées en image, vision, ou graphique.

Universités étrangères : ETH Zurich, École polytechnique Montreal, Stanford, Imperial College, TUM, KTH, Columbia, Univ. Tokyo, EPFL, UCL, Berkeley, McGill, etc.

Masters principaux en France :
- Le MVA (Mathématiques, Vision et Apprentissage) d'IPP
- MSc&T Visual and Creative AI (ViCAI) de Polytechnique
- MSc&T Extended Cinematography de Polytechnique
- Master IGD (Interaction, Graphique et Design) d'IPP
- Master IMA (Sorbonne)
- Master ENJMIN en Jeux Vidéo

Ainsi que les école d'applications tels que Telecom Paris (filière IGR), Ponts, Mines.

En sortie de master, les domaines d'applications liés à IVA couvrent l'ensemble des domaines de l'IA et des Science des Données, avec l'avantage d'une spécialisation dans le domaine Visuel. Les secteurs d'applications privilégiés sont : La vision automatique ; La création numérique, photographie ; le Design graphique ; Les loisirs et Jeux Vidéos ; Le NLP ; La Biologie et l'Imagerie Médicale ; L'ingénierie Logicielle ; La Finance. La filière est autant ouverte à une poursuite en recherche académique qu'en R&D appliquée.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(4 cours au choix)*															
CSC_51050_EP																
CSC_51052_EP														**		
CSC_51054_EP				***							***					
CSC_51055_EP																
CSC_51056_EP																
CSC_51073_EP										***						
CSC_51074_EP								**								
CSC_51076_EP																
CSC_51085_EP												***				
APM_51055_EP																
MDC_51006_EP		**	**								**					

Projet P1 et P2	
CSC_50P15_EP	**Projet**

Période 1

4 cours obligatoires au choix parmi

CSC_51050_EP – Advanced algorithmics
CSC_51052_EP – Data Visualization
CSC_51054_EP –Deep Learning
CSC_51055_EP – Constraint-based modelling and algorithms for decision support
CSC_51056_EP – Topological data analysis
CSC_51073_EP – Image Analysis and Computer Vision
CSC_51074_EP – Digital representation and analysis of shapes
CSC_51076_EP – Optimisation and Responsible AI
CSC_51085_EP – Computer Animations
APM_51055_EP – Signal Processing
MDC_51006_EP – Foundations of Machine Learning

Périodes 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P15_EP – Projet de Image-Vision-Apprentissage

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
CSC_52002_EP																
CSC_52062_EP																
CSC_52081_EP												**				
CSC_52082_EP																
CSC_52084_EP																
CSC_52087_EP																
APM_52066_EP																

Projet P1 et P2	
CSC_50P15_EP	**Projet**

Période 2

4 cours obligatoires au choix parmi

CSC_52002_EP – Computer Vision: from fundamentals to applications

CSC_52062_EP – Computational geometry

CSC_52081_EP – Reinforcement Learning and Autonomous Agents

CSC_52082_EP – Introduction to Text Mining & NLP

CSC_52084_EP – Image synthesis

CSC_52087_EP – Advanced Deep Learning

APM_52066_EP – Statistics in action

Période 3

Stage de recherche

CSC_52994_EP - Stage en IVA

THE INTERNET OF EVERYTHING FOR DIGITIZED SOCIETY (IOE4DS)

Thomas Clausen
thomas.clausen@polytechnique.edu

Juan Antonio Cordero Fuertes
juan-antonio.cordero-fuertes@polytechnique.edu

Objectifs

Cette filière fait partie du M1/3A Informatique de l'École polytechnique. 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^e 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 IP Paris « Computer Science for Networks ».
- Stanford « Computer Science » ou « Electrical Engineering ».
- Université Keio.« cyberinformatique ».
- Imperial College London
- EPFL

Contenu

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, 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

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

Période 1

3 cours obligatoires

CSC_51057_EP — From the Internet to the IoT: Fundamentals of Modern Computer Networking

CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology

CSC_51059_EP — Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

1 cours obligatoire au choix parmi

CSC_51053_EP — Database Management Systems

CSC_51054_EP — Deep Learning

CSC_51075_EP — Safe Intelligent Systems

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(3 *obligatoires*)															
CSC_51057_EP																
CSC_51058_EP														**		
CSC_51059_EP																

	(Plus 1 *au choix*)															
CSC_51053_EP																***
CSC_51054_EP				***							***					
CSC_51075_EP																
MDC_51006_EP		**	**													

Période 2

4 cours obligatoires

CSC_52066_EP – From Fundamentals to Reality: How the Internet Really Works, and How To Make It Better

CSC_52067_EP – Wireless networks: from cellular to connected objects

CSC_52083_EP – Systems for Big Data ➠ Prérequis :CSC_51053_EP

CSC_52086_EP – Network Security

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Stage d'Informatique

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*4 obligatoires*)															
CSC_52066_EP																
CSC_52067_EP																
CSC_52083_EP*																
CSC_52086_EP																

PARCOURS MAT-INFO

Olivier Bournez
olivier.bournez@polytechnique.edu

David Renard
david.renard@polytechnique.edu

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.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

4 cours obligatoires parmi

CSC_51050_EP — Algorithmique avancée
CSC_51051_EP — Computational Logic: from Artificial Intelligence to Zero Bugs
CSC_51055_EP — Constraint-based modelling and algorithms for decision support
CSC_51056_EP — Topological Data Analysis
CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology
CSC_51063_EP — Introduction to Information Theory
FMA_51052_EP — Théorie algébrique des nombres
FMA_51056_EP — Groupes, Anneaux, Modules et Représentations
FMA_51057_EP — Topologie algébrique
MDC_51002_EP — Information et Calcul Quantique : Fondements

Périodes 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P19_EP — Projet optionnel supplémentaire de MAT-INFO

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(4 cours aux choix)															
CSC_51050_EP																
CSC_51051_EP																
CSC_51055_EP																
CSC_51056_EP																
CSC_51058_EP																
CSC_51063_EP																
FMA_51052_EP																
FMA_51056_EP																
FMA_51057_EP																
MDC_51002_EP																

Projet Optionnel	
CSC_50P19_EP	**Projet**

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(4 cours obligatoires)*															
CSC_52061_EP																
CSC_52068_EP *																
FMA_52062_EP																
FMA_52063_EP																
CSC_52001_EP																
CSC_52003_EP																
CSC_52070_EP																
CSC_52071_EP																

Projet Optionnel	
CSC_50P19_EP	**Projet**

Période 2

4 cours obligatoires parmi

CSC_52001_EP — Advanced topics in quantum computation et information

CSC_52003_EP — Advanced quantum circuits

CSC_52061_EP — Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms

CSC_52068_EP — Advanced Cryptology ➠ Prérequis : CSC_51058_EP

CSC_52070_EP — Vérification logique des systèmes hybrides

CSC_52071_EP — Fondements de la vérification des logiciels ➠ Prérequis avoir suivi CSC_51051_EP en P1

FMA_52062_EP — Introduction à la géométrie algébrique et courbes elliptiques

FMA_52063_EP — Groupes compacts et groupes de Lie

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP — Stage d'Informatique

PARCOURS « SUR MESURE »

Olivier Bournez
olivier.bournez@polytechnique.edu

François Morain
francois.morain@polytechnique.edu

Le parcours « sur mesure » s'adresse aux étudiants et étudiantes souhaitant suivre un parcours personnalisé en lien avec un projet professionnel identifié.

Ce parcours donne accès à une grande diversité de choix de cours proposés par le département d'informatique et permet des combinaisons pluri-thématiques différentes de celles proposées par les filières pré-existantes.

Le choix d'un parcours « sur mesure » doit cependant être le fruit d'un travail de réflexion vis-à-vis d'un projet professionnel pour assurer la cohérence et pertinence globale de vos choix de cours.

Votre intégration dans ce parcours doit ainsi faire l'objet d'un échange et d'une validation explicite par le(s) responsable(s) du parcours, auprès duquel vous devez décrire au minimum les deux éléments suivants

a. la description de votre projet professionnel clairement identifié, avec un projet de 4A ou de master

b. votre choix de cours, et l'explication du besoin de ce choix « sur mesure » vis-à-vis des parcours pré-existants.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

4 cours dont au moins 3 du département d'informatique

Période 2

4 cours dont au moins 3 du département d'informatique

Période 3

Stage de recherche en informatique, ou coopéré avec le département d'informatique

CSC_52991_EP — Stage d'informatique

CALCUL QUANTIQUE

Titouan Carette
titouan.carette@polytechnique.edu

Contexte et objectifs

L'avènement du calcul quantique est un événement majeur dans la jeune histoire de l'informatique. Nous sommes face à un nouveau modèle de calcul qui offre des avantages computationnels intéressants, tout en pouvant être implémenté par des machines physiques concrètes. De telles promesses obligent les informaticiennes et informaticiens, il s'agit de prendre ce nouveau modèle au sérieux et avec rigueur.

En effet, si la construction de l'ordinateur quantique est un formidable défi d'ingénierie mettant en jeu de vastes pans de la physique, in fine, c'est bien le recours à toute la palette des savoirs informatiques acquis ces dernières années qui nous permet d'imaginer de nouveaux protocoles et algorithmes, de distinguer les opportunités réelles des impasses techniques, d'identifier les obstacles et d'œuvrer au déploiement de solutions quantiques efficaces. Dans ce but, la filière informatique quantique fournit de solides connaissances sur le calcul quantique, aussi bien sur ces diverses applications algorithmiques et cryptographiques, que sur les techniques d'optimisation et de correction d'erreurs nécessaires à terme pour obtenir des gains computationnels effectifs.

La filière a pour objectifs de former des ingénieures informaticiennes et ingénieurs informaticiens, aptes à participer activement au développement de ces technologies nouvelles ainsi qu'à prendre des décisions stratégiques pertinentes dans l'environnement extrêmement dynamique des technologies quantiques.

Débouchés

Si la filière informatique quantique débouche naturellement sur des Master 2 spécialisés comme le master Informatique-Information quantique à Paris-Sorbonne Université, elle permet aussi de poursuivre dans une formation d'informatique généraliste comme le Master IP Paris « Foundations of Computer Science ».

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

1 cours obligatoire

MDC_51002_EP — Information et Calcul Quantique: Fondements

3 cours obligatoires parmi

CSC_51050_EP — Algorithmique avancée
CSC_51051_EP — Computational Logic: from Artificial Intelligence to Zero Bugs
CSC_51054_EP — Deep learning
CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology
CSC_51059_EP — Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation
CSC_51063_EP — Introduction to Information Theory
CSC_51071_EP — Distributed Computing

Période 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_52P01_EP — Projet optionnel de calcul quantique

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoire*)															
MDC_51002_EP																

	(*3 cours aux choix*)															
CSC_51050_EP																
CSC_51051_EP																
CSC_51054_EP				***							***					
CSC_51058_EP														**		
CSC_51059_EP																
CSC_51063_EP																
CSC_51071_EP																

Projet Optionnel	
CSC_52P01_EP	**Projet**

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*2 obligatoires*)															
CSC_52001_EP																
CSC_52003_EP																

	(*2 obligatoires au choix*)															
CSC_52060_EP																
CSC_52064_EP				**												
CSC_52068_EP *																
CSC_52071_EP																
PHY_52180_EP																

Projet Optionnel	
CSC_52P01_EP	**Projet**

Période 2

2 cours obligatoires

CSC_52001_EP – Advanced topics in quantum computation and information

CSC_52003_EP – Advanced quantum circuits

2 cours obligatoires au choix parmi

CSC_52060_EP – Algorithmique parallèle et distribuée

CSC_52064_EP – Compilation

CSC_52068_EP – Advanced Cryptology ➠ Prérequis : CSC_51058_EP

CSC_52071_EP – Foundations in software verifications

PHY_52180_EP – Quantum information: entanglement, control and platforms for quantum technologies

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Stage d'informatique



INNOVATION TECHNOLOGIQUE

Thierry Rayna
thierry.rayna@polytechnique.edu

Thomas Clausen
thomas.clausen@polytechnique.edu

Département MIE
dpt-mie@polytechnique.fr

Contexte

L'innovation est le vecteur qui permet aux découvertes scientifiques d'avoir un impact durable sur notre environnement, nos sociétés, nos vies. Sans innovation, ces découvertes, aussi majeures soient elles, resteraient confinées au monde de la recherche et de l'enseignement. Mais le chemin qui mène de la découverte scientifique à une application pratique, vecteur de progrès dans notre vie de tous les jours, est long et tortueux, et rempli d'inconnu et d'inattendu. Ceci est notamment le cas parce que l'idée initiale que l'on se fait de l'utilisation pratique de connaissances scientifiques est souvent à mille lieues de l'usage final qui en sera finalement fait : qui aurait pu penser que les lasers ne serviraient ni à couper ni à brûler, mais à lire des disques optiques ? Que la théorie de relativité permettrait la synchronisation des satellites GPS ? Que les vaccins à ARN messager serviraient à combattre un coronavirus avant de traiter les cancers comme on le pensait destiné ? L'approche « techno-push » généralement (par nécessité) adopté par les inventeurs, qu'ils soient au sein de startups ou de grands groupes, se heurte souvent aux difficultés de la compréhension et de l'anticipation des usages et à la nécessaire construction de connaissances sur des mécanismes humains et sociaux clés dans l'adoption et la diffusion d'une technologie.

Or, c'est de cette adoption et diffusion large que dépend l'impact d'une découverte scientifique. La mauvaise compréhension de ces facteurs humains et sociaux, outre le risque d'échec pur et simple de l'innovation qui ne trouverait pas « preneur », a (notamment) conduit également (ces dernières années) à des résistances à l'innovation qui peuvent être extrêmement fortes ou à des innovations technologiques « de niche », visant prioritairement des marchés aisés, et ne conduisant qu'à un impact incrémental ou marginal, d'où les récentes controverses autour d'innovations technologiques telles que la 5G ou les compteurs Linky. Parallèlement, des avancées technologiques ont été mises à profit de manière à pouvoir satisfaire le besoin d'un plus grand nombre : outre l'exemple de Napster qui a détourné des technologies de compression et de réseaux des premiers usages envisagés pour donner (illégalement) accès à la

musique numérique au plus grand nombre, ouvrant par la même la voie au « streaming », c'est également le cas du projet Open Source Hardware « RepRap » qui, grâce au travail assidu de passionnés procédant par ingénierie inverse, a permis de démocratiser l'impression 3D en la faisant sortir de sa « tour d'ivoire », en faisant passer le prix des imprimantes de plusieurs dizaines de milliers d'euros à à peine quelques centaines, donnant par la même naissance aux phénomènes des Fab Labs et makerspaces.

Mais surmonter les obstacles au succès d'innovations technologiques, et permettre à la science d'être véritablement porteuse d'impact et de progrès, requiert un double socle de compétences : sans compréhension des fondements scientifiques de la technologie, tout projet d'innovation n'est que science-fiction, sans compréhension des aspects humains et sociaux, tout projet d'innovation n'est que chimère.

Objectifs

L'objectif de ce PA est de développer un double socle de compétences : des compétences technico-scientifiques avancées et en sciences sociales et management de l'innovation. In fine, il s'agit de vous préparer à développer des innovations afin de permettre à la science d'être pleinement vecteur de progrès et de jouer un rôle clé dans la résolution des grands défis environnementaux et sociaux auxquels notre planète et l'humanité doivent faire face.

Le PA-IT combine donc un approfondissement dans une spécialité technico-scientifique (Big Data et systèmes d'information, Biomedical Engineering, Electrical Engineering, Énergies, Matériaux innovants, Mechanical Engineering, Modélisation mathématique en ingénierie) et en management de l'innovation et entrepreneuriat.

Contenu

a. Règles de choix de cours :

- P1 : 3 cours + 1EA (tous les cours MIE peuvent être pris en EA).
- P2 : 3 cours + 1EA (tous les cours MIE peuvent être pris en EA).

  Sur l'année à **minima** 3 cours ou EA MIE et 4 cours ou EA dans la spécialisation scientifique (voir liste par spécialisation). **sous réserve de l'accord des responsables de PA et des responsables de spécialisation scientifique, il est envisageable de choisir d'autres cours que ceux indiqués dans les pages suivantes.**

- 1 séminaire de 3A MIE

L'objectif de ce PA est de développer un double socle de compétences : des compétences technico-scientifiques avancées et en sciences sociales et management de l'innovation. In fine, il s'agit de vous préparer à développer des innovations afin de permettre à la science d'être pleinement vecteur de progrès et de jouer un rôle clé dans la résolution des grands défis environnementaux et sociaux auxquels notre planète et l'humanité doivent faire face.

c. Prérequis :

- **Big Data et systèmes d'information :**
  Prérequis conseillé : Un minimum de cours d'informatique en 2A semble nécessaire (un niveau équivalent à CSC_3X061_EP/CSC_3X071_EP est requis).

- **Biomedical Engineering :**
  Prérequis conseillé : Un ou plus des cours suivants : MEC_42032_EP – Mécanique des fluides/BIO_42051_EP – La cellule unité du vivant.

- **Electrical Engineering :**
  Pas de prérequis pour cette spécialisation scientifique.

- **Matériaux innovants :**
  Pas de prérequis pour cette spécialisation scientifique.

- **Mechanical Engineering :**
  Prérequis conseillé : Un cours de mécanique en année 2 (**MEC_43031_EP** ou **MEC_42032_EP**).

- **Modélisation mathématique en ingénierie :**
  Il est fortement conseillé d'avoir suivi certains cours pour cette spécialisation : **APM_42031_EP** pour un choix de cours plus « déterministe » et **APM_42032_EP** ou **APM_41033_EP** pour un choix de cours plus « aléatoire ».

- **Énergies** : **MEC_42032_EP** recommandé pour **MEC_51059_EP**.

d. Stage de recherche :

Le stage peut être effectué en France ou à l'étranger, dans un laboratoire, une entreprise ou une institution. Le point crucial est que le stage doit donner lieu à un rapport de recherche. Si le stage est fait au département MIE, une problématique organisationnelle devra être approfondi à partir des matériaux recueillis pendant le stage.

e. Compétences acquises :

Chaque étudiant du PA-IT est amené à choisir une spécialisation scientifique, ce qui lui permet de développer une double expertise en sciences « dures » et en management de l'innovation et des ruptures technologiques.

4A, débouchés et métiers

À l'international

- Un **Master of Science d'approfondissement lié à la spécialisation scientifique choisie** : par exemple, pour la spécialisation « Energies » : MSc Climate Change, Management and Finance à Imperial College London, MSc Energy, Civil Infrastructure and Climate à UC Berkeley, MSc Sustainable Energy Futures à Imperial College London, MPhil Energy Technologies à l'Université de Cambridge. Pour la spécialisation « Big Data/Systèmes d'info » : MSc Data Science à Columbia, UCL ou EPFL, Master of Information and Data Science à Berkeley, M.S. in Statistics : Data Science à Stanford, MSc Advanced Computing à Imperial College, MSc Business Analytics à Imperial College ou au MIT.

- Un **Master en Sciences de l'Ingénieur**, par exemple : MEng Industrial Engineering à UC Berkeley, MPhil Industrial Systems, Manufacture and Management à l'Université de Cambridge.

- Un **Master of Science en Management de l'Innovation et/ou Entrepreneuriat** : par exemple : MSc Innovation, Entrepreneurship and Management à Imperial College, Master Management, Technology and Entrepreneurship à l'EPFL, MSc Technology Entrepreneurship à UCL, MSc Management and Strategy à la LSE, MPhil Technology Policy à l'Université de Cambridge, Ms Management and Engineering à Columbia University.

En France

- Le Master Projet, Innovation, Conception (PIC) http://masterpic.fr

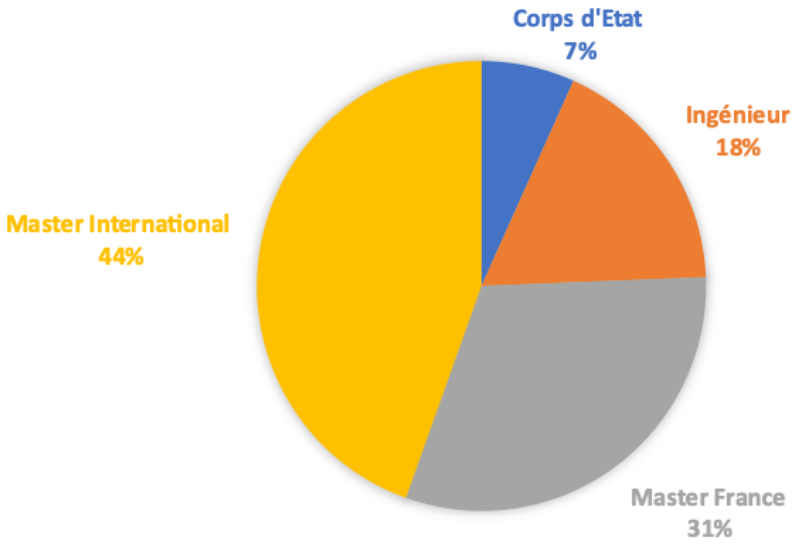
- Le Master « Transport et développement durable » (TraDD)

- Le Master « Industrie de réseaux et économie numérique » (IREN)

- Les programmes offerts par Mines Paris-Tech, Ponts ParisTech, ENSTA Paris,

ISAE-Supaéro, IFP School, ENSAE Paris-Tech, HEC.

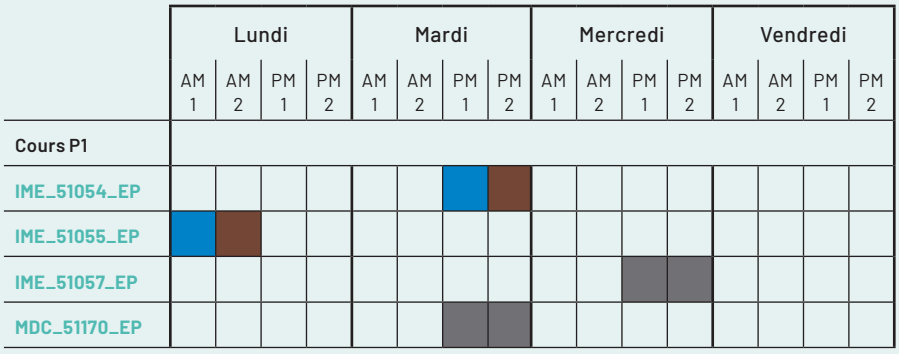
Choix de 4A des élèves des promo antérieures:



CONTENU COURS MANAGEMENT DE L'INNOVATION ET ENTREPRENEURIAT

Sur l'année à minima 3 cours ou EA MIE et 4 cours ou EA dans la spécialisation scientifique (voir liste par spécialisation). Il faut aussi choisir un séminaire MIE parmi une liste imposée (jeudi matin).

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 1

3 cours minimum à choisir parmi la liste suivante

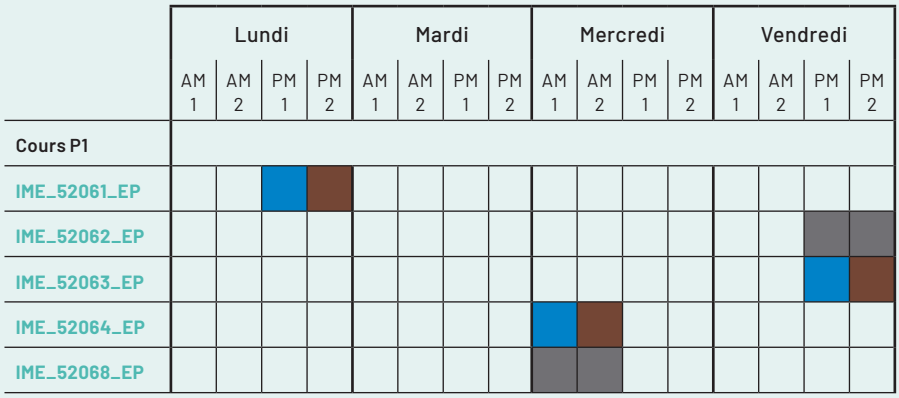
IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 2

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

	Lundi				Mardi				Jeudi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Séminaire P1-P2																
IME_51S01_EP																
IME_51S03_EP																
IME_51S04_EP																
IME_51S05_EP																
IME_51S06_EP																
IME_51S07_EP																

Obligation de suivre un des séminaires MIE ci-dessous

IME_51S01_EP – Digital Innovation and Transformation

IME_51S03_EP – Stratégie, Innovation & Société : les nouvelles formes de concurrence

IME_51S04_EP – Data marketing et expérience client

IME_51S05_EP – Project Management

IME_51S06_EP – Du résultat de la recherche à l'innovation : de Nature au Nasdaq

IME_51S07_EP – Management de la transition énergétique : changements socio-techniques et choix politiques et sociaux

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Big Data et systemes d'information

Thomas Clausen
thomas.clausen@polytechnique.edu

OPTION BIG DATA

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(3 *obligatoires*)															
CSC_51057_EP																
CSC_51059_EP																
MDC_51006_EP		**									**					
	(*1 obligatoire parmi la liste ci-dessous*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
Cours supplémentaire optionnel	(*fortement recommandé*)															
CSC_51053_EP																

Période 1

3 cours scientifiques obligatoires

CSC_51057_EP — Introduction to Concurrent and Communicating Systems

CSC_51059_EP — Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

1 cours MIE obligatoire au choix parmi

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

Cours supplémentaire optionnel

CSC_51053_EP — Database Management Systems ➠ Fortement recommandé

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
CSC_52066_EP																
	(*1 obligatoire parmi la liste ci-dessous*)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
Cours supplémentaire optionnel	(*fortement recommandé*)															
APM_52183_EP								***								

Période 2

1 cours scientifique obligatoire

CSC_52066_EP – Des fondamentaux à la réalité : comment fonctionne réellement Internet et comment l'améliorer

3 cours MIE obligatoires parmi les choix suivants

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

Cours supplémentaire optionnel

APM_52183_EP – Apprentissage profond de la théorie à la pratique

➠ Fortement recommandé

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Informatique ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

OPTION RÉSEAU

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(3 *obligatoires*)															
CSC_51057_EP																
CSC_51059_EP																
MDC_51006_EP		**	**								**					
	(*1 obligatoire parmi la liste ci-dessous*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*Cours supplémentaire optionnel*)															
CSC_51058_EP																

Période 1

3 cours scientifiques obligatoires

CSC_51057_EP — From the Internet to the IoT: Fundamentals of Modern Computer

CSC_51059_EP — Architecture des ordinateurs et systèmes d'exploitation

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

1 cours MIE obligatoire parmi les choix suivants

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

Cours supplémentaire optionnel

CSC_51058_EP — Introduction to Cryptology ➠ Fortement recommandé

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(2 *obligatoires*)															
CSC_52066_EP																
CSC_52086_EP																

	(2 *obligatoires parmi la liste ci-dessous*)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																

Période 2

2 cours scientifiques obligatoires

CSC_52066_EP – From Fundamentals to Reality: How the Internet Really Works, and How to Make it Better

CSC_52086_EP – Network Security

2 cours MIE obligatoires

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

Période 3

Stage de recherche

CSC_52991_EP – Informatique ➠ Fortement recommandé

CSC_52992_EP – Internship in Data Science ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Biomedical Engineering

Abdul Barakat
abdul.barakat@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*1 obligatoire*)															
MEC_51050_EP																
PHY_51057_EP																
	(*2 obligatoires*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*Obligatoire*)															
MEC_51175_EP																

Période 1

1 cours scientifique obligatoire au choix

MEC_51050_EP — Biofluid Mechanics and Mass Transport

PHY_51057_EP — Soft Surfaces

2 cours MIE obligatoires au choix parmi

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

1 EA obligatoire

MEC_51175_EP — Micromécanique expérimentale : bio-ingénierie, mécanique

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*1 obligatoire*)															
PHY_52065_EP																
BIO_52004_EP																
MEC_52069_EP																
	(*2 obligatoires*)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
EA P2	(*Obligatoire*)															
MDC_52086_EP																

Période 2

1 cours scientifique obligatoire au choix parmi

PHY_52065_EP – Physics of living systems : polymers, membranes and active matter

BIO_52004_EP – Biophotonique et applications

MEC_52069_EP – Mecanique cellulaire et subcellulaire

2 cours MIE au choix parmi

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

1 EA obligatoire

MDC_52086_EP – Biomechanics in Health and Disease

Période 3

Stage de recherche

BIO_52991_EP – Biologie et écologie ➠ Fortement recommandé

MEC_52992_EP – Mécanique des matériaux et des structures ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Electrical Engineering

Yvan Bonnassieux
yvan.bonnsassieux@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoire*)															
PHY_51059_EP																
	(*2 obligatoires*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*1 obligatoire*)															
CSC_51057_EP																
APM_51055_EP																
PHY_51005_EP																
PHY_51173_EP																

Période 1

1 cours scientifique obligatoire

PHY_51059_EP — Conception of numerical and analog integrated circuits

2 cours MIE au choix parmi

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

CSC_51057_EP — Introduction to Concurrent and Communicating Systems

APM_51055_EP — Signal processing from Fourier to Machine Learning

PHY_51005_EP — Power Electrical Engineering for renewable energy

PHY_51173_EP — Experimental conception of micro and nanoelectronic devices

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(Obligatoire)*															
PHY_52067_EP																
	(2 obligatoires)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
EA P2	*(1 obligatoire)*															
PHY_52064_EP																
PHY_52002_EP																
PHY_52003_EP																
PHY_52101_EP																
CSC_52067_EP																

Période 2

1 cours scientifique obligatoire

PHY_52067_EP – Physics of semiconducting devices

2 cours MIE obligatoires au choix parmi

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

PHY_52002_EP – Nanomaterials and electronics

PHY_52003_EP – Optoelectronics

PHY_52064_EP – Open Electronic: From Arduino, Raspberry Pi, to Internet of Things

PHY_52101_EP – EA Projets expérimentaux : microélectronique et nanotechnologie

CSC_52067_EP – Wireless Networks: from Cellular to Connected Objects

Période 3

Stage de recherche

PHY_52993_EP – Semiconducteurs et Composants ➠ Fortement recommandé

CSC_52991_EP – Informatique ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Matériaux innovants

Thierry Gacoin
thierry.gacoin@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*1 obligatoire*)															
CHE_51051_EP																
PHY_51052_EP																
	(*2 obligatoires*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*1 obligatoire*)															
PHY_51170_EP																
MEC_51176_EP																
Cours optionnels supplémentaires P1																
CHE_51054_EP																
PHY_51057_EP																

Période 1

1 cours scientifique obligatoire parmi

CHE_51051_EP – Electrons and nuclei in modern chemistry

PHY_51052_EP – Quantum Physics of Electrons in Solids

2 cours MIE au choix parmi

IME_51054_EP – Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP – Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP – Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP – Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

1 EA obligatoire parmi les choix suivants

PHY_51170_EP – Materials design

MEC_51176_EP – Design des technologies innovantes

Cours supplémentaires optionnels

CHE_51054_EP – Solid State Chemistry

PHY_51057_EP – Soft Surfaces

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*1 obligatoire*)															
CHE_52064_EP																
MDC_52063_EP																
	(*2 obligatoires*)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
EA P2	(*1 obligatoire*)															
PHY_52182_EP																
CHE_52P72_EP																

Période 2

1 cours scientifique obligatoire au choix parmi

CHE_52064_EP – Chemical Engineering

MDC_52063_EP – Materials for Energy Conversion & Storage

2 cours MIE au choix parmi

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

1 EA ou projet au choix parmi les choix suivants

PHY_52182_EP – Advanced Materials Design

CHE_52P72_EP – Projet Expérimental de chimie P2

Période 3

Stage de recherche

CHE_52993_EP – Innovative Materials for Technology ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Mechanical Engineering

Charles Baroud
charles.baroud@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*2 obligatoires*)															
MEC_51051_EP																
MEC_51055_EP																
MEC_51059_EP*																
IME_51054_EP	(*1 obligatoire*)															
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*Obligatoire*)															
MEC_51176_EP																

*prérequis MEC_42032_EP

Période 1

2 cours scientifiques au choix parmi

MEC_51051_EP — Comportement des matériaux

MEC_51055_EP — Instabilities and Turbulence

MEC_51059_EP — Mechanics for Wind Energy ➠ Prérequis MEC_42032_EP

1 cours MIE au choix parmi

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

1 EA obligatoire

MEC_51176_EP — Design des technologies innovantes

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(2 obligatoires)*															
MEC_52060_EP																
MEC_52061_EP																
MEC_52062_EP																
MEC_52185_EP																

	(2 obligatoires)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																

Période 2

2 cours scientifiques obligatoires au choix parmi

MEC_52060_EP – Propulsions

MEC_52061_EP – Interactions fluide-structure

MEC_52062_EP – Mécanique et couplages multiphysiques

MEC_52185_EP – Engineering computational solid mechanics

2 cours MIE au choix parmi

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

Période 3

Stage de recherche

MEC_52992_EP – Mécanique des matériaux et des structures
Fortement recommandé

MEC_52993_EP – Matière molle, fluides complexes, biomécanique et MEMS
Fortement recommandé

MEC_52994_EP – Aérodynamique et hydrodynamique Fortement recommandé

MEC_52995_EP – Génie civil et génie pétrolier Fortement recommandé

MEC_52996_EP – Environnement, Terre, Océan, Atmosphère
Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Modélisation mathématique en ingénierie

Erwan Le Pennec
erwan.le-pennec@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*2 obligatoires*)															
MDC_51006_EP		**	**									**				
APM_51055_EP																
APM_51057_EP															**	
APM_51059_EP															**	
	(*1 obligatoire*)															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
EA P1	(*Obligatoire*)															
APM_51111_EP																

Période 1

2 cours scientifiques obligatoires au choix parmi

MDC_51006_EP — Foundation of Machine Learning

APM_51055_EP — Signal processing from Fourier to Machine Learning

APM_51057_EP — Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

APM_51059_EP — Statistical Learning Theory

1 cours MIE obligatoire au choix parmi

IME_51054_EP — Business Models for Impact in a Digital World

IME_51055_EP — Fundaments of Strategy & Innovation

IME_51057_EP — Corporate Finance for the Entrepreneur

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique

1 EA obligatoire

APM_51111_EP — EA initiation recherche P1

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(1 obligatoire)*															
APM_52064_EP		**	**													
APM_52066_EP														***		
APM_52183_EP								***							**	
	(2 obligatoires)															
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
EA P2	*(Obligatoire)*															
APM_52112_EP																

Période 2

1 cours scientifique obligatoire au choix parmi

APM_52064_EP – Réseaux sociaux et de communication : modèles et algorithmes probabilistes

APM_52066_EP – Statistics in action

APM_52183_EP – Apprentissage Profond, de la théorie à la pratique

2 cours MIE obligatoires au choix parmi

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability

1 EA obligatoire

APM_52112_EP – EA initiation recherche P2

Période 3

Stage de recherche

APM_52994_EP – Modélisation probabiliste et statistique ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

COMPOSITION DU PROGRAMME

Spécialisation Énergies

Marie-Jean Thoraval
marie-jean.thoraval@polytechnique.edu

Rappel : Entre les 2 périodes de cours, vous devez à minima choisir 3 cours ou EA en MIE et maximum 4.

Période 1 & 2

1 cours scientifique obligatoire parmi

PHY_51055_EP – Energy and environment (P1) **ou**
ECO_52064_EP – Economics of energy sectors (P2)

2 cours scientifiques obligatoires au choix parmi

PHY_51004_EP – Photovoltaics Solar Energy (P1)
MEC_51059_EP – Mécanique pour l'Eolien (P1) ➠ Prérequis MEC_42032_EP
MEC_52066_EP – Applications de la Mécanique des Fluides dans le domaine de l'énergie (P2)
MDC_52063_EP – Material Science for energy conversion and storage (P2)

1 EA obligatoire au choix sur l'année

MEC_51173_EP – Potentiel éolien, solaire hydraulique (P1)
MDC_51170_EP – Accompagner les entreprises dans leur transition écologique (P1)
PHY_52186_EP – Technology of nuclear reactors and nuclear fuelcycles (P2)
MEC_52183_EP – Projects in solar and wind energy (P2)
MEC_52185_EP – Engineering computational mechanics (P2)

4 cours MIE obligatoires sur l'année au choix parmi

IME_51054_EP – Business Models for Impact in a Digital World (P1)

IME_51055_EP – Fundaments of Strategy & Innovation (P1)

IME_51057_EP – Corporate Finance for the Entrepreneur(P1)

MDC_51170_EP – Accompagner les entreprises dans leur transition écologique (P1)

IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable (P2)

IME_52062_EP – Case Studies on Innovation (P2)

IME_52063_EP – De l'idée au prototype : résoudre des défis proposés par des personnes en situation de handicap (P2)

IME_52064_EP – Entrepreneurship: practical cases and research by sectorial immersions (P2)

IME_52068_EP – Entrepreneurship for Sustainability (P2)

Période 3

Stage de recherche

MEC_52997_EP – Énergies ➠ Fortement recommandé

PHY_52997_EP – Énergies ➠ Fortement recommandé

IME_52991_EP – Analyses de l'entreprise

IME_52992_EP – Stratégie d'innovation et conception

IME_52994_EP – Startup Early Stage

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	P1															
	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 1 obligatoire parmi les suivants)*															
PHY_51055_EP																
ECO_52064_EP								***							**	

Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 2 obligatoires parmi les suivants)*															
PHY_51004_EP																
MEC_51059_EP*																
MEC_52066_EP																
PHY_52063_EP																

Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 4 obligatoires parmi les suivants)*															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																

EA P1 ou P2	*(Sur l'année : 1 obligatoire parmi les suivants)*															
MEC_51173_EP																
MDC_51170_EP																
PHY_52186_EP																
MEC_52183_EP																
MEC_52185_EP																

	P2															
	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 1 obligatoire parmi les suivants)*															
PHY_51055_EP																
ECO_52064_EP								***							**	
Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 2 obligatoires parmi les suivants)*															
PHY_51004_EP																
MEC_51059_EP*																
MEC_52066_EP			**													
MDC_52063_EP																
Cours P1 ou P2	*(Sur l'année : 4 obligatoires parmi les suivants)*															
IME_51054_EP																
IME_51055_EP																
IME_51057_EP																
MDC_51170_EP																
IME_52061_EP																
IME_52062_EP																
IME_52063_EP																
IME_52064_EP																
IME_52068_EP																
EA P1 ou P2	*(Sur l'année : 1 obligatoire parmi les suivants)*															
MEC_51173_EP																
MDC_51170_EP																
PHY_52186_EP																
MEC_52183_EP																
MEC_52185_EP																



MATHÉMATIQUES

David Renard
david.renard@polytechnique.edu

Département de mathématiques
Lien Moodle

Contexte
Les mathématiques jouent depuis longtemps un rôle fondamental dans le développement des sciences et dès le début du XIXe siècle, l'une des spécificités de l'École polytechnique a été la place centrale attribuée à celles ci.

Objectifs

Les cours proposés dans le Programme d'Approfondissement de Mathématiques couvrent des domaines divers de l'analyse, de l'algèbre et de la géométrie. Avec leur mélange de théories fondamentales et d'applications d'une très grande actualité, ils constituent une formation qui sera hautement appréciée à la fois par celles et ceux qui souhaitent une formation par la recherche au plus haut niveau, et par celles et ceux qui veulent poursuivre une formation d'ingénieur dans le cadre d'une École en convention avec l'École polytechnique.
Elle est indispensable à ceux qui envisagent une carrière de recherche à fort contenu mathématique.
Les sujets des cours ont été choisis à la fois pour leur importance théorique, et pour leur ouverture aux applications.

Contenu
Le PA propose deux thématiques :
- Mathématiques
- MAT-INFO

4A, débouchés et métiers

Ce programme s'adresse aux élèves souhaitant une formation avancée en mathématiques pour la poursuite de leur cursus scientifique.
Cette formation est un prérequis pour faire un Master 2 en Mathématiques à l'École polytechnique cohabilité avec l'Université de Paris 11 (spécialité « Analyse, Arithmétique et Géométrie »).

En France
Master Paris-Saclay: Analyse, Arithmétique et Géométrie.
Autres M2: Mathématiques fondamentales.

A l'étranger
MPhil, PhD Mathematics.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*3 obligatoires au choix*)															
FMA_51051_EP																
FMA_51052_EP																
FMA_51053_EP																
FMA_51054_EP																
FMA_51056_EP																
FMA_51057_EP																

EA P1	(*1 obligatoire au choix*)															
FMA_51171_EP																
FMA_51172_EP																
FMA_51173_EP																
FMA_51174_EP																
MDC_51075_EP																
FMA_51176_EP																
FMA_51177_EP																
APM_51175_EP																

Période 1

3 cours obligatoires au choix

FMA_51051_EP — Systèmes dynamiques
FMA_51052_EP — Théorie algébrique des nombres
FMA_51053_EP — Variétés différentielles et géométrie riemannienne
FMA_51054_EP — Équation d'évolution
FMA_51056_EP — Groupes, anneaux, modules et représentations
FMA_51057_EP — Topologie algébrique

1 EA obligatoire au choix

FMA_51171_EP — Systèmes dynamiques
FMA_51172_EP — Théorie algébrique des nombres
FMA_51173_EP — Variétés différentielles et géométrie riemannienne
FMA_51174_EP — Équation d'évolution
MDC_51075_EP — Groupe de symétrie en physique subatomique
FMA_51176_EP — Groupes, anneaux, modules et représentations
FMA_51177_EP — Topologie algébrique
APM_51175_EP — Advanced probability topics

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(3 obligatoires au choix)*															
FMA_52061_EP																
FMA_52062_EP																
FMA_52063_EP																
FMA_52065_EP																
MDC_52067_EP																
FMA_52068_EP																

EA P2	*(1 au choix)*															
FMA_52181_EP																
FMA_52182_EP																
FMA_52183_EP																
FMA_52184_EP																
FMA_52185_EP																
FMA_52187_EP																
FMA_52188_EP																
PHY_52068_EP																

Période 2

3 cours obligatoires au choix

FMA_52061_EP – Théorie spectrale et mécanique quantique
FMA_52062_EP – Introduction à la géométrie algébrique et courbes elliptiques
FMA_52063_EP – Groupes compacts et groupes de Lie
FMA_52065_EP – Surfaces de Riemann
MDC_52067_EP – Transport et diffusion
FMA_52068_EP – Équations des ondes et relativité générale

1 EA obligatoire au choix

FMA_52181_EP – Théorie spectrale et mécanique quantique
FMA_52182_EP – Introduction à la géométrie algébrique et courbes elliptiques
FMA_52183_EP – Groupes compacts et groupes de Lie
FMA_52184_EP – Introduction à la théorie des matrices aléatoires
FMA_52185_EP – Surfaces de Riemann
FMA_52187_EP – Transport et diffusion
FMA_52188_EP – Équations des ondes et relativité générale
PHY_52068_EP – Relativité générale

Période 3

Stage de recherche

FMA_52991_EP – Groupes et représentations
FMA_52992_EP – Analyse et applications
FMA_52993_EP – Géométrie et Systèmes dynamiques
FMA_52994_EP – Théorie des nombres et géométrie algébrique

MAT-INFO

Olivier Bournez
olivier.bournez@polytechnique.edu

David Renard
david.renard@polytechnique.edu

The mathematics and computer science track aims at providing motivated students with a training in both disciplines that allows them to enroll in a second year of Master either in mathematics or in computer science (or in one of the rare bi-disciplinary Masters). Avoiding an artificial combination of themes, it emphasises the interfaces between the disciplines and covers themes that complement each other: Number theory, Algebra, Cryptology, Logic, Foundations of Mathematics and Computer Science, etc.

Future

The advantage of this track is to keep doors open for the second year.

Around Paris, a natural continuation on the CS side is the IP Paris Master Algorithms and Foundations of Computer Science (which corresponds to the MPRI master); on the Math side, Masters are available at Université Paris-Sud and Université Pierre et Marie Curie; an excellent bi-disciplinary Master exists at Université Denis Diderot, namely Logique Mathématique et Fondements de l'Informatique (LMFI).

Abroad, as in the AFP track, some of our alumni went to (or were accepted by) Stanford, MIT, etc, and a rather unique programme continues the bi-disciplinary training: Oxford's Mathematics and the Foundations of Computer Science (MFoCS).

Natural careers for which the track is particularly well-suited include, but are not limited to, a research-based/academic career or a career in national security institutions (ANSSI, etc).

Rules

We ask students to reach a satisfying equilibrium between Math and CS, and therefore pick at least 3 Math courses over the two coursework periods.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

Période 1

4 cours obligatoires au choix

CSC_51050_EP – Algorithmique avancée
CSC_51051_EP – Computational Logic: Artificial Intelligence in Mathematical Reasoning
CSC_51055_EP – Constraint-based modeling and algorithms for decision-making
CSC_51056_EP – Topological Data Analysis
CSC_51058_EP – Introduction to Cryptology
CSC_51063_EP – Introduction to Information Theory
FMA_51052_EP – Théorie algébrique des nombres
FMA_51056_EP – Groupes, anneaux, modules et représentations
FMA_51057_EP – Topologie algébrique

Périodes 1 et 2

1 projet supplémentaire possible

CSC_50P19_EP – Projet optionnel supplémentaire de MAT-INFO

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*4 obligatoires*)															
CSC_51050_EP																
CSC_51051_EP																
CSC_51055_EP																
CSC_51056_EP																
CSC_51058_EP														**		
CSC_51063_EP																
FMA_51052_EP																
FMA_51056_EP																
FMA_51057_EP																
Projet optionnel P1 & P2																
CSC_50P19_EP	Projet															

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(4 obligatoires)*															
CSC_52061_EP																
CSC_52068_EP*																
FMA_52062_EP																
FMA_52063_EP																
CSC_52001_EP																
CSC_52003_EP																

Projet optionnel P1 & P2	
CSC_50P19_EP	**Projet**

Période 2

4 cours obligatoires au choix

CSC_52061_EP — Randomization in Computer Science: Games, Networks, Epidemic and Evolutionary Algorithms

CSC_52068_EP — Advanced Cryptology ➠ Prérequis CSC_51058_EP (P1)

FMA_52062_EP — Introduction à la géométrie algébrique et courbes elliptiques

FMA_52063_EP — Groupes compacts et groupes de Lie

CSC_52001_EP — Advanced topics in quantum computation et information

CSC_52003_EP — Advanced quantum circuits

Période 3

Stage de recherche

FMA_52991_EP — Groupes et représentations

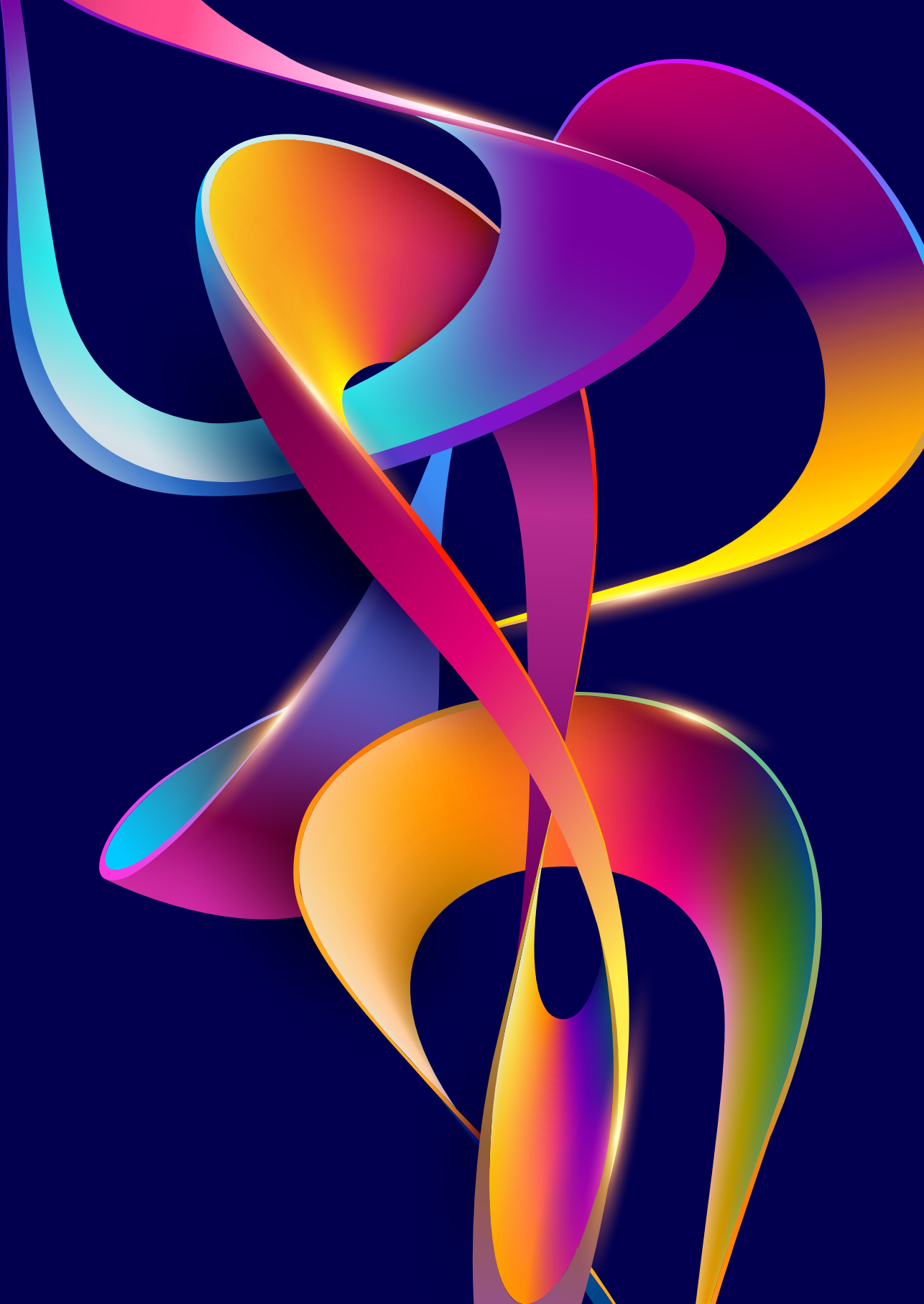
FMA_52992_EP — Analyse et applications

FMA_52993_EP — Géométrie et Systèmes dynamiques

FMA_52994_EP — Théorie des nombres et géométrie algébrique

CSC_52991_EP — Stage d'Informatique

Le choix du stage doit être cohérent avec le département de rattachement



MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Eduardo Abi-Jaber
Karim Lounici
Flore Nabet
Nathalie Rodrigues ▸ *Coordinatrice des enseignements*

pa-map@polytechnique.fr

Objectifs

Ce programme d'approfondissement permet de découvrir en profondeur la démarche des mathématiques appliquées, en particulier les étapes de modélisation, d'analyse mathématique, de simulation numérique et d'interprétation pratique des résultats qualitatifs et quantitatifs obtenus. Il permet aux élèves d'acquérir un large spectre de compétences mathématiques en combinant des approches stochastiques et déterministes.

Les applications proviennent de domaines très variés : mécanique, physique, sciences de l'ingénieur, sciences du vivant, sciences des données, finance de marché, économie, énergie, transports…

Contenu

Les cours proposés par le PA de MAP sont d'une grande variété, dans l'esprit d'une première année de Master (M1).

Les élèves bénéficient d'une importante liberté dans le choix de leurs cours, avec un panachage autorisé par période avec un cours en dehors de la liste précisée ci-après. Ils doivent cependant veiller à suivre des cours de base leur permettant d'acquérir les connaissances indispensables pour la réalisation du stage de 3A et la poursuite en quatrième année en mathématiques appliquées.

Un élément structurant du PA est la réalisation d'un enseignement d'approfondissement « orienté recherche », soit sous la forme d'un projet d'initiation à la recherche en binôme **APM_51111_EP**, **APM_52112_EP** ou **APM_50113_EP**, soit sous la forme d'un enseignement traitant des avancées récentes dans la discipline et incluant l'étude d'articles scientifiques **APM_51175_EP**, **APM_51177_EP**, **APM_51178_EP**, **APM_52116_EP**, **APM_52188_EP**, **APM_51180**, **APM_51181**.

Cette formation vise à préparer au stage de recherche en MAP. Il est obligatoire de suivre au moins l'un de ces EA.

Le stage de recherche est une composante indissociable de la formation de 3A en mathématiques appliquées. Il permet aux élèves de mettre en œuvre les connaissances acquises pendant les deux premières périodes, et complète les enseignements en ouvrant les étudiants aux travaux les plus récents.

Les périodes 1 et 2 se constituent de trois cours et un EA. Il est possible de prendre un cours supplémentaire (mais attention à la charge de travail et aux incompatibilités d'emploi du temps), mais pas d'EA supplémentaire car ils ont tous lieu en même temps, sur un créneau dédié le mardi après-midi. Les cours et EA proposés dans le cadre du PA MAP sont indiqués dans le tableau ci-dessous, certains donnés par d'autres départements. À chaque période, un des trois cours peut également être choisi en dehors de cette liste en panachage, mais pas l'EA.

La liste des modules et les règles de choix précises sont données dans le tableau ci-dessous.

Périodes	Contenu
P1 & P2	Au moins un EA parmi **APM_50113_EP**, **APM_51111_EP**, **APM_51175_EP**, **APM_51177_EP**, **APM_51178_EP**, **APM_52112_EP**, **APM_52116_EP**, **APM_51180_EP**, **APM_51181_EP**, **APM_52188_EP**. **APM_50113_EP** : si choisi, doit être suivi en P1 et P2.
P 1	3 cours au choix dont au moins 2 parmi, **CSC_51050_EP**, **APM_51050_EP**, **APM_51051_EP**, **APM_51052_EP**, **APM_51055_EP**, **APM_51056_EP**, **APM_51057_EP**, **APM_51059_EP**, **FMA_51054_EP**, **MEC_51052_EP** ou **MEC_51053_EP**, **MDC_51006_EP**, **MEC_51055_EP**. Pour le 3e cours : panachage autorisé en dehors de cette liste.
	1 EA au choix entre : **APM_51111_EP**, **APM_50113_EP** (si suivi en P2), **APM_51175_EP**, **APM_51177_EP**, **APM_51178_EP**, **APM_51179_EP**, **APM_51180_EP**, **APM_51181_EP**.
P 2	3 cours au choix dont au moins 2 parmi **APM_52009_EP**, **APM_52062_EP**, **APM_52063_EP**, **APM_52064_EP**, **APM_52065_EP**, **APM_52066_EP**, **APM_52067_EP**, **APM_52068_EP**, **APM_52070_EP**, **APM_52071_EP**, **MDC_52067_EP**, **MEC_52068_EP**, **PHY_52060_EP**, **MEC_52061_EP**. Pour le 3e cours : panachage autorisé en dehors de cette liste.
	1 EA au choix entre : **APM_52112_EP**, **APM_50113_EP** (si suivi en P1), **APM_52116_EP**, **APM_52183_EP** (uniquement si CSC_51054_EP n'a pas été suivi en P1), **APM_52188_EP**, **BIO_52101_EP**, **MDC_52P80_EP**.
P 3	1 stage de recherche au choix parmi **APM_52992_EP**, **APM_52993_EP**, **APM_52994_EP**, **APM_52995_EP**.

Remarques sur les EA d'initiation à la recherche APM_51111_EP, APM_52112_EP et APM_50113_EP

- Sur la période 1 **APM_51111_EP**, sur la période 2 **APM_52112_EP**, ou sur les périodes 1 et 2 **APM_50113_EP**.
- L'EA s'effectue **en binôme**.

ATTENTION :

Chaque binôme devra choisir entre mai et juin une thématique à partir d'un catalogue, via Moodle (après la clôture des inscriptions au PA).

Contact enseignants responsables :

✉ ea-recherche@cmap.polytechnique.fr

Pour faire vos choix...

- N'hésitez pas à demander conseil aux responsables du PA et aux enseignants.

- Rappel : vous pouvez panacher de manière à obtenir un parcours MAP-BIO, MAP-ECO, MAP-MAT, etc.

- Dans le cadre d'un projet bien motivé, le département peut accorder des panachages supplémentaires.

  ➠ dans ce cas, contacter les responsables du PA pour validation

✉ pa-map@polytechnique.fr

Le stage de recherche

Mise en œuvre en situation professionnelle des notions acquises dans le PA.

- Initiation à la recherche (académique ou industrielle).
- Contenu mathématique **indispensable**.
- Début du stage fin mars.
- Durée de seize semaines minimum (voir présentation SOIE). Obligatoire de le réaliser en MAP.

Pour contacter les responsables :
map59X@meslistes.polytechnique.fr
avec :

- X= 2 pour l'option « Modélisation et calcul scientifique ».
- X= 3 pour l'option « Automatique et Recherche opérationnelle ».
- X= 4 pour l'option « Modélisation probabiliste et statistique ».
- X= 5 pour l'option « Mathématiques financières »

Et après le PA… la 4A

Les voies disponibles

- Master 2, MSc, MScT, PhD track
- Corps
- Écoles d'application

Préparation des candidatures :

- Filières souvent très sélectives, dossiers très soignés.
- Lettres de recommandation indispensables : encadrants d'EA, enseignants de PC…
- 1res deadlines en décembre

Master 2 de l'IP Paris

- Analyse, Modélisation, Simulation
- Data Science
- Mathématiques de l'Aléatoire
- Mathématiques pour les Sciences du Vivant
- Mathématiques, Vision, Apprentissage
- Modélisation Mathématique
- Optimization
- Probabilité et Finance
- Statistiques, Finance et Science Actuarielle

La thèse

- La thèse est le diplôme **le plus reconnu** au niveau international !
- Dans quelle université ? Ce sont surtout le sujet et l'encadrement qui comptent.
- Débouchés en entreprise ou dans le monde académique.

Quelques règles et modalités d'inscription à garder à l'esprit

- Changements de cours possibles à la rentrée uniquement durant les deux premières semaines de cours.

- Pour les EA d'initiation à la recherche
  - En P1 (**APM_51111_EP** et **APM_50113_EP**) : pas possible de rejoindre l'EA après le 1er septembre.
  - En P2 (**APM_52112_EP**) : pas possible de rejoindre l'EA après le 15 décembre.
  - Le but de cette contrainte : permettre de trouver un sujet et un encadrant.

Contacter

ea-recherche@cmap.polytechnique.fr
pour toute demande

- En cas de souci technique (par ex., incompatibilité entre la liste des cours dans cette présentation et celle proposée à l'inscription), ne pas hésiter à transmettre l'information à

pa-map@polytechnique.fr

4A, débouchés et métiers

Les perspectives professionnelles concernent les domaines de l'ingénierie (transport, aéronautique, énergie, génie civil, environnement…) ou des services (banque, assurance, informatique, systèmes de communication…) impliquant de la modélisation mathématique et de la simulation numérique, ainsi que la recherche académique au sens large (Université, CNRS, INRIA, CEA…).

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*3 obligatoires*)															
CSC_51050_EP																
APM_51050_EP																
APM_51051_EP																
APM_51052_EP											**	**				
APM_51055_EP																
APM_51056_EP																
APM_51057_EP															**	
APM_51059_EP																
FMA_51054_EP																
MEC_51052_EP																
MEC_51053_EP																
MEC_51055_EP																
MDC_51006_EP		**	**								**					

EA P1	(1 au *choix*)															
APM_51111_EP																
APM_50113_EP																
APM_51175_EP																
APM_51177_EP																
APM_51178_EP																
APM_51179_EP																
APM_51180_EP																
APM_51181_EP																

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

CSC_51050_EP — Algorithmique avancée

APM_51050_EP — Théorie des jeux

APM_51051_EP — Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des « milieux réactifs » multi-échelles

APM_51052_EP — Modèles stochastiques en finance

APM_51055_EP — Signal Processing: from Fourier to Machine Learning

APM_51056_EP — Théorie des probabilités pour le ML : applications aux méthodes de Monte Carlo et aux modèles génératifs

APM_51057_EP — Recherche opérationnelle : aspects mathématiques et applications

APM_51059_EP — Théorie avancée de l'Apprentissage Statistique

FMA_51054_EP — Équation d'évolution

MEC_51052_EP — Numerical methods in fluid mechanics

MEC_51053_EP — Numerical methods in solid mechanics

MEC_51055_EP — Instabilities and turbulence

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning

1 EA au choix obligatoire

APM_51111_EP — EA initiation à la recherche

APM_50113_EP — EA initiation à la recherche — long

APM_51175_EP — Advanced probability topics

APM_51177_EP — Modélisation, estimation, simulation des risques climatiques

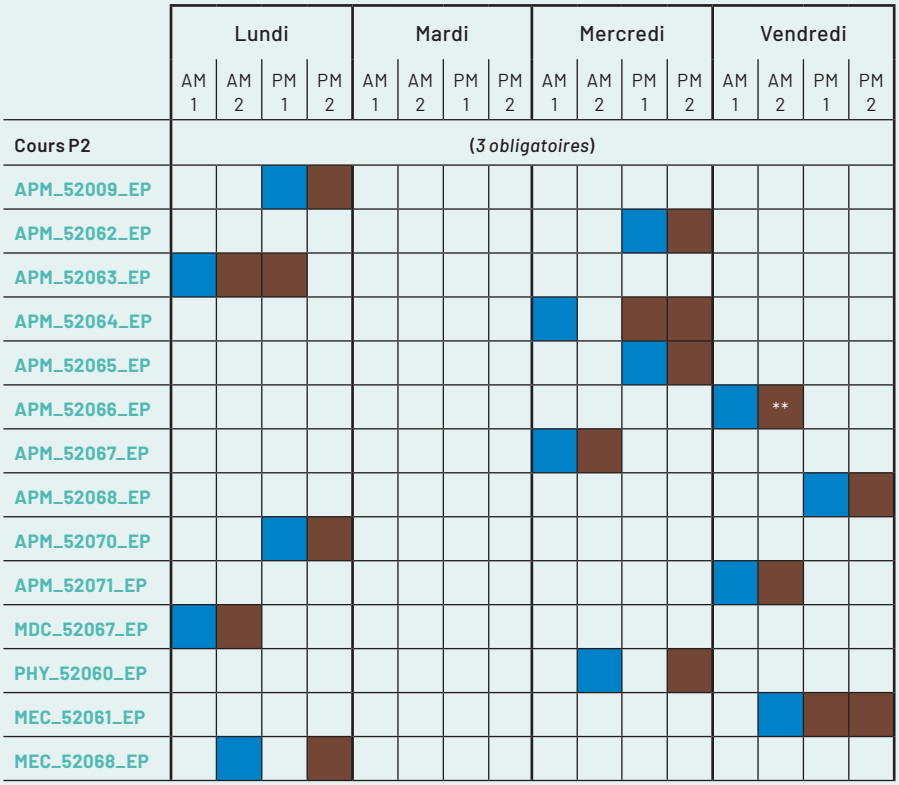
APM_51178_EP — Collaborative Learning

APM_51179_EP — Algorithmes et principes de conception logicielle pour les mathématiques appliquées en C++ moderne

APM_51180_EP — Finance quantitative : modèles, données et apprentissage

APM_51181_EP — Adversarial Machine Learning

COMPOSITION DU PROGRAMME



Période 2

3 cours obligatoires au choix

APM_52009_EP – Machine Learning for Scientific Computing and Numerical Analysis
APM_52062_EP – Optimal Design of Structures
APM_52063_EP – Modèles aléatoires en biologie, écologie et évolution
APM_52064_EP – Réseaux sociaux et de communication : modèles et algorithmes probabilistes
APM_52065_EP – Modélisation aléatoire et statistique des processus
APM_52066_EP – Statistics in action
APM_52067_EP – Optimization for AI
APM_52068_EP – Uncertainty quantification and risk analysis
APM_52070_EP – Mathematical Foundations of Decision Theory in AI
APM_52071_EP – Contrôle optimal et assimilation de données : de la théorie aux applications
MDC_52067_EP – Transport et diffusion
PHY_52060_EP – Systèmes complexes
MEC_52061_EP – Interactions fluide-structure
MEC_52068_EP – Mécanique de la rupture

1 EA obligatoire au choix

APM_52116_EP – Spectral Methods and Topics in Statistics
APM_52112_EP – EA initiation à la recherche
APM_50113_EP – EA initiation à la recherche long ➠ Prérequis avoir suivi APM_50113_EP en P1
APM_52183_EP – Apprentissage profond : de la théorie à la pratique
➠ Uniquement si CSC_51054_EP n'a pas été suivi en P1
APM_52188_EP – Emerging topics in Machine Learning: Computational Optimal Transport for ML and Generative modeling
BIO_52101_EP – Sciences des données en imagerie biologique
MDC_52P80_EP – Projet en modélisation des systèmes vivants

Sur la Période 1 et Période 2
vous devez avoir choisi au moins un EA parmi la liste suivante
APM_51111_EP – EA Initiation recherche
APM_52112_EP – EA Initiation recherche P2
APM_50113_EP – EA initiation recherche long P1
APM_51175_EP – EA Sujets Avancés sur la Probabilité
APM_51178_EP – Apprentissage Collaboratif
APM_52188_EP – Machine learning with Optimal Transport and Algorithmic Fairness
APM_52116_EP – Spectral Methods and Topics in Statistics
APM_51177_EP – Modélisation, estimation, simulation des risques climatiques
APM_51180_EP – Finance quantitative : modèles, données et apprentissage
APM_51181_EP – Adversarial Machine Learning

Période 3

Stage de recherche dans un des domaines

APM_52992_EP – Modélisation et calcul scientifique
APM_52993_EP – Automatique et Recherche Opérationnelle
APM_52994_EP – Modélisation probabiliste et statistique
APM_52995_EP – Mathématiques financières



MÉCANIQUE

Julien Husson
julien.husson@polytechnique.edu

Kostas Danas
konstantinos.danas@polytechnique.edu

Contexte

La mécanique est une discipline scientifique qui permet de comprendre les phénomènes physiques, le comportement des solides et des fluides et la réponse des structures, de les décrire à l'aide de formulations mathématiques rigoureuses et d'appliquer ces connaissances à des problématiques d'ingénierie modernes.

Ces applications couvrent des domaines variés tels que la production d'énergie (nucléaire, renouvelable, hydrogène et électrique), l'industrie aérospatiale et automobile, la génie civile et mécanique, l'industrie biomédicale, la science des matériaux, ainsi que la physique du sport et la biomécanique.

Objectifs

Le programme d'approfondissement « Mécanique » est proposé principalement par le département de Mécanique mais il contient aussi des cours proposés par les départements de Physique et de Mathématiques Appliquées. Il s'adresse particulièrement aux étudiants se destinant aux différents métiers d'ingénieur au sens très large.

Ce programme vise à offrir aux étudiants une connaissance à la fois rigoureuse et appliquée de la mécanique des solides et des fluides, deux domaines omniprésents dans notre monde physique et notre vie quotidienne. Les étudiants peuvent choisir parmi un large éventail de cours, suivant un cursus en mécanique des fluides, en mécanique des solides ou une combinaison des deux.

Sa pédagogie combine cours magistraux à forte composante scientifique et appliquée, incluant des implémentations numériques et la résolution de problèmes concrets. Les EA

permettent aux étudiants d'acquérir de l'expérience dans les méthodes expérimentales et le codage numérique.

Contenu

a. Règles de choix de cours

- P1 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- P2 : 3 cours + 1 EA au choix dans la liste ci-dessous
- Possibilité de remplacer les 2 EA par un projet de recherche au laboratoire (MEC_50P11_EP) pour P1 et P2
- Impossible de suivre deux cours dont les amphis sont sur le même créneau

b. Règles de panachage

Pour chaque période, 1 panachage (cours ou EA) est possible.

c. Prérequis

Le programme PA Meca a comme prérequis que les étudiants aient suivi l'un des cours de mécanique de deuxième année MEC_41030_EP ou MEC_42032_EP ou MEC_43031_EP.

Pour les étudiants rejoignant l'École polytechnique en master, il faut cependant noter qu'une bonne formation de base en mécanique de solides et/ou des fluides est nécessaire pour suivre ce programme.

d. Stage de recherche

Le stage peut être effectué en France ou à l'étranger, dans un laboratoire, une entreprise ou une institution. Le point crucial est que l'activité doit être un projet de recherche – c'est-à-dire qu'il s'agit de produire des connaissances nouvelles, sans certitude initiale sur les résultats finaux.

e. Compétences acquises

Socle de compétences techniques pertinentes pour l'industrie énergétique, défense, automobile, aérospatiale, biomédicale et mécanique plus généralement (génie civile par exemple).

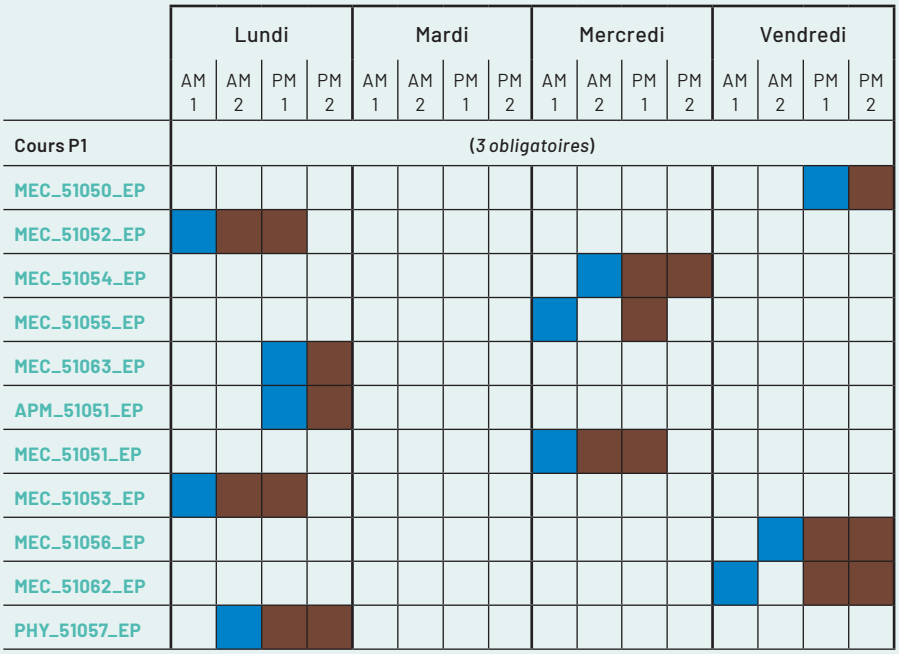
4A, débouchés et métiers

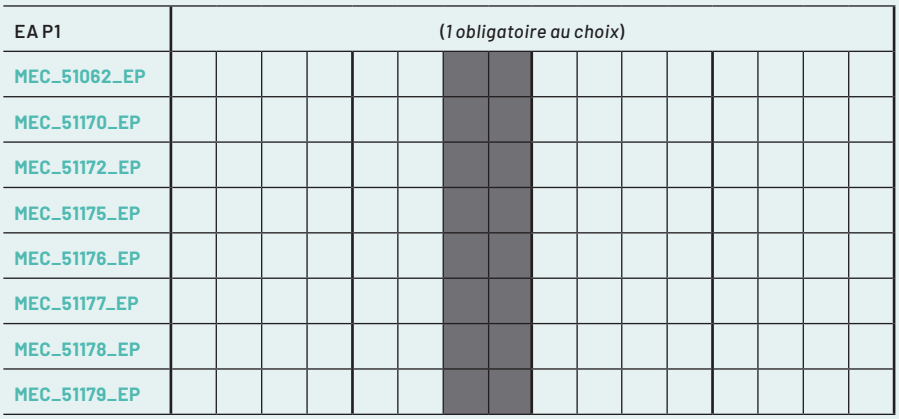
En 4A, environ 20-30 % des élèves poursuivent leur formation dans un corps de l'Etat (Mines, Ponts), 20-30 % dans une école d'application (SUPAERO, ENPC, MINES PARIS) et environ 50 % dans un Master, en France (IPP, PSL…) ou à l'étranger (EPFL, Montréal, ETH, KTH, Stanford, Oxford, Cambridge…).

A plus long terme, le PA peut ouvrir vers une thèse de doctorat ou directement vers le monde du travail. Il permet d'aller vers la recherche académique dans le domaine de mécanique des matériaux, mécanique des solides et des fluides, la R & D industrielle, la gestion de projets d'ingénierie (développement, installation, opération), l'analyse prospective…

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.





Projet P1 & P2	
MEC_50P11_EP	Projet

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

Cours en Biomécanique et biomatériaux

MEC_51050_EP — Mécanique des biofluides et transport de masse

Cours en Mécanique des fluides

MEC_51052_EP — Méthodes numériques en mécanique des fluides

MEC_51054_EP — Aérodynamique compressible

MEC_51055_EP — Instabilité et Turbulence

MEC_51063_EP — Physique du sport

APM_51051_EP — Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des milieux réactifs multi-échelles

Cours en Mécanique des Solides

MEC_51051_EP — Comportements des matériaux

MEC_51053_EP — Méthodes numériques en mécanique des solides

MEC_51056_EP — Dynamique des solides et structures

MEC_51062_EP — Mécanique à l'échelle atomique

PHY_51057_EP — Surfaces molles

1 EA ou projet obligatoire au choix

MEC_51170_EP — Analyse et dimensionnement des structures et composants

MEC_51172_EP — Nanofluidique

MEC_51175_EP — Micromécanique expérimentale : bio-ingénierie, mécanique cellulaire et matière molle

MEC_51176_EP — Design des technologie innovantes

MEC_51177_EP — Écoulements environnementaux

MEC_51178_EP — Aérodynamique

MEC_51179_EP — Mécanique du desordre

MEC_50P11_EP — Projet de recherche en mécanique

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P21	*(3 obligatoires)*															
MEC_52060_EP																
MEC_52061_EP																
MEC_52066_EP			**													
MEC_52067_EP																
MEC_52062_EP																
MEC_52063_EP																
MEC_52068_EP																
MEC_52069_EP																
MEC_52070_EP																
APM_52062_EP																
APM_52071_EP																

EA P2	*(1 obligatoire au choix)*															
MEC_52181_EP																
MEC_52182_EP																
MEC_52184_EP																
MEC_52185_EP																
MEC_52189_EP																
PHY_52182_EP																
MDC_52086_EP																

Projet P2	
MDC_52P80_EP	**Projet**

Projet P1 & P2	
MEC_50P11_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix

Cours en Biomécanique et biomatériaux

MEC_52069_EP – Mécanique cellulaire et subcellulaire

Cours en Mécanique des fluides

MEC_52060_EP – Propulsions

MEC_52061_EP – Fluid-Structure Interactions

MEC_52066_EP – Mécanique des fluides pour l'énergie et applications au domaine nucléaire

MEC_52067_EP – Hydrodynamique physique pour l'environnement

Cours en Mécanique des Solides

MEC_52062_EP – Mécanique et couplages multiphysiques

MEC_52063_EP – Stabilité des matériaux et des structures

MEC_52068_EP – Mécanique de la rupture

MEC_52070_EP – Solides en grandes transformations

APM_52062_EP – Conception optimale des structures

APM_52071_EP – Contrôle optimal et assimilation des données

1 EA ou projet obligatoire au choix

MEC_52181_EP – Modèles et données en mécanique

MEC_52182_EP – Our changing water resources: a multidisciplinary challenge

MEC_52184_EP – Hydrodynamique et élasticité

MEC_52185_EP – Ingénierie informatique de la mécanique des solides

MEC_52189_EP – Fabrication additive : concevoir, optimiser et fabriquer différemment

PHY_52182_EP – Advanced Materials design

MDC_52086_EP – Biomécanique en santé et en maladie

MDC_52P80_EP – Projet en modélisation des systèmes vivants

MEC_50P11_EP – Projet de recherche en mécanique

➠ Obligatoire si MEC_50P11_EP suivi en P1

Période 3

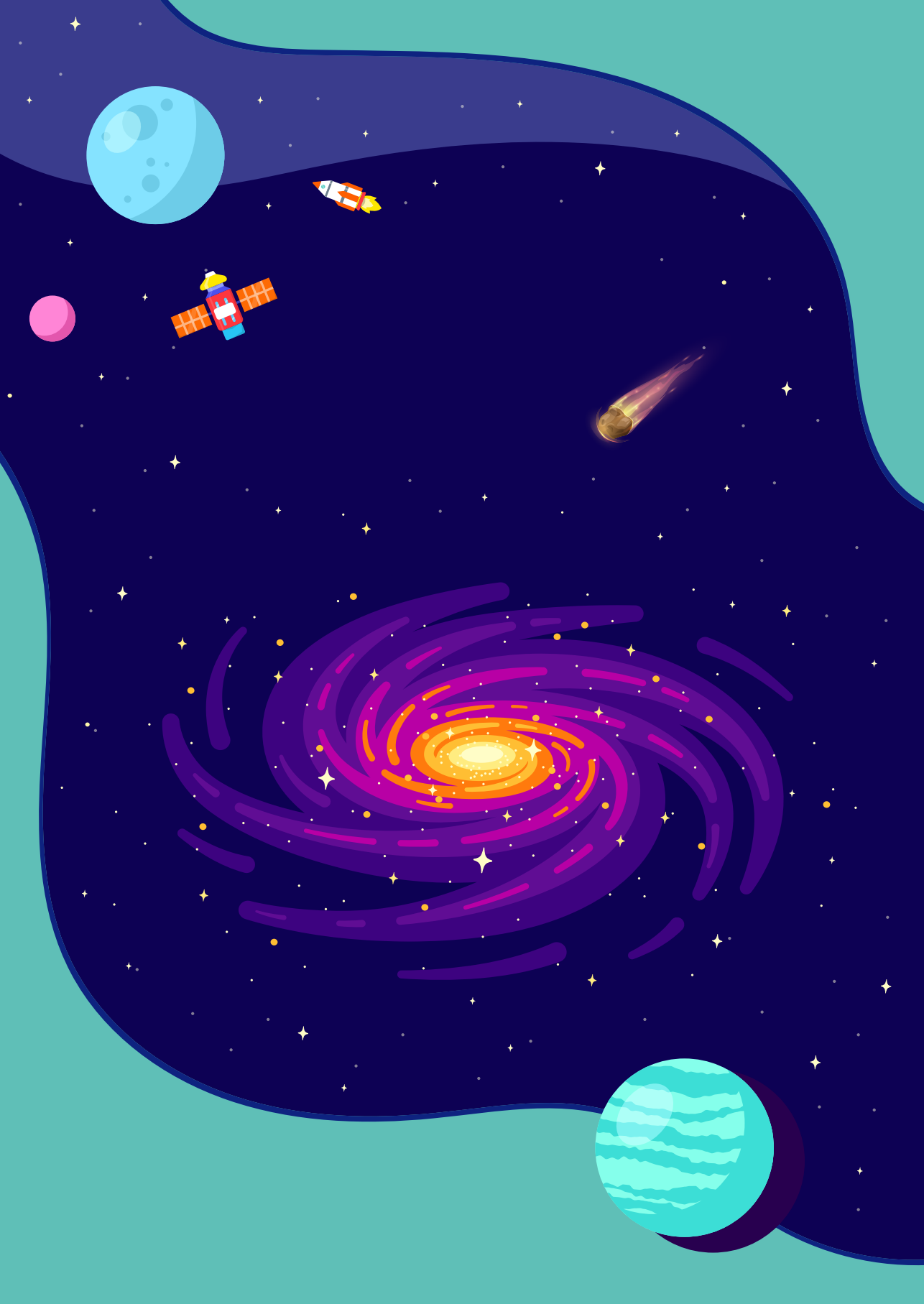
Stage de recherche

MEC_52992_EP – Mécanique des matériaux et des structures

MEC_52993_EP – Matière molle, fluides complexes et MEMS

MEC_52994_EP – Aérodynamique et hydrodynamique

MEC_52995_EP – Mécanique du vivant



PHYSIQUE

Henri-Jean Drouhin
henri-jean.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Le PA de Physique est structuré en 3 Parcours thématiques (PT) et 2 Parcours transverses (PTR).

- Les parcours thématiques sont essentiellement destinés aux élèves de l'École polytechnique. Ils leur donnent accès à une grande variété de M2 en physique, en France ou à l'étranger, ainsi qu'à des 4e années consacrées à d'autres activités que la physique.

Dans les parcours transverses se déclinent et se conjuguent des concepts issus de différents parcours thématiques pour générer des méthodes innovantes et des technologies du futur.

On y trouve aussi des cours d'ouverture, certains proposés en partenariat avec d'autres départements dans une approche multidisciplinaire.

Objectifs

Le Programme d'Approfondissement de physique permet aux élèves de découvrir, d'une part la diversité et l'étendue des phénomènes physiques, d'autre part d'approfondir leurs connaissances théoriques ou expérimentales sur certains sujets plus pointus. Il bénéficie d'un corpus d'enseignements exceptionnels qui présentent les théories fondamentales de la physique, ses aspects expérimentaux et pluridisciplinaires, ainsi que ses applications technologiques actuelles.

Il ouvre ainsi la voie vers tous les métiers de la physique, et permet de se diriger vers la recherche fondamentale ou appliquée, mais aussi vers un ensemble de métiers extrêmement variés pour lesquels une formation de physicien constitue un apport essentiel. On peut séparer ces métiers en deux grandes catégories :

- La première concerne les activités où la physique est centrale, à la fois pour les méthodes et pour les objets étudiés, et est souvent reliée à la recherche et au développement en milieu académique ou industriel. On peut citer l'électronique, l'informatique, l'optique, l'optoélectronique, la physique atomique et la physique de l'infiniment petit (particules élémentaires) et de l'infiniment grand (cosmologie, astrophysique). Certaines de ces activités peuvent réclamer des connaissances pluridisciplinaires, ou rejoindre l'ingénierie, par exemple dans le domaine de l'énergétique où se rencontrent la physique, la mécanique, la chimie et l'économie, ou dans celui des technologies quantiques.

- La seconde catégorie concerne des disciplines où les objets qu'on manipule ne sont plus des objets physiques habituels comme des atomes ou des photons, mais où les outils de la physique (les méthodes statistiques, les équations bilans…) restent essentiels. On peut citer les domaines de l'interface avec la biologie et les sciences du vivant (étude du repliement des protéines, dynamique des populations…), ou les activités liées à la finance. Le savoir-faire recherché dans ce cas est la capacité à construire des modèles à partir de données brutes, puis à les confronter à la réalité pour faire des prédictions nouvelles. Cette démarche, centrale dans la formation et les activités d'un physicien, est en fait essentielle aussi dans une activité de conseil ou de « consulting ».

Contenu

a. Règles de choix de cours

Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.

Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué dans le Module PHY_50P13_EP, seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

Il est rappelé que les élèves peuvent choisir des cours ou EA supplémentaires s'ils le souhaitent. Il leur appartient alors de s'assurer de la compatibilité des horaires des modules choisis, et de justifier leurs choix dans le texte de motivation du document en ligne d'inscription au PA.

b. Règles de panachage

Un cours ou un EA à chaque période peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA.

c. Prérequis

PHY_41030_EP – Physique quantique avancée,
PHY_42031_EP – Relativité et principes variationnels,
PHY_43033_EP – Physique statistique obligatoires pour la thématique « Des particules aux étoiles » et pour le programme « Physique des hautes énergies ».

Le cours PHY_51001_EP – Champs relativistes et leur quantification est un prérequis pour
PHY_52061_EP – Théorie quantique des champs perturbative
PHY_52066_EP – Physique des Particules Avancée.

PHY_51054_EP – Physique des Particules Elémentaires est pré-requis pour
PHY_52066_EP – Physique des Particules Avancée.
PHY_41030_EP – Physique quantique avancée,

PHY_43033_EP – Physique statistique obligatoires pour les thématiques « Photons et atomes », « De l'atome au matériau », « Sciences et technologies quantiques » et « Physique computationnelle ».

d. Stage de recherche

PHY_52991_EP à **PHY_52999_EP** – Stages de recherche scientifique de Physique.

e. Compétences acquises

Les étudiants ayant suivi un parcours de physique en troisième année à l'École polytechnique acquièrent un ensemble de compétences scientifiques et techniques de haut niveau. Ils maîtrisent les concepts fondamentaux de la physique ainsi qu'un certain nombre de méthodes expérimentales de pointe. Ils sont en mesure de modéliser des phénomènes complexes à l'aide d'outils mathématiques et numériques avancés.

La formation dispensée leur permet d'aborder une large variété de problèmes, que ce soit dans le domaine de la recherche en physique ou en vue de l'application de méthodes scientifiques et des outils de la physique pour résoudre des problèmes industriels, financiers, ou encore pour traiter d'enjeux sociétaux avec la rigueur et le recul nécessaires. Leurs travaux, qui les conduisent aux frontières de la recherche, leurs donnent l'opportunité d'aborder des projets souvent multidisciplinaires avec un esprit d'équipe et développe leurs capacités à communiquer des idées complexes et à rédiger des publications scientifiques.

4A, débouchés et métiers

Les élèves germanophiles ayant suivi **PHY_51002_EP** et **PHY_51052_EP** ont la possibilité de postuler pour leur 4A au master de physique de la Freie Universität Berlin obtenant ainsi un double diplôme.

Composition du programme

En pratique, les différents parcours partagent de nombreux cours. Les cours du PA de Physique sont enseignés en anglais.

Ils sont communs au PA de Physique du cycle polytechnicien et au programme de master mention physique de IP Paris.

Les parcours thématiques et transverses :

- PT1 : Des particules aux étoiles : interactions fondamentales et constituants élémentaires.
- PT2 : Photons et atomes : lasers, optique, plasmas.
- PT3 : De l'atome au matériau : matière condensée, matière molle, matériaux fonctionnels.
- PTR1 : Sciences et technologies quantiques.
- PTR2 : Physique Computationnelle.

Attention :

Aux USA, de nombreux départements de physique fondamentale privilégient l'inscription d'étudiants en Master of Science (M.S.) dans le cadre d'un programme de « Ph.D. curriculum ». Pour effectuer une quatrième année sans intention de poursuivre en thèse, il est plutôt conseillé de se tourner vers les Masters of Science in Engineering (M.S.E.) ou les Masters of Engineering (M.Eng.).

DES PARTICULES AUX ÉTOILES

Cédric Lorcé
cedric.lorce@polytechnique.edu

Christoph Kopper
christoph.kopper@polytechnique.edu

Henri-Jean Drouhin
hj.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Ce parcours s'adresse aux élèves intéressés par les bases de la physique et son rôle conceptuel dans la compréhension de la nature de l'infiniment petit à l'infiniment grand, aussi bien du point de vue expérimental que du point de vue théorique.

Objectifs

A travers ce parcours les élèves peuvent donc continuer à suivre le chemin des grandes révolutions intellectuelles de la physique du vingtième siècle, en partant de la mécanique quantique vers la théorie des champs et la physique des particules, et de la relativité restreinte vers la relativité générale, l'astrophysique et la cosmologie.

Le parcours donnera aussi un premier aperçu des expériences, conçues et mises en œuvre à l'échelle mondiale, pour élargir nos connaissances de l'univers et de ses constituants de base.

Contenu

a. Règles de choix de cours

3 cours et 1 EA par période.

Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.

Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué (Module PHY_50P13_EP), seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

b. Règles de panachage

Un EA ou un cours peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA

c. Prérequis

PHY_41030_EP – Physique quantique avancée
PHY_42031_EP – Relativité et principes variationnels
PHY_43033_EP – Physique statistique

d. Stage de recherche

PHY_52991_EP – Champs, particules et matière
PHY_52992_EP – Astrophysique et cosmologie
PHY_52901_EP – Physique spatiale

e. Compétences acquises

Connaissance des concepts fondamentaux en physique des hautes énergies.

4A, débouchés et métiers

Formations de 4e année conseillées :

En France

M2 IP Paris :

- ICFP (parcours physique théorique).
- Physique des hautes énergies (X-ETHZ, M2 à l'ETH Zürich ou à titre exceptionnel M2 à l'X parcours national).

Autres M2, en région parisienne :

- Noyaux, particules, astroparticules et cosmologie (NPAC).
- Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale (AAIS).
- Accélérateurs de Particules et Interaction avec la Matière (APIM).

A l'étranger

- Masters en Fundamental Physics, Astrophysics and Cosmology, Particle Physics…

Débouchés :

Corps de l'État, Entreprise, Recherche en milieu académique ou industriel. Cette formation par sa richesse méthodologique donne accès à une grande variété de métiers en dehors de la physique (informatique, finance, etc).

Études doctorales : Formation par et pour la recherche en physique théorique, physique des particules, astrophysique et cosmologie.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(3 obligatoires)*															
PHY_51001_EP																
PHY_51002_EP																
PHY_51051_EP																
PHY_51052_EP																
PHY_51053_EP																
PHY_51054_EP																
EA P1	*(1 EA ou projet obligatoire au choix)*															
PHY_51171_EP																
PHY_51174_EP																
MDC_51075_EP																
Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*															
PHY_50P13_EP	**Projet**															

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_51001_EP – Relativistic fields and their quantization ➠ Cours fortement recommandé

PHY_51002_EP – Quantum optics: Lasers

PHY_51051_EP – Plasmas in space sciences and technology

PHY_51052_EP – Quantum physics of electrons in solids

PHY_51053_EP – Stellar astrophysics ➠ Cours fortement recommandé

PHY_51054_EP – Elementary particle physics ➠ Cours fortement recommandé

1 EA ou projet obligatoire au choix

PHY_51171_EP – Numerical physics

PHY_51174_EP – Cosmology

MDC_51075_EP – Group theory in subatomic physics

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire

De préférence, le projet en laboratoire s'étalera sur les deux périodes.

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*3 obligatoires*)															
PHY_52004_EP																
PHY_52061_EP																
PHY_52062_EP																
PHY_52066_EP																
PHY_52068_EP																

EA P2	(*1 EA ou projet obligatoire au choix*)															
FMA_52068_EP																
PHY_52183_EP																
PHY_52184_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_52004_EP – Space missions and astrophysical plasmas

PHY_52061_EP – Perturbative quantum field theory ➠ Prérequis : PHY_51001_EP ➠ Cours fortement recommandé

PHY_52062_EP – Quantum optics: photons

PHY_52066_EP – Advanced particle physics ➠ Prérequis : PHY_51001_EP et PHY_51054_EP ➠ Cours fortement recommandé

PHY_52068_EP – General relativity ➠ Cours fortement recommandé

1 EA obligatoire au choix

FMA_52068_EP – General relativity

PHY_52183_EP – Black holes, neutron stars and associated phenomena

PHY_52184_EP – Experimental aspects of high energy physics

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire ➠ Prérequis : PHY_50P13_EP (P1)

Période 3

Stage de recherche

PHY_52991_EP – Champs, particules et matière

PHY_52992_EP – Astrophysique et cosmologie

PHY_52901_EP – Physique spatiale

PHOTONS ET ATOMES :
LASERS, OPTIQUE, PLASMAS

Fabien Bretenaker
fabien.bretenaker@universite-paris-saclay.fr

François Hache
francois.hache@polytechnique.edu

Henri-Jean Drouhin
hj.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Ce parcours s'adresse aux élèves intéressés par l'optique, la physique des lasers, la physique quantique, la physique atomique et moléculaire, la physique des plasmas et la physique des systèmes de production d'énergie.

Objectifs

Des atomes ultra-froids aux plasmas relativistes, l'élève pourra rencontrer des milieux aux propriétés très diverses, décrits aussi bien par la mécanique quantique que par l'électrodynamique classique ou relativiste, et aux multiples applications actuelles ou futures.

Contenu

a. Règles de choix de cours

3 cours et 1 EA par période.

Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.

Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué (Module PHY_50P13_EP), seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

b. Règles de panachage

Un EA ou un cours peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA

c. Prérequis
PHY_41030_EP – Physique quantique avancée
PHY_43033_EP – Physique statistique.

d. Stage de recherche
PHY_52994_EP – Lasers, optique quantique, plasmas

e. Compétences acquises
Connaissance des concepts fondamentaux en physique de basse énergie.

4A, débouchés et métiers

Formations de 4e année conseillées :
En France
M2 IP Paris :
- ICFP (parcours physique quantique).
- Dispositifs quantiques.
- Science des Matériaux et Nano-Objets (SMNO).
- Quantum Light, Materials and Nanosciences (QLMN)
- Sciences de la fusion.

Écoles d'Application :
- IOGS, Télécom Paris, ENSTA Paris, INSTN

A l'étranger
- Masters en Electrical Engineering, Nuclear Engineering, Laser Physics, Optics…

Débouchés :
Corps de l'état, Entreprise, Recherche en milieu académique ou industriel (R & D), en particulier dans les domaines des lasers, de l'optique, de la physique quantique et des plasmas.

Études doctorales : Formation par et pour la recherche en : physique, physique atomique et moléculaire, physique des lasers, physique des plasmas.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*3 obligatoires*)															
PHY_51002_EP																
PHY_51003_EP																
PHY_51051_EP																
PHY_51052_EP																
PHY_51053_EP																
EA P1	(*1 EA ou projet obligatoire au choix*)															
PHY_51170_EP																
PHY_51171_EP																
PHY_51074_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_51002_EP – Quantum optics: lasers

PHY_51003_EP – Atomic and molecular physics

PHY_51051_EP – Plasmas in space sciences and technology

PHY_51052_EP – Quantum physics of electrons in solids

PHY_51053_EP – Stellar astrophysics (*cours supplémentaire*)

1 EA ou projet obligatoire au choix parmi

PHY_51170_EP – Materials design

PHY_51171_EP – Physique numérique (*recommandé*)

PHY_51174_EP – Cosmology

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire

De préférence, le projet en laboratoire s'étalera sur les deux périodes.

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(3 obligatoires)*															
PHY_52001_EP																
PHY_52003_EP																
PHY_52004_EP																
PHY_52062_EP																
PHY_52069_EP																
EA P2	*(1 EA ou projet obligatoire au choix)*															
PHY_52101_EP																
PHY_52180_EP																
PHY_52181_EP																
PHY_52182_EP																
PHY_52183_EP																
PHY_52184_EP																
PHY_52185_EP																
PHY_52186_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter

PHY_52003_EP – Optoelectronics

PHY_52004_EP – Space missions and astrophysical plasmas

PHY_52062_EP – Quantum optics: photons

PHY_52069_EP – Physics of plasmas and thermonuclear fusion

1 EA ou projet obligatoire au choix

PHY_52101_EP – Microelectronics: experimental ASIC design

PHY_52180_EP – Quantum information: Entanglement, control and platforms for quantum technologies

PHY_52181_EP – Spintronics

PHY_52182_EP – Current Trends in Materials Science

PHY_52183_EP – Black holes, neutron stars and associated phenomena

PHY_52184_EP – Experimental aspects of high energy physics

PHY_52185_EP – Experimental works in environmental physics

PHY_52186_EP – Technology of nuclear reactors and nuclear fuel cycle

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire

➠ Prérequis : avoir suivi PHY_50P13_EP en P1

Période 3

Stage de recherche

PHY_52994_EP – Lasers, optique quantique, plasmas

DE L'ATOME AU MATÉRIAU : MATIÈRE CONDENSÉE, MATIÈRE MOLLE, MATÉRIAUX FONCTIONNELS

Michel Ferrero
michel.ferrero@polytechnique.edu

Thierry Gacoin
thierry.gacoin@polytechnique.edu

Henri-Jean Drouhin
hj.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Ce parcours cherche à faire découvrir la physique moderne de la matière condensée et de la « matière molle » et de leurs interfaces avec des domaines comme la biophysique, les nanosciences ou les sciences des matériaux. Ces domaines constituent une source inépuisable de sujets de recherche fondamentale, mais conduisent aussi à d'innombrables avancées technologiques.

La diversité des matériaux, la complexité des structures artificielles que l'on sait fabriquer, les conditions extrêmes auxquelles on peut les soumettre font de ce domaine une des branches les plus vastes et les plus variées de la physique, ainsi qu'un secteur en perpétuel renouveau, en prise directe avec les technologies.

Objectifs

A travers les enseignements de ce parcours, l'étudiant découvrira comment les caractéristiques d'un matériau à l'échelle atomique déterminent ses propriétés à l'échelle macroscopique, ainsi que la remarquable diversité de ces propriétés.

Plusieurs enseignements entrant dans ce cadre sont soutenus par la chaire Saint-Gobain.

Contenu

a. Règles de choix de cours

3 cours et 1 EA par période.

Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.

Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué (Module PHY_50P13_EP), seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

b. Règles de panachage

Un EA ou un cours peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA.

c. Prérequis

PHY_41030_EP – Physique quantique avancée
PHY_43033_EP – Physique statistique.

d. Stage de recherche

PHY_52993_EP – Semi-conducteurs et composants
PHY_52995_EP – Physique de la matière condensée
MEC_52993_EP – Matière molle, fluides complexes, biomécanique et MEMS

e. Compétences acquises

Connaissance des concepts fondamentaux en physique de la matière condensée et en physique atomique.

4A, débouchés et métiers

Formations de 4e année conseillées :

En France

M2 IP Paris:

- Spécialité « ICFP » parcours physique de la matière condensée, physique quantique, ou physique théorique.
- Spécialité « Dispositifs Quantiques ».
- Spécialité « Science des Matériaux et Nano-Objets » (SMNO).
- Quantum Light, Materials and Nanosciences (QLMN)

Autres M2

- Spécialité Interface physique biologie
- Spécialité Systèmes dynamiques et statistiques de la matière complexe.
- Science des matériaux pour la construction durable.
- Physique et systèmes biologiques.
- Systèmes dynamiques et statistiques de la matière complexe.

Écoles d'Application

- Mines ParisTech, ENSPM, Chimie Paris-Tech, Télécom Paristech, ENSTA Paris, INSTN

A l'étranger

Double Master avec la FU Berlin.
Materials Science, Electrical Engineering, Solid state Physics, Nuclear Engineering, Biophysics…

Débouchés

Corps de l'état, Entreprises industrielles, Recherche en milieu académique ou industriel (R & D, Management), dans les domaines de la matière condensée et de la science des matériaux.
Études doctorales : Formation par et pour la recherche dans les domaines de la matière condensée et de la science des matériaux.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*3 oligatoires*)															
PHY_51002_EP																
PHY_51003_EP																
PHY_51052_EP																
PHY_51057_EP																
EA P1	(*1 EA ou projet obligatoire au choix*)															
PHY_51170_EP																
PHY_51171_EP																
Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*															
PHY_50P13_EP	**Projet**															

Période 1

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_51002_EP — Quantum optics: lasers

PHY_51003_EP — Atomic and molecular physics

PHY_51052_EP — Quantum physics of electrons in solids

PHY_51057_EP — Soft surfaces

1 EA ou projet obligatoire au choix parmi

PHY_51170_EP — Materials design

PHY_51171_EP — Numerical physics

PHY_50P13_EP — Projet de Recherche en Laboratoire

De préférence, le projet en laboratoire s'étalera sur les deux périodes.

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(3 obligatoires)*															
PHY_52001_EP																
PHY_52002_EP																
PHY_52003_EP																
PHY_52060_EP																
PHY_52065_EP																
PHY_52067_EP																
EA P2	*(1 EA ou projet obligatoire au choix)*															
PHY_52180_EP																
PHY_52181_EP																
PHY_52182_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

Période 2

3 cours obligatoires au choix parmi

PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter

PHY_52002_EP – Nanomaterials and electronic applications

PHY_52003_EP – Optoelectronics

PHY_52060_EP – Complex systems

PHY_52065_EP – Physics of living systems: fluctuations,self-organization and active matter

PHY_52067_EP – Physics of semiconducting devices

1 EA ou projet obligatoire au choix

PHY_52180_EP – Quantum information: Entanglement, control and platforms for quantum technologies

PHY_52181_EP – Spintronics

PHY_52182_EP – Current Trends in Materials Science

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire

➠ Prérequis : PHY_50P13_EP (P1)

Période 3

Stage de recherche

PHY_52993_EP – Semi-conducteurs et composants

PHY_52995_EP – Physique de la matière condensée

PHY_52999_EP – Technologies quantiques et matériaux quantiques

MEC_52993_EP – Matière molle, fluides complexes, biomécanique et MEMS

SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Laurent Sanchez-Palencia
laurent.sanchez-palencia@polytechnique.edu

Henri-Jean Drouhin
hj.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Ces toutes dernières années ont été marquées par des avancées spectaculaires sur le contrôle de systèmes quantiques individuels et des dispositifs quantiques.
Elles ouvrent la voie à une véritable seconde révolution quantique, caractérisée par l'utilisation des propriétés spécifiquement quantiques de la matière. Les défis scientifiques et le vaste potentiel d'applications des technologies quantiques sont actuellement au cœur de plans de développement nationaux et transnationaux d'envergure, impliquant états, grands groupes industriels et un foisonnement de start-ups.

Objectifs

L'objectif de ce parcours est de découvrir ce domaine en plein développement. L'étudiant découvrira à la fois les principes qui sous-tendent ces nouvelles technologies quantiques, une variété de dispositifs concrets sur lesquels elles sont implémentées, ainsi que les défis à venir. Ce parcours transverse couvrira un vaste champ de la physique, de la matière condensée à la physique atomique et à l'optique quantique, également des aspects algorithmiques.

Contenu

a. Règles de choix de cours

3 cours et 1 EA par période.
Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.
Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué (Module PHY_50P13_EP), seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

b. Règles de panachage

Un cours ou un EA à chaque période peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA.

c. Prérequis

PHY_3X061_EP – Physique quantique
PHY_41030_EP – Physique quantique avancée
PHY_43033_EP – Physique statistique

d. Stage de recherche

PHY_52993_EP – Semi-conducteurs et composants
PHY_52186_EP – Lasers, optique quantique, plasmas
PHY_52995_EP – Physique de la matière condensée
PHY_52999_EP – Technologies quantiques et matériaux quantiques

e. Compétences acquises

Connaissance des avancées les plus récentes, des enjeux et des défis des sciences et technologies quantiques. Connaissance des concepts physiques fondamentaux de la matière condensée, de l'optique quantique et de la physique atomique à la base des sciences et technologies quantiques.
Introduction à l'information quantique et pont entre physique et informatique dans le champ du calcul quantique.

4A, débouchés et métiers

Formations de 4e année conseillées :

En France

M2 IP Paris :

- ICFP (parcours physique quantique, physique théorique ou physique de la matière condensée)
- Quantum, Light, Materials and Nanosciences (QLMN)
- Dispositifs quantiques

Écoles d'Application

- IOGS, Télécom Paris, ENSTA Paris, Mines ParisTech

A l'étranger

Double Master avec la FU Berlin.
Materials Science, Electrical Engineering, Solid state Physics, Nuclear Engineering, Biophysics…

Débouchés

Corps de l'état, Recherche en milieu académique, Recherche en milieu industriel (R & D), Grands groupes industriels, Start-ups.
Études doctorales : Formation par et pour la recherche dans les domaines de la physique quantique, les technologies quantiques, l'ingénierie quantique, le calcul quantique, la physique atomique et moléculaire, et la matière condensée.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(Obligatoire)*															
PHY_51052_EP																
	(2 obligatoires)															
MDC_51002_EP																
PHY_51001_EP																
PHY_51002_EP																
PHY_51003_EP*																
EA P1	*(1 EA ou projet obligatoire au choix)*															
PHY_51170_EP																
PHY_51171_EP																
PHY_51175_EP																
Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*															
PHY_50P13_EP	**Projet**															

Période 1

1 cours obligatoire

PHY_51052_EP – Quantum Physics of Electrons in Solids

2 cours obligatoires au choix parmi

MDC_51002_EP – Quantum Information and Computing: Foundations ➠ Cours fortement recommandé

PHY_51001_EP – Relativistic fields and their quantization

PHY_51002_EP – Quantum Optics: Lasers

PHY_51003_EP – Atomic and molecular physics

1 EA ou projet obligatoire au choix parmi

PHY_51170_EP – Materials design

PHY_51171_EP – Numerical physics

MDC_51075_EP – Group theory in subatomic physics

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire ➠ Cours fortement recommandé

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
PHY_52062_EP																
	(*2 obligatoires*)															
PHY_52001_EP																
PHY_52067_EP																
CSC_52001_EP																
EA P2	(*1 EA ou projet obligatoire*)															
PHY_52180_EP																
PHY_52181_EP																
PHY_52182_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

Période 2

1 cours obligatoire

PHY_52062_EP – Quantum optics: photons

2 cours obligatoires au choix parmi

PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter

PHY_52067_EP – Physics of semiconducting devices

CSC_52001_EP – Advanced topics in quantum computation and information

1 EA ou projet obligatoire parmi

PHY_52180_EP – Quantum Information and Computing: Experimental implementations

PHY_52181_EP – Spintronics

PHY_52182_EP – Current trends in materials science

PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire ➠ Cours fortement recommandé – Prérequis : PHY_50P13_EP (P1)

Période 3

Stage de recherche

PHY_52993_EP – Semi-conducteurs et composants

PHY_52994_EP – Lasers, optique quantique, plasmas

PHY_52995_EP – Physique de la matière condensée

PHY_52999_EP – Technologies quantiques et matériaux quantiques

PHYSIQUE COMPUTATIONNELLE

Michel Ferrero
michel.ferrero@polytechnique.edu

Filippo Vicentini
filippo.vicentini@polytechnique.edu

Henri-Jean Drouhin
hj.drouhin@polytechnique.edu

Luca Perfetti
luca.perfetti@polytechnique.edu

Contexte

Ce parcours s'adresse aux élèves qui souhaitent acquérir une double culture en physique moderne et en sciences computationnelles. En effet, les méthodes numériques trouvent aujourd'hui une place centrale dans les sciences fondamentales et appliquées. Elles interviennent à tous les niveaux, de l'exploitation de données à la simulation numérique, et demandent d'avoir des connaissances à l'interface entre physique, mathématiques appliquées et informatique. Dans ce contexte, les méthodes d'apprentissage machine ont un rôle de plus en plus important et deviennent un outil essentiel pour relever les défis algorithmiques de demain.

Objectifs

Le programme permet aux étudiants de découvrir la physique computationnelle tout en se spécialisant dans une des thématiques du PA de physique : des particules aux étoiles, photons et atomes, de l'atome au matériau ou sciences et technologies quantiques. Le choix des cours se fera dans l'offre proposée par la thématique choisie et sera complété par des formations sur des méthodes et algorithmes numériques modernes, avec un accent particulier sur les techniques d'apprentissage machine.

Contenu

a. Règles de choix de cours

3 cours et 1 EA par période.

Les règles de choix des cours des Parcours thématiques et transverses sont celles des Programmes d'Approfondissement (PA) de l'École polytechnique.

Un projet de recherche en laboratoire (PRL) pourra être effectué (Module PHY_50P13_EP), seul ou en binôme, et sur une ou deux périodes. Une note sera attribuée pour ce projet et se substituera à la note d'EA.

b. Règles de panachage

Un cours ou un EA à chaque période peut être choisi dans une autre thématique ou dans un autre PA

c. Prérequis

PHY_41030_EP – Physique quantique avancée, et
PHY_43033_EP – Physique
statistique, obligatoires.

d. Stage de recherche

Stage de recherche en lien avec le parcours thématique choisi ou avec la physique computationnelle

e. Compétences acquises

Connaissances en physique des plasmas, physique des hautes énergies, physique de la matière condensée ou physique quantique selon le parcours thématique choisi.
Compréhension des principaux algorithmes numériques dans ces domaines ainsi que la capacité à résoudre des problèmes complexes à l'aide de l'informatique.
Connaissance des applications scientifiques de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique.

4A, débouchés et métiers

Formations de 4e année conseillées :
M2 IP Paris :
Les formations conseillées sont celles proposées dans le parcours thématique choisi auxquelles s'ajoutent des formations spécialisées vers la physique computationnelle en France ou à l'étranger :

- Computational Science and Engineering, Computational Physics, etc.

Débouchés

Études doctorales : Formation par et pour la recherche dans les domaines du parcours thématique choisi et dans les domaines de la physique computationnelle.

Corps de l'état, entreprises industrielles, recherche en milieu académique ou industriel (R & D), Start-ups, grands groupes industriels.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Période 1

1 cours obligatoire imposé (le cours souligné) et 1 cours obligatoire au choix dans le parcours thématique choisi :

PARTICULES AUX ÉTOILES

PHY_51001_EP — Relativistic fields and their quantization
PHY_51053_EP — Stellar astrophysics
PHY_51054_EP — Elementary particle physic

PHOTONS ET ATOMES

PHY_51002_EP — Quantum optics: lasers
PHY_51003_EP — Atomic and molecular physics
PHY_51052_EP — Quantum physics of electrons in solids
PHY_51053_EP — Stellar astrophysics

ATOME AU MATÉRIAU

PHY_51052_EP — Quantum physics of electrons in solids
PHY_51002_EP — Quantum optics: lasers
PHY_51057_EP — Soft surfaces

SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES

PHY_51052_EP — Quantum Physics of Electrons in Solids
PHY_51001_EP — Relativistic fields and their quantization
PHY_51002_EP — Quantum Optics: Lasers
PHY_51003_EP — Atomic and molecular physics
MDC_51002_EP — Quantum Information and Computing: Foundations

1 cours obligatoire au choix parmi

MDC_51006_EP — Foundations of Machine Learning
CSC_51054_EP — Machine and Deep Learning

1 EA et/ou un projet avec une composante numérique obligatoire

PHY_51171_EP — Numerical physics
PHY_50P13_EP — Projet de Recherche en Laboratoire
PHY_51175_EP — Statistical mechanics of learning

Période 2

2 cours obligatoires dans le parcours thématique choisi

PARTICULES AUX ÉTOILES

PHY_52061_EP – Perturbative Quantum Field Theory
PHY_52066_EP – Advanced Particle Physics
PHY_52068_EP – General relativity

PHOTONS ET ATOMES

PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter
PHY_52003_EP – Optoelectronics
PHY_52062_EP – Quantum optics: photons
PHY_52069_EP – Physics of plasmas and thermonuclear fusion

ATOME AU MATÉRIAU

PHY_52060_EP – Complex systems
PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter
PHY_52002_EP – Nanomaterials and electronic applications
PHY_52003_EP – Optoelectronics
PHY_52065_EP – Physics of living systems: fluctuations,self-organization and active matter
PHY_52067_EP – Physics of semiconducting devices

SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES

PHY_52062_EP – Quantum optics: photons
PHY_52001_EP – Mesoscopic quantum physics and topological matter
PHY_52067_EP – Physics of semiconducting devices

1 cours obligatoire au choix

APM_52188_EP – Emerging Topics in Machine Learning
CSC_52087_EP – Advanced Deep Learning
APM_52009_EP – Machine Learning for Scientific Computing

1 EA ou projet obligatoire au choix parmi

PHY_52006_EP – Computational and machine learning methods in quantum physics
PHY_52007_EP – Physique computationnelle des plasmas
PHY_52008_EP – Computational high-energy physics
PHY_52180_EP – Quantum information: Entanglement, control and platforms for quantum technologies
PHY_50P13_EP – Projet de Recherche en Laboratoire

➠ Prérequis : avoir suivi PHY_50P13_EP en P1

Période 3

Stage de recherche en lien avec le parcours thématique choisi ou avec la physique computationnelle

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours

Choisir un parcours parmi les 4 dont un cours bleu imposé et choisir le second.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	*(2 cours dont 1 imposé en bleu selon le parcours)*															
1. Particules aux étoiles																
PHY_51001_EP																
PHY_51053_EP																
PHY_51054_EP																
2. Photons et Atomes																
PHY_51002_EP																
PHY_51003_EP																
PHY_51052_EP																
PHY_51053_EP																
3. Atomes aux matériaux																
PHY_51052_EP																
PHY_51002_EP																
PHY_51057_EP																
4. Sciences et technologies quantiques																
PHY_51052_EP																
PHY_51001_EP																
PHY_51002_EP																
PHY_51003_EP*																
MDC_51002_EP																
Plus 1 cours au choix																
MDC_51006_EP			**	**							**					
CSC_51054_EP				***							***					

EA P1	*(1 EA et/ou un PRL avec une composante numérique)*															
PHY_51171_EP																
PHY_51175_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	*(2 cours au choix)*															
1. Particules aux étoiles																
PHY_52061_EP																
PHY_52066_EP																
PHY_52068_EP																
2. Photons et Atomes																
PHY_52001_EP																
PHY_52062_EP																
PHY_52003_EP																
PHY_52069_EP																
3. Atomes aux matériaux																
PHY_52060_EP																
PHY_52001_EP																
PHY_52002_EP																
PHY_52003_EP																
PHY_52065_EP																
PHY_52067_EP																
4. Sciences et technologies quantiques																
PHY_52062_EP																
PHY_52001_EP																
PHY_52067_EP																
1 Cours obligatoire au choix																
APM_52188_EP																
CSC_52087_EP																
APM_52009_EP																

EA P2	*(1 au choix)*															
PHY_52006_EP																
PHY_52007_EP																
PHY_52008_EP																
PHY_52180_EP																

Projet P1 & P2	*Projet à suivre sur les deux périodes*
PHY_50P13_EP	**Projet**



SCIENCE ET DÉFIS DU SPATIAL

Pascal Chabert
pascal.chabert@polytechnique.edu

Contexte

Le spatial est un domaine attractif pour de nombreux étudiants et chercheurs, autant pour sa part de rêve de conquête spatiale et de découvertes scientifiques, que pour son importance économique et stratégique. Ce domaine est en pleine révolution depuis l'apparition de nouveaux acteurs privés (le plus emblématique étant la société SpaceX) et la compétition pour un accès rapide, global et économiquement accessible est féroce. Un nombre impressionnant de start-up est né dans le domaine du « newspace » dans les cinq dernières années et les grandes entreprises du domaine n'ont jamais autant été forcées d'innover pour accompagner la mutation du marché. Sur le plan scientifique, de grandes missions d'exploration du système solaire ont été lancées récemment : la mission Bepi- Colombo partie vers Mercure, ou les missions d'exploration du soleil, Solar Parker Probe et Solar Orbiter, ainsi que de grandes missions d'intérêt fondamental en astrophysique et cosmologie ont fait progresser les connaissances fondamentales de l'univers primordial (*e.g.* Planck).

Les élèves polytechniciens ont depuis longtemps un goût prononcé pour le spatial et le binet AstronautiX est très actif. Pour accompagner les projets spatiaux des élèves, l'École polytechnique s'est dotée d'un Centre Spatial Etudiant dirigé par un ingénieur de recherche à temps plein. Les élèves développent des projets ambitieux dans le cadre des PSC en 2A. Plusieurs PSC récents ont remporté des prix internationaux sur des sujets aussi variés qu'une proposition de nouvelle combinaison d'astronaute ou sur un ballon pour l'exploration de mars. Les élèves ont également réussi l'exploit de mettre sur orbite un satellite de petite taille (Un Cubsat de 2U), baptisé X-Cubsat, qui a terminé sa vie en février 2019 après avoir passé plusieurs mois en orbite basse autour de la terre.

Objectifs

L'objectif du PA « Science et Défis du Spatial » est de proposer un enseignement en 3A pertinent pour des carrières dans le spatial, comme chercheur ou comme cadre dans l'industrie ou les grandes agences spatiales mondiales, mais également une formation par le spatial, valorisable dans tous les domaines scientifiques et industriels. Le PA n'est donc pas exclusivement réservé aux élèves souhaitant d'orienter dans le spatial.

L'enseignement repose sur deux piliers fondamentaux : (i) des cours de haut niveau scientifique en lien fort avec les recherches menées dans le centre de recherche de l'X, et (ii) un enseignement par projet qui s'appuie sur la vitalité du Centre Spatial Étudiant, sur les laboratoires du centre de recherche, et qui bénéficie de nos partenariats. En effet, le PA a été mis en place dans le cadre d'un programme de mécénat d'enseignement financé par des grands industriels du domaine spatial ; Thales Alenia Space, ArianeGroup et maintenant Safran Electronics and Defense. Le programme spatial à l'X bénéficie aussi de partenariats avec le CNES, l'ONERA, et des start-ups du newspace (Share My Space, Exotrail, Thrustme, etc.).
L'année scolaire commence par une semaine de cours intensifs au CNES à Toulouse pour découvrir les grands domaines du spatial et rencontrer des ingénieurs experts du domaine. Cette semaine est aussi l'occasion de créer des liens entre les élèves du PA et de constituer des binômes pour mener dans de bonnes conditions les projets spatiaux PHY_50P14_EP (voir la composition du programme ci-dessous).

Contenu

a. Règles de choix de cours

Le programme d'enseignement est par essence multidisciplinaire en s'appuyant sur des cours proposés par 3 départements de l'X : Physique, Mécanique, Mathématiques Appliquées. Trois cours ont été créés pour les deux périodes d'enseignement ; le cours « Plasmas in Space Science and Technology » en période 1, et les cours « Optimization and Machine Learning for Aerospace System Design » et « Space Missions and Astrophysical Plasmas » en période 2.

b. Règles de panachage

Les cours obligatoires sont PHY_51051_EP en P1 et PHY_52005_EP en P2. L'EA obligatoire est PHY_50P14_EP en P1 et en P2. Les élèves complètent ensuite leur emploi du temps avec la liste des cours ou EA listés ci-dessous. Un panachage est possible avec des cours d'autres PA non listés ci-dessous.

c. Pré-requis

Pas de pré-requis pour les cours listés dans le PA. A vérifier au cas par cas dans les cours en panachage.

d. Stage de recherche

PHY_52901_EP (PHY592B) – Astrophysique Spatiale

Un stage de recherche en France ou à l'étranger. Ce stage peut être effectué dans les universités françaises ou étrangères, les agences spatiales, ou dans l'industrie à condition qu'il soit orienté recherche. Les mécènes de notre programme, Arianegroup et Safran Electronics and Defense (ainsi que Thales Alenia Space, mécène jusqu'en 2024), sélectionnent chaque année quelques stages particulièrement pointus qui sont présentés aux élèves du PA en novembre. Un partenariat privilégié avec l'UC Berkeley fait que des stages seront spécifiquement fléchés pour les élèves du PA, avec deux bourses de 2 000€/mois attribuées aux meilleurs stages/élèves. Nous avons également des contacts privilégiés à Oxford (Astrophysique), Stanford (Propulsion plasma), Princeton (Propulsion et Astrophysique), Université de Tokyo, Australian National University, Imperial College, Von Karman Institute, etc.

Pour financer certains stages à l'étranger, nous attribuerons 3 fellowships exceptionnels de 800 €/mois (4 000 € pour un stage de 5 mois), qui seront sélectionnés sur la motivation de l'élève et l'excellence du stage proposé. Ces fellowships seront financés par l'Académie Spatiale d'Ile de France.

e. Compétences acquises

Les élèves acquièrent des compétences généralistes sur le spatial grâce à la semaine de cours intensifs au CNES en début d'année. Par ailleurs, ils acquièrent des compétences très avancées en physique des plasmas spatiaux, en propulsion électrique, en théorie de l'optimisation et machine learning appliqués aux systèmes spatiaux, et selon leur choix de cours, en mécanique et en astrophysique. Enfin, les élèves acquièrent des compétences dans le travail en autonomie sur un projet spatial qui dure toute l'année.

4A, débouchés et métiers

Le programme s'adresse en priorité aux élèves se destinant à une carrière dans le spatial (recherche académique, agences spatiales internationales, industriels et start-ups). Néanmoins, le caractère fondamental des cours dispensés et la rigueur de la conduite de projets spatiaux dans les EA garantissent une formation de haut niveau valorisable bien au-delà du spatial. Il existe en particulier des liens évidents avec les thématiques environnementales et météorologiques (surveillance de la terre, remote sensing, changement climatique). Les domaines industriels et les start-ups qui font appel au spatial sont en très forte augmentation et avoir une connaissance approfondie des possibilités offertes par les données satellitaires est un plus incontestable.

En France :

Ecoles : le débouché principal et naturel est ISAE-Supaéro. Les cours proposés dans ce parcours sont plus fondamentaux et amont et ils préparent bien à une quatrième année dans cette école. D'autres grandes écoles d'ingénieurs généralistes sont tout à fait envisageables, comme par exemple les Mines de Paris (chaque année des élèves du PA choisissent cette école).

Master : le programme « Science et Défis du Spatial » ouvre bien sûr également sur une 4e année en Master Recherche (M2) au plus haut niveau. On peut citer sans être exhaustif les Masters suivants, orientés physique ou astrophysique ou science du climat :

- Mention Physique, parcours M2 « Physique des Plasmas et de la Fusion », co- habilité par l'École polytechnique.
- Mention « Astronomie et Astrophysique », Master régional Ile de France.
- Mention « Méthodes Physiques en Télédétection », (http://teledetection.lmd.jussieu.fr/mpt/).

A noter également qu'une proportion significative des anciens élèves du PA (débuté seulement en 2019) a intégré le corps de l'armement. En effet, les liens entre défense et espace sont forts notamment après la création récente du CDE (Commandement de l'Espace).

A l'étranger :

Le programme peut également être complété par un Master à l'international, par exemple aux USA. Les universités suivantes ont accueilli des élèves du PA dans les 3 années précédentes : Caltech, GeorgiaTech, Stanford, UC Berkeley, Cambridge, KTH, Polytechnique Montréal, Université de Southampton, Université d'Edimbourg.

Depuis l'année scolaire 2023-2024, nous avons un partenariat privilégié avec l'UC Berkeley. Des stages 3A de la troisième période (voir ci-dessus) seront spécifiquement fléchés pour les élèves du PA et deux bourses d'un montant de 2000 €/mois seront attribuées pour financer les stages. Les candidatures des X du PA en 4A à UC Berkeley seront également regardées avec une attention particulière.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Pré-rentrée :
L'année scolaire commence par une semaine de cours intensifs au CNES à Toulouse pour découvrir les grands domaines du spatial et rencontrer des ingénieurs experts du domaine. Cette année les cours seront dispensés du 7 au 11 septembre 2026.

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P1	(*Obligatoire*)															
PHY_51051_EP																
	(*2 obligatoires au choix*)															
PHY_51053_EP																
PHY_51174_EP																
MEC_51054_EP																
MEC_51052_EP																
APM_51051_EP																
EA P1	(*Obligatoire*)															
PHY_50P14_EP	**Projet**															

Période 1

1 cours obligatoire

PHY_51051_EP – Plasmas in Space Science and technology

2 cours obligatoires au choix
(notez que d'autres choix de cours sont possibles en accord avec le responsable du PA)

PHY_51053_EP – Astrophysique Stellaire

PHY_51174_EP – Cosmologie

MEC_51054_EP – Aérodynamique Compressible

MEC_51052_EP – Méthodes Numériques en Mécanique des Fluides

APM_51051_EP – Systèmes dynamiques pour la modélisation et la simulation des milieux réactifs multi-échelles

1 EA obligatoire

PHY_50P14_EP – Projets Spatiaux

Ces projets sont par binômes et seront encadrés par un tuteur (chercheur ou ingénieur dans l'industrie) et suivis par le responsable du PA. Ils continueront en période 2.

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*Obligatoire*)															
PHY_52005_EP																
	(*2 obligatoires au choix*)															
PHY_52004_EP *																
PHY_52183_EP																
MEC_52060_EP																
MEC_52061_EP																
EA P2	(*Obligatoire*)															
PHY_50P14_EP	**Projet**															

Période 2

1 cours obligatoire

PHY_52005_EP – Optimization and Machine Learning for Aerospace System Design

2 cours obligatoires au choix

PHY_52004_EP – Space Missions and Astrophysical Plasmas ➠ cours fortement recommandé

PHY_52183_EP – Black holes, neutron stars and associated phenomena

MEC_52060_EP – Propulsions

MEC_52061_EP – Interaction Fluides-Structures

1 EA obligatoire

PHY_50P14_EP – Projets Spatiaux

Période 3

PHY_52901_EP – Astrophysique Spatiale



SCIENCES ET DÉFIS DE L'ENVIRONNEMENT

Riwal Plougonven
riwal.plougonven@polytechnique.edu

Contexte

L'intensification des crises écologiques de notre époque, depuis les incendies de forêt catastrophiques et les inondations sans précédent jusqu'au rythme alarmant de la perte de biodiversité, témoignent de l'état de dégradation de la planète. Si l'impact des activités humaines sur l'environnement et la dépendance de nos sociétés aux services écosystémiques sont établis, il existe encore de nombreux questionnements dans le champ des sciences qui s'intéressent à l'environnement. Des interrogations persistent sur la compréhension des interactions entre les variables des processus biochimiques et biophysiques de la planète, ainsi que sur les réponses de multiples acteurs face aux impacts de ces multiples crises écologiques.

Les besoins d'expertise et de recherche scientifique pour éclairer ces thématiques et aider aux processus de décisions sont ainsi aujourd'hui considérables, que ce soit dans les organisations, privées et publiques, qui doivent anticiper les changements à venir, évoluer pour les atténuer, et s'y adapter, ou dans la recherche pour pousser plus loin notre compréhension de systèmes complexes en évolution rapide. Cette expertise doit se fonder sur une formation scientifique réussissant le défi d'être à la fois profonde et interdisciplinaire.

La compréhension des problématiques environnementales implique de multiples disciplines qui doivent pouvoir dialoguer et interagir sur une base scientifique solide, comme l'illustrent par exemple les travaux de groupes comme le GIECC/IPCC (http://www.ipcc.ch) sur le climat ou de l'IPBES (www.ipbes.net/) sur l'état des écosystèmes.

Néanmoins la recherche dans le domaine de l'environnement ou le développement durable reste encore souvent produite sur une base disciplinaire limitant une compréhension de la complexité des interactions au sein de l'environnement, ainsi que les interactions avec les activités humaines.

Objectifs

L'ambition de ce Parcours d'Approfondissement (PA) est d'initier les élèves aux approches scientifiques permettant de comprendre et de modéliser les différentes composantes de la Terre et leurs interactions : climat, biosphère, activités humaines.

L'objectif de ce programme est l'acquisition de compétences diverses et complémentaires pour comprendre et appréhender, la complexité des interactions entre processus biophysiques et biochimiques, ainsi que les interactions entre enjeux environnementaux et activités humaines.

Construit dans une perspective interdisciplinaire, le PA propose des enseignements de neuf départements (Biologie, Chimie, Économie, Mathématiques Appliquées, Management de l'Innovation et Entrepreneuriat, Mécanique, Humanités et Sciences Sociales, Informatique, Physique). Différents choix et trajectoires peuvent être envisagés en fonction des intérêts et le souhait de construire des dominantes. Néanmoins, la richesse du PA est aussi celle de proposer d'explorer les différentes disciplines qui s'intéressent à l'environnement et au développement durable.

Chaque thématique est trop vaste pour être couverte dans son ensemble. Si les enseignants du parcours ont su s'associer pour proposer un éventail de cours couvrant les différents aspects de la Terre, l'interdisciplinarité est au cœur du PA. Cette diversité offre aussi une richesse en matière de méthodes pédagogiques mélangeant cours magistraux, application par projets, travaux pratiques ou encore des visites d'organisations.

La formation proposée dans le PA, l'exposition à ces différents aspects constitue un atout pour démarrer ce voyage d'approfondissement dans les sciences de l'environnement et le développement durable qui pourra se poursuivre dans de d'autres formations, en France ou à l'étranger. Les débouchés peuvent aller de formations spécialisées orientées vers la recherche, à des écoles et des masters interdisciplinaires sur les enjeux environnementaux, de l'ingénierie aux affaires publiques.

Contenu

a. Règles de choix de cours

Pour chacune des périodes P1 (septembre – décembre) et P2 (janvier – mars) les étudiants doivent suivre **3 cours et 1 Enseignement d'Approfondissement (EA)**.

Il est impossible de suivre deux cours dont les amphis sont sur le même créneau ; l'implication de nombreux départements fait qu'il est malheureusement inévitable que certains cours soient proposés sur le même créneau.

Notez que plusieurs cours ou EA sont à effectif limité (numerus clausus). En cas de dépassement de leur capacité d'accueil, les élèves seront admis dans ce cours ou EA en fonction des motivations qu'ils auront exprimées.

b. Règles de panachage

Pour chaque période, 1 panachage (cours ou EA) est possible.

c. Prérequis

Il n'y a pas de prérequis pour le PA SDE dans son ensemble. Certains cours peuvent avoir des pré-requis, nous vous invitons à les vérifier cours par cours, sur le catalogue de cours.

- Pour l'accès aux cours de mécanique, un cours de Mécanique des milieux continus, de Mécanique des fluides ou d'introduction à la Dynamique de l'Atmosphère et des Océans est conseillé.
- Pour les cours d'économie il est souhaitable que les étudiants aient suivi « Introduction à l'analyse économique » ou un équivalent (éléments fondamentaux de micro et de macro-économie).
- Pour le cours – Environmental Economics 2, il est nécessaire d'avoir suivi – Environmental Economics.

d. Suggestions en complément des cours du PA

Séminaires HSS/MIE

- Face à la crise environnementale et climatique : des humanités environnementales ? (HSS_51C21)
- Pratiques de consommation et adaptation aux enjeux contemporains (IME_51S09_EP)
- Quand l'écologie fait débat. L'analyse de controverses appliquée aux enjeux environnementaux (HSS_51S05)
- Project Management (IME_51S05_EP)

Conférences Coriolis (cycle Energy : research & innovation, cycle Ingénieur de demain) (https://www.e4c.ip-paris.fr/#/fr/education/conferences/Coriolis)

Challenge étudiant E4C (https://energy4climate.agorize.com/en)

d. Stage de recherche

Le stage peut être effectué en France ou à l'étranger, dans un laboratoire, une entreprise ou diverses organisations comme organisations internationales, des agences gouvernementales, des ministères, des think tanks, etc. Le point crucial est que l'activité doit être un stage de recherche. Tous les codes de stage sont ouverts au PA (voir une liste des suggestions dans la composition du programme pour la période 3).

e. Compétences acquises

- Développement des compétences techniques sur les enjeux environnementaux et les processus biochimiques et biophysiques de la Terre.
- Application de méthodes de l'ingénieur aux questions environnementales.
- Compréhension des enjeux multidisciplinaires liés au développement durable et l'environnement.

4A, débouchéset métiers

Le PA Sciences pour les défis de l'environnement ouvre la voie à la recherche comme aux métiers de l'ingénieur vers des domaines liés à la biodiversité, à l'environnement, le développement durable et à leur gestion. Voici quelques exemples (non exhaustifs) :

- Corps de l'État.
- Métiers de la recherche & développement en entreprise, ou autre organisation, ainsi qu'en milieu académique.
- Chef de projet.
- Conception et production en entreprise.
- Grands projets et défis technologiques.
- Politiques publiques de gestion de l'environnement et du développement durable.
- Audit ou conseil dans les domaines de l'environnement ou le développement durable.

Les formations ouvertes en 4A sont disponibles dans le catalogue. Voici quelques éléments complémentaires :

Masters M2 co-habilités par l'X ou associés

- WAPE – Water, Air, Pollution and Energy at local and regional scales.
- EEET – Économie de l'environnement de l'énergie et des transports.
- EBE – Écologie, Biodiversité, Evolution.
- MSV – Mathématiques pour les sciences du vivant.
- Mathématiques de la modélisation (Parcours « Mathématiques appliquées aux sciences biologiques et médicales »).
- MIXT – Master Innovation technologique : ingénierie et entreprenariat – parcours PIC, DOCTIS.

L'accès à ces différents M2 nécessite d'ajuster ses choix de cours de manière cohérente par exemple avoir une dominante en économie pour EEET, en mécanique et physique pour WAPE. Des Masters M2 sont possibles dans des établissements avec lesquels l'École polytechnique a signé des accords de double diplôme :

- à Bordeaux 1 en Ecotoxicologie et Chimie de l'Environnement, Biodiversité et écosystèmes continentaux, Géo-ressources et environnement, Océanographie ;
- à Montpellier 2 en Ecologie et biodiversité, Mathématiques bio-statistique, STIC pour l'environnement ;
- à Paris-Sud en Biologie et santé, Environnement, Science de la Terre et de l'Univers ;
- à Strasbourg en Géophysique, géologie et dynamique des systèmes terrestres, Ingénierie et sciences de l'environnement et en chimie verte.

D'autres Masters M2 sont possibles avec Toulouse, Brest, Grenoble, Clermont Ferrand, ou en région parisienne.

Corps de l'état

Les ingénieurs polytechniciens pourront aussi à l'issue de SDE, accéder à :

- Corps des IPEF : 1ère année de formation à l'AgroParisTech (Agronomie et foresterie, Ecologie) ou à l'École des Ponts (domaine Ville, transport, environnement) ; puis 2e année de mastère spécialisé « Politiques et actions publiques pour le développement durable ».
- Corps des Mines (par exemple Mastères spécialisés « Ingénierie et Gestion de l'Environnement » ou « International Environmental Management »).

Autres écoles

- Ponts ParisTech (domaine Ville, transport, environnement),
- ENSTA Paris (Environnement),
- AgroParisTech,
- INSTN,
- ENSEEIHT,
- Mines ParisTech (sol et sous sol, géosciences, MS IGE, Biotechnologie),
- ENSPM, ESPCI ParisTech (Bioingénierie), Chimie ParisTech.

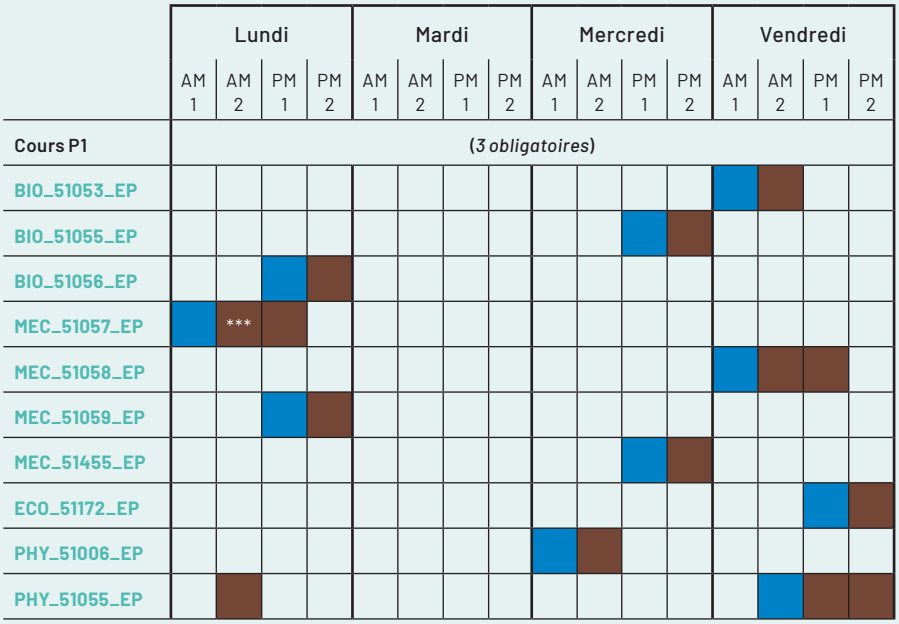
Masters à l'étranger

Plusieurs MSc in Environmental Engineering, Fluid Mechanics, Hydraulic Engineering, Water Management, Transport, Biology à l'étranger. Voici quelques établissements proposant des formations ayant attiré récemment des élèves (voir aussi catalogue des formations de 4A pour une liste complète) :

- Imperial College, Cambridge, EPF Lausanne, ETH Zürich, KTH, TU Delft, U.C. Berkeley, U. Stanford, MIT, Ann Arbor, U. Illinois, U. British Columbia, McGill, U. New South Wales.

COMPOSITION DU PROGRAMME

Code couleur des cases : bleue = amphi/CM, marron = PC, grise = EA.
** = deux groupes font cours



Période 1

3 cours obligatoires au choix

BIO_51053_EP — Biotechnologies pour la médecine et l'agriculture
BIO_51055_EP — Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes
BIO_51056_EP — Genomes: diversity, environment and human health
MEC_51057_EP — Machine Learning for Climate and Energy
MEC_51058_EP — Hydrologie continentale et ressource hydrique
MEC_51059_EP — Mechanics for Wind Energy, an introduction
MEC_51455_EP — Greenhouse gases (GHG): Challenges and observations
ECO_51172_EP — Environmental economics
PHY_51006_EP — Building and using models for the energy transition
PHY_51055_EP — Énergie et Environnement

1 EA obligatoire parmi

MDC_51170_EP — Accompagner les entreprises dans leur transition écologique
MEC_51171_EP — Dynamique du système climatique : problèmes scientifiques et enjeux de société
MEC_51173_EP — Potentiel éolien, solaire et hydraulique : analyse et projets
MEC_51177_EP — Ecoulements environnementaux

COMPOSITION DU PROGRAMME

	Lundi				Mardi				Mercredi				Vendredi			
	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2	AM 1	AM 2	PM 1	PM 2
Cours P2	(*3 obligatoires*)															
APM_52063_EP																
APM_52066_EP														**		
CHE_52062_EP																
CHE_52065_EP																
CHE_52067_EP																
CSC_52069_EP																
ECO_52067_EP																
ECO_52069_EP																
ECO_52189_EP																
MEC_52065_EP																
MEC_52067_EP																
IME_52061_EP																
IME_52065_EP																
IME_52068_EP																

EA P2	(*1 au choix*)															
ECO_52181_EP																
ECO_52185_EP																
HSS_52186_EP																
MEC_52182_EP																
PHY_52185_EP																

Période 2

3 cours obligatoires au choix

APM_52063_EP – Modèles aléatoires en Biologie, Ecologie et Evolution
APM_52066_EP – Statistics in Action
CHE_52062_EP – Sustainable chemistry
CHE_52065_EP – Environmental chemistry
CHE_52067_EP – Chimie au sein des limites planétaires
CSC_52069_EP – Decision theory, with applications to energy systems
ECO_52067_EP – Energy Economicswith a geography focus
ECO_52069_EP – Environmental Economics 2
ECO_52189_EP – Perspectives croisées sur les problématiques environnementales à travers l'étude de territoires
MEC_52065_EP – Météorologie et Environnement
MEC_52067_EP – Hydrodynamique physique pour l'environnement
IME_52061_EP – Eco-conception pour l'innovation soutenable
IME_52065_EP – Towards sustainable business models
IME_52068_EP – Entrepreneuriat pour la durabilité

1 EA obligatoire au choix parmi

ECO_52181_EP – Economics of biodiversity
ECO_52185_EP – Economists facing nature
HSS_52186_EP – L'urbanisme et l'aménagement du territoire, vecteurs d'une société durable
MEC_52182_EP – Our changing water resources: a multidisciplinary challenge
PHY_52185_EP – Travaux expérimentaux en physique de l'environnement

Période 3

Stage de recherche

APM_52992_EP – Modélisation et calcul scientifique
APM_52994_EP – Modélisation probabiliste et statistique
BIO_52991_EP – Biologie et Écologie
ECO_52991_EP – Économie d'entreprise et Microéconomie
ECO_52992_EP – Économie internationale et politique économique
HSS_52901_EP – Systèmes économiques et développement durable
IME_52991_EP – Pilotage et dynamique des organisations

Maquette-impression Centre Poly-*media*

Photos : Getty Images 2026



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
91128 PALAISEAU CEDEX
www.polytechnique.edu