



# SCIENCE ET DÉFIS DU SPATIAL

**Pascal Chabert**  
✉ [pascal.chabert@polytechnique.edu](mailto: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 s'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 2000€/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 4<sup>e</sup> 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 », cohabilité par l'École polytechnique.
- ▶ Mention « Astronomie et Astrophysique », Master régional Ile de France.
- ▶ Mention « Méthodes Physiques en Télé-détection », (<http://teledetection.lmd.jussieu.fr/mpt/>).

A noter également qu'une proportion significative des anciens élèves du PA (début 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 8 au 12 septembre 2025.

## Période 1

### 1 cours obligatoire

**PHY\_51051\_EP** – Plasmas in Space Science and technology

### 2 cours au choix par exemple dans la sélection ci-dessous :

*(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

**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.

## Période 2

### 1 cours obligatoire

**PHY\_52005\_EP** – Optimization and Machine Learning for Aerospace System Design

### 2 cours au choix, par exemple dans la sélection ci-dessous

**PHY\_52004\_EP** – Space Missions and Astrophysical Plasmas

**PHY\_52183\_EP** – Black holes, neutron stars and associated phenomena

**MEC\_52060\_EP** – Propulsions

**MEC\_52061\_EP** – Interaction Fluides-Structures

### 1 EA

**PHY\_50P14\_EP** – Projets Spatiaux

## Période 3

**PHY\_52901\_EP** – Astrophysique Spatiale

◀ cours fortement  
recommandé