



Aéronautique et Espace

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'option "Aéronautique et Espace" est historiquement la plus ancienne des options proposées par l'EPF à ses élèves. En effet, c'est dès 1933 qu'est créée dans notre école une formation en aéronautique, premier lancement d'un vol de longue durée qui se poursuit aujourd'hui encore.

Les objectifs pédagogiques de l'option "Aéronautique et Espace" sont de fournir à nos ingénieurs généralistes des compétences élargies sur l'ensemble des problématiques liées à la conception d'un véhicule aérospatial, avec un accent particulier mis sur ses impacts sur l'environnement et le développement durable.

L'option repose sur des enseignements de base portant sur l'aérodynamique, la mécanique spatiale, les matériaux, le calcul des structures, la propulsion, la mécanique du vol appliqués à la conception de différents types de véhicule : avion, hélicoptère, missile, lanceur, drone, satellite.

Ces enseignements sont illustrés par des bureaux d'études et des projets dont les deux plus importants sont :

- >> **Le projet de conception et de calcul des performances d'un avion de combat,**
- >> **Le projet de conception d'un lanceur de satellites**

A l'issue de cette option, les diplômés ont pu capitaliser sur les sciences de l'ingénieur auxquelles ils ont été formés pour acquérir, avec les techniques, les méthodes et les contraintes caractéristiques d'une démarche professionnalisante, des compétences techniques opérationnelles.

Enfin, les activités internationales de l'EPF permettent la poursuite d'études post-diplôme à l'étranger par un "Master of Science", par exemple à l'Université d'Embry-Riddle (Floride - USA) avec laquelle l'EPF a conclu un accord de double diplôme.

COMPÉTENCES ACQUISES

A l'issue de cette formation, les élèves seront capable de :

- >> **Concevoir un avion et évaluer ses performances**
 - Etre capable de concevoir l'architecture d'un avion selon le cahier des charges
 - Comprendre les processus de construction
 - Savoir choisir les matériaux (métalliques, composites) les mieux appropriés
 - Etre capable de dimensionner et d'assembler les différents éléments
 - Savoir modifier l'aménagement pour obtenir le centrage spécifié dans le cahier des charges
 - Etre capable optimiser la structure en fonction des contraintes économiques et environnementales



Aéronautique et Espace

>> Concevoir un lanceur et évaluer ses performances

- Etre capable de concevoir l'architecture d'un lanceur en fonction de la mission
- Savoir calculer l'étagement, la motorisation, la trajectoire et les performances en optimisant le rendez-vous orbital
- Etre capable d'évaluer les ambiances acoustique et thermique
- Etre capable d'évaluer l'ambiance dynamique (effet Pogo)
- Savoir calculer les trajectoires de rentrée
- Etre capable optimiser la structure en fonction des contraintes économiques et environnementales

>> Savoir pré-dimensionner un moteur et divers aéronefs

- Comprendre les politiques militaires des grands pays
- Comprendre les politiques environnementales européenne et mondiale, et connaître les projets européens de démonstrateurs aérospatiaux devant permettre d'évaluer les idées novatrices
- Etre capable de pré-dimensionner tous types de moteur et d'aéronef (missile, UAV, drone, hélicoptère, satellite) en fonction de la mission assignée et des contraintes extérieures
- Comprendre leurs problématiques de nuisances et connaître les nouveaux concepts ou les innovations envisagés pour les réduire

>> Savoir construire et manager un projet transverse

- Comprendre les défis technique, industriel, marchand, concurrentiel et monétaire de l'industrie aéronautique et spatiale
- Comprendre l'économie du trafic aérien et son impact sur l'industrie aéronautique
- Savoir rédiger un cahier des charges
- Etre capable de construire et de gérer un projet (définition des tâches, édition des plannings, suivi de sa réalisation)
- Etre capable de manager une équipe
- Savoir communiquer et défendre des choix techniques ou organisationnels

>> Agir en professionnel éthique et éco-responsable

- Comprendre les enjeux de l'éthique (personnelle, entreprise, société civile)
- Comprendre les enjeux énergétiques et environnementaux, et leurs impacts industriels
- Savoir intégrer les contraintes réglementaires et environnementales dans les projets
- Savoir prendre en compte les règles de base de l'éco-conception

SECTEURS ET FONCTIONS

>> Les principaux secteurs intéressés par nos ingénieurs sont traditionnellement

- Les grands constructeurs aéronautiques français, européens et mondiaux
- Les sociétés partenaires et les équipementiers des constructeurs aéronautiques
- Les sociétés d'ingénierie et de conseil en technologie
- Les organismes de recherche publics ou privés du secteur aéronautique - spatial - défense
- Les entreprises en charge des problématiques scientifiques et techniques de gestion et d'optimisation du trafic et du transport aérien
- Les compagnies aériennes
- Les entreprises de maintenance aéronautique



Aéronautique et Espace

>> Les ingénieurs EPF issus de cette option sont particulièrement appréciés dans des fonctions de

- Ingénieur de bureau d'études techniques
- Ingénieur en systèmes aéronautiques et spatiaux
- Ingénieur en maintenance aéronautique
- Ingénieur conseil en R&D
- Ingénieur technico-commercial
- Ingénieur manager de projets transverses

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES MODULES DES UNITÉ D'ENSEIGNEMENT

Nom du module	Le code du module	Le nombre d'heures en présentiel.	Nombre d'ECTS associé à l'obtention de ce module	Langue d'enseignement
	- Année (4 = 4A / 5=5A) - Code INF=Informatique MEC=Mécanique PHY=Physique BIO= Biologie SES=Sciences économiques et sociales ENT=organisation industrielle PRO=professionnalisation LAN=langues - Indice		(sur la base de la workload d'un élève moyen)	Fr = français An = Anglais Es = Espagnol Al = Allemand

Par exemple, pour **Économie Générale : 4SES06 / 18H / 1 ECTS / Fr**, il s'agit du cours d'économie générale de 4^{ème} année, dans le domaine des sciences économiques et sociales, d'indice 6. Ce cours dure 18 heures, permet d'obtenir 1 crédit ECTS et est dispensé en français.



Aéronautique et Espace

CONCEPTION AERONAUTIQUE

• Matériaux aéronautiques :

4MEC09 / 15H / 1 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Généralités : matériau idéal et compromis - Aciers : diagramme fer-carbone, traitements thermiques, aciers de qualité aéronautique, propriétés, critères de choix, traitements de surface - Alliages à mémoire de forme : notions et exemples d'applications - Alliages d'aluminium et de magnésium : procédés de fabrication et de transformation, propriétés, critères de choix, alliage aluminium-lithium - Alliages de titane : métallurgie du titane, propriétés, critères de choix, applications aux structures d'avions et aux moteurs - Alliages réfractaires ou superalliages : à bases nickel et cobalt, procédés de mise en oeuvre, critères de choix et exemples d'applications - Matériaux composites organiques, céramiques et métalliques : voies d'élaboration, propriétés, critères d'emploi et exemples d'applications.

• Conception et modélisation CAO/Catia V5 :

4INF16 / 21H / 1,5 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Solides : stratégie de création de formes géométriques, gestions des modifications (optimisation), réalisation de pièces à partir d'un cahier des charges fonctionnel - Surfaces : création de surfaces guidées ou à pôles, réalisation d'une pièce à partir de surfaces hybrides, modifications locales de géométrie, solidifications, obtention de propriétés mécaniques - Assemblage : contraintes d'assemblage, hyperstatisme des montages, pénétrations - Cinématique : gestion des collisions, systèmes assemblés, analyse d'un petit mécanisme - Formules et paramétrage : analyse structurelle par éléments finis.

• Projets éléments finis sous CASTEM 2000 :

4MEC32 / 18H / 1 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Projets éléments finis sous CASTEM 2000.

• Projet avion militaire : conception :

4MEC27 / 21H / 2,5 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis : 4INF16 - 4MEC08 - 4MEC11 - 4MEC12

- >> Introduction : architecture et description de l'avion militaire (visite au musée de l'Air et de l'Espace du Bourget), processus de construction, principales caractéristiques, définition du projet - Calculs préliminaires : dimensionnement de chaque plan porteur, des entrées d'air, de la manche et de la structure de la voilure, calcul du nombre d'attaches de cadres d'attache - Aménagement du fuselage avec CATIA V5 - Calcul du centre de gravité, du foyer et de la marge statique initiaux - Itérations de centrage de l'avion : modifications de l'aménagement pour obtenir le centrage spécifié, vérification des hypothèses initiales, génération du plan 3 vues. Projet encadré par Dassault Aviation.



Aéronautique et Espace

MECANIQUE AEROSPATIALE

• Mécanique du vol :

4MEC11 & 4MEC12 / 30H / 2 ECTS / Fr

Mécanique du vol 1 (12H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Introduction : altitude standard, notion de vitesse - Equations du vol dans le plan vertical - Vol plané - Vol horizontal - Vol en montée - Vol en descente - Facteur de charge - Rayon d'action et endurance - Phases de décollage et d'atterrissage.

Mécanique du vol 2 (18H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Etude des stabilités statiques longitudinale et transversale de l'avion : mise en équations des petits mouvements de l'avion autour de sa position d'équilibre - Caractérisations des modes propres et des mouvements propres longitudinaux et transversaux - Réponses de l'avion aux gouvernes : réponses de types impulsionnel, échelon et fréquentiel - Introduction au contrôle en boucle fermée, contrôle d'assiette, atténuation du lacet - Applications et mini-projet sur stations de travail sous Matlab.

• Aérodynamique fondamentale :

4MEC08 / 21H / 1,5 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Rappels de mécanique des fluides - Installation d'une portance sur un corps - Efforts aérodynamiques globaux sur un corps - La traînée sur l'aile 2D et son optimisation - Ecoulements compressibles I : régimes d'écoulement, nécessité de l'approche thermodynamique, équations du fluide parfait compressible, définition de grandeurs d'arrêt, ondes de choc droites - Ecoulements compressibles II : onde de Mach et choc oblique, ondes de choc obliques, comparaison de chocs faibles - Ecoulements compressibles III : réflexions et intersections d'ondes de choc, introduction à la méthode des caractéristiques.

• Mécanique spatiale :

4MEC13 / 21H / 1 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Orbites de Kepler : gravitation universelle, problème des deux corps, constantes du mouvement, mouvement sur l'orbite, orbite dans l'espace, transferts orbitaux. Constellations : zones accessibles par un satellite, nombre de satellites par plan, nombre de plans d'orbite, taille de la constellation - Satellites géostationnaires : orbite géostationnaire, orbite de transfert et manoeuvre d'apogée, mise à poste, éclipses, durée de vie - Perturbations : équations de Gauss, aplatissement de la Terre, frottement atmosphérique, pression de radiation, perturbation luni-solaire - Satellites défilants : héliosynchronisme, traces au sol, date et direction de lancement, frottement atmosphérique et durée de vie - Voyages interplanétaires : sphères d'influence, coniques juxtaposées, tremplin gravitationnel - Aspects système : heure solaire et éclipses, phasage de l'orbite et zones accessibles, réseau de stations sol et durées de visibilité, coût des manoeuvres de changement d'orbite, lancement des satellites par grappe, mise à poste d'une grappe de satellites.

• Introduction à l'astronautique :

4DIV05 / 9H / 0,5 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Généralités sur les systèmes spatiaux : composition d'un système spatial, missions et trajectoires associées - Grandes catégories de missions : scientifique, balistique, de télécommunication, d'observation de la Terre, de navigation - Budgets spatiaux dans le Monde - Agences spatiales - Bases de lancement.



Aéronautique et Espace

AERODYNAMIQUE - STRUCTURES - ELEMENTS FINIS - HELICOPTERES

• Aérodynamique numérique avec Fluent :

5ME03 / 18H / 2 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis : 4MEC08

- >> Enjeu de la simulation numérique en mécanique des fluides et initiation au mailleur Gambit : réalisation du maillage d'un coude
 - Mécanique numérique des fluides et initiation à Fluent : calcul d'un écoulement visqueux dans le coude - Calculs autour de profils d'ailes : maillage et calcul des caractéristiques aérodynamiques d'un profil NACA - Projet à réaliser par les étudiants : maillage et résolution des équations de Navier-Stokes autour d'un profil d'aile 2D de type NACA et comparaison calcul-expérience des polaires obtenues.

• Structures aéronautiques :

5ME01 / 33H / 2 ECTS / Fr

Aéroélasticité théorique (12H) : 4MEC08

Pré-requis et co-requis :

- >> Bases de l'aéroélasticité : élasticités statique et dynamique - Dynamique des structures : approche théorique et identification expérimentale - Aérodynamique instationnaire : écoulements subsonique, transsonique, supersonique et aérodynamique quasi stationnaire - Couplage fluide-structure : équation du système couplé, résolution dans les domaines fréquentiel et temporel, analyse du "flutter" non linéaire - Essais aéroélastiques : maquette pression, maquette de similitude, essais en vol.

Aéroélasticité expérimentale (3H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Généralités, aspects théoriques - Essais de vibrations au sol - Essais aéroélastiques en soufflerie - Essais de vibrations en vol, ouverture du domaine de vol.

Matériaux composites (18H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Définition et comparaison des différentes matrices et fibres (fibres de carbone, de verre ou céramique et matrices organique, métallique ou céramique), architecture et procédés de fabrication (matériau stratifié d'unidirectionnels, composite tissé, et matériau sandwich), matériaux composites dans l'industrie aéronautique (A380 - B787) et avantages et limitations des matériaux composites - Bases du dimensionnement des structures composites : concepts d'élasticité linéaire anisotrope et notions sur les lois non linéaire anisotropes (viscoélasticité, endommagement,...), méthodes de changement d'échelles et critères de rupture - Mini projet : réalisation d'un outil simplifié de dimensionnement de plaques composites stratifiées permettant d'évaluer la maîtrise des différents concepts abordés durant le cours.

• Approche stratégique de la construction aéronautique commerciale :

5ME12 / 9H / 1 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Pour répondre à une demande toujours forte de transport au cours du XXIème siècle, la progression du trafic aérien se poursuivra encore à un rythme soutenu. Pour maintenir une position acquise de haute lutte à la fin des années 2000, la construction aéronautique civile européenne devra surmonter un certain nombre de défis : le défi marchand (développement du trafic et du transport aérien), le défi technique, le défi énergétique, le défi environnemental, le défi industriel, le défi concurrentiel et le défi monétaire.



Aéronautique et Espace

• Hélicoptères :

5ME02 / 21H / 2 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Mécanique générale de l'hélicoptère : introduction, rotor principal, rotor de queue - Théorie de Froude : généralités, différents régimes de fonctionnement du rotor, applications au vol vertical et au vol de translation - Théorie de l'élément de pale : vol stationnaire et vol d'avancement - Bilan de puissance global - Méthodes avancées pour l'aérodynamique : modèle de sillage, couplage aéromécanique, méthodes CFD - Influence de la souplesse de pale : équation de Lagrange, calcul des modes propres, comparaison de calculs pale souple/pale rigide - Aéro-acoustique des hélicoptères : sources de bruit, bruit BVI, bruit BWI - Domaines de recherche : amélioration des méthodes de prévision, aérodynamique, contrôle des écoulements, optimisation de forme, nouveaux concepts. Visite Hélicap.

PROPULSION - SYSTEMES AVIONIQUES - MISSILES/DRONES - NAVIGATION/GUIDAGE/PILOTAGE

• Propulsion aéronautique :

5ME04 / 21H / 2 ECTS / Fr & An

Propulsion aéronautique (18H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Introduction historique - Notion de rendement propulsif et voies d'améliorations : UHBR (Ultra High Bypass Ratio), Open Rotor, Geared Turbofan, etc. - Différents types de propulsion - Rappels d'aérodynamique et de thermodynamique - Applications sur moteurs civils ou militaires, simple ou double flux (bilan de dynalpie). Etude du cycle de Brayton-Joules et applications - Etude des mécanismes généraux : équations d'Euler, triangle des vitesses, équilibre radial - Critères dimensionnants pour compresseurs et turbines - Aérodynamique illustrée à l'aide de résultats CFD.

Innovations internationales (3H)

Pré-requis et co-requis :

- >> Moteurs pour demain. Moteurs pour le futur.

• Ingénierie systèmes (commandes de vol) :

5ME06 / 6H / 0 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Commandes de vol : définition, utilité, axes de contrôle - Constituants : contrôle, organes de commande, actionneurs, énergies, contrôleurs (pilote, calculateurs) - Types d'architecture : distribuée, centralisée - Types de capteurs et utilité (navigation, pilotage) - Contrôle automatique du vol (amortisseurs, stabilisateurs, AutoPilot, Autothrust) - Contraintes : certification, environnement, aérodynamiques, qualités de vol, opérationnelles - Etapes de la spécification - Choix de la juste architecture.



Aéronautique et Espace

• Economie du transport aérien :

5ME16 / 21H / 2 ECTS / An

Pré-requis et co-requis :

- >> Indicateurs et marchés : acteurs (compagnies, administrations, institutionnels), définition des indicateurs économiques (PKT, RPK, CR,...), principes de base sur la distribution et le Revenu. Management, tendances d'évolution des produits sol et vol, situation globale de l'industrie, analyse des trois principaux marchés (Europe, Amériques, Asie) et acteurs (British Airways, Lufthansa, Iberia, Alitalia, Air France-KLM, EasyJet, Ryanair, Emirates, US et Asie), 6 enjeux futurs - Modèles économiques : 'Major' et 'Low Cost', différents modèles de hub, modèle des Business Jets - Exploitation aérienne : acteurs de la touchée, maîtriser un coût de touchée, étude de cas en classe (modèles SWOT et 5 forces de Porter) - Enjeux économiques et industriels de la maintenance : environnement, acteurs et stratégies, programmes de maintenance, innovations et mesure de la performance, découpage des coûts / TCO, indicateurs économiques de pilotage d'activité - Economie de l'industrie aéronautique : principaux acteurs (avionneurs, équipementiers), schémas de sous-traitance, programme de développement, Concurrent Engineering et gestion de production, métiers du transport aérien.

• Conduite de grands projets :

5ME14 - 5ME15 - 5ME19 - 5ME20 / 15H / 0 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Grands projets européens - Projets Rafale, Falcon 7X et avion d'affaires supersonique (Dassault Aviation).

• Missiles et drones :

5ME07 / 18H / 2 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Généralités sur les missiles : utilisations, systèmes stratégiques, principaux programmes de missiles tactiques européens, industrie européenne, prolifération, défense anti-missiles - Caractéristiques techniques des missiles : propulsion, aérodynamique et pilotage, guidage, avec réalisation d'un mini projet - Généralités sur les drones (UAV et UCAV) : différentes catégories, missions militaires et concepts d'emploi, applications civiles, principales technologies utilisées pour les UAV et UCAV.

• Navigation / Guidage / Pilotage :

5ME06 / 18H / 2 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Différents systèmes de navigation - Rôle du guidage d'un lanceur - Guidage en rentrée : applications à Ariane 4 et Ariane 5 - Guidage en rendez-vous : application à l'ATV - Pilotage : rappels d'automatique - Elaboration des lois de pilotage : cahier des charges, synthèses "simplifiée", LQG et H_∞ , loi 3 axes - Prise en compte du modèle complet - Impact des modes souples et de l'aéroélasticité.

PROJET AVION MILITAIRE (PERFORMANCES)

• Projet avion militaire (performances) :

5ME10 / 15H / 6 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis : 4MEC27 - 4MEC8 - 4MEC11 - 4MEC12

- >> Bases de calculs aérodynamiques : bilan de portance, bilan de traînée, performances aux basses vitesses - Performances aux grandes vitesses : domaine de vol, marges et limites de manoeuvre, poussée et traînée, vitesses ascensionnelles totales, règles d'utilisation du logiciel de performances Perfo2000, accélération supersonique, règle de calcul de la mission (consommation, rayon d'action), équilibrage de la mission, étude d'influences. Projet encadré par Dassault Aviation.



PROJET LANCEUR DE SATELLITES

• Projet lanceur de satellites :

5ME11 & 5ME21 / 78H / 8 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Problèmes liés à la conception des lanceurs, étagement, trajectoires et performances - Efforts généraux - Méthodes d'optimisation : optimisation fonctionnelle et optimisation paramétrique, application aux trajectoires spatiales : lien optimisation / guidage, formulation du problème - Architecture des lanceurs - Acoustique - Ambiances dynamiques et effet Pogo - Thermique - Aérodynamique des lanceurs et aérologie - Rendez-vous orbital - Trajectoires de rentrée. Compléments sur l'utilisation du logiciel Matlab - Projet encadré par EADS Astrium.

• Conception et environnement satellites :

5ME09 / 18H / 1 ECTS / Fr

Pré-requis et co-requis :

- >> Architecture mécanique et structure des satellites : critères de dimensionnement des satellites, principes de conception de structure, les matériaux spatiaux - Environnement des satellites : le vide, la micro gravité, la température, le dégazage et la contamination, le soleil, la magnétosphère terrestre, les ceintures de radiation terrestre, les rayonnements, les effets de l'interaction entre l'environnement ionisé et les satellites, l'oxygène atomique, les météorites et les débris.

Contact / Responsable de l'option

Odile TISSIER, 01 41 13 29 60, odile.tissier@epf.fr