

Ingénieurs ISAE-SUPAERO

Programme 2017-2018

Troisième année



TABLE DES MATIÈRES

Structuration de la Troisième année.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS	7
Langue Vivante 1 – Anglais	8
Langue Vivante 2	9
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE11	
Gestion de Projet	12
Sûreté de fonctionnement	13
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRENEURIAT ..	14
Projet ingénierie et entrepreneuriat.....	15
DOMAINES D'APPLICATION	17
Conception et opérations des aéronefs.....	18
Conception et opérations des aéronefs (COA)	18
Tronc Commun	19
Architecture des Avions.....	19
Conception des Hélicoptères	20
Propulsion aéronautique	20
Avion plus électriques.....	21
Neuro-Ergonomie	21
Modélisation de Systèmes Complexes et Simulation	22
Modélisation de Systèmes Complexes et Simulation (MSXS)	22
Modélisation Multi-physique et Multi-échelle	23
Calcul Haute performance	23
Méthodes numériques de l'ingénieur	24
EDP avancées	24
Optimisation Multidisciplinaire, Problèmes Inverses et Propagation d'Incertitudes	25
Systèmes Autonomes: Robots, Drones et Missiles	26
Systèmes embarqués: Conception, Modélisation et Architecture	27
Perception et Navigation	27
Décision et action délibérée	28
Parcours Robotique	28
Parcours Drones	29
Parcours Missiles	29
Conception et opérations des systèmes spatiaux (COS)	30
Méthodes d'optimisation appliquées au domaine spatial	31
Environnement spatial et sûreté de fonctionnement des systèmes spatiaux	31
Systèmes spatiaux et environnement économique et réglementaire	32
Conception et opérations des systèmes de transport spatial	32
Aérodynamique hypersonique	33
Propulsion spatiale chimique et électrique	33
Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux	34
Missions et performances pour les applications spatiales	34
Énergie, Transport et Environnement	36
Énergie, Transport et Environnement (ETE).....	36
Énergie et climat.....	37
Économie et énergie	37
Énergies et Réseaux	38
Étude de Cas en optimisation.....	38
Transport et Intermodalité	39
FILIÈRES D'EXPERTISE	41
Structure et Matériaux (SM).....	42
Modélisation du Comportement Thermo-Mécanique des Matériaux	43
Calculs de structures par la méthode des éléments finis.....	43
Dimensionnement des structures composites	44
Dynamique des structures.....	44
Introduction aux charges et structures des aéronefs	45
Modélisation numérique du comportement des matériaux composites	46
Optimisation de structures et multidisciplinaire	47

Vulnérabilité des structures en dynamique transitoire non linéaire	47
Durabilité des matériaux	48
Procédés de fabrication avancés	49
Matériaux spéciaux et thermiques	49
Dimensionnement des structures d'aéronefs	50
Structure des satellites	50
Projet de conception.....	51
Sciences de la décision	52
Sciences de la Décision (SD)	52
Fondements théoriques de la décision	53
Data Mining	54
Algorithms in Machine Learning	55
Outils du Big Data	56
Économie Numérique et Utilisation des Données	56
Cas d'étude	57
Supply Chain Management	58
Modélisation et simulation des systèmes de production	58
Production	59
Qualité et système d'information	60
Finance	61
Mathématiques financières	62
Finance et marchés	63
Dynamique des fluides (DF).....	64
Dynamique des fluides avancée et multiphysique	65
Turbulence et simulation numérique	65
Aérodynamique des avions, des missiles et des lanceurs	66
Aérodynamique des rotors	66
Analyse des écoulements complexes et optimisation aérodynamique.....	67
Étude de cas en conception	67
Aérodynamique des turbomachines	68
Combustion et Écoulements Diphasiques	69
Signaux et systèmes	70
Signaux et Systèmes (SISY)	70
Estimation	71
Circuits et antennes micro-ondes.....	71
Antenne Signal	72
Circuits et antennes micro-ondes.....	72
Titre du module	73
Traitement d'antennes.....	73
Représentation et analyses des systèmes dynamiques	74
Modélisation signaux et systèmes dynamiques....	75
Commandes des systèmes.....	75
Acquisition et traitement d'images.....	76
Analyse et traitement d'images.....	76
Techniques avancées en traitement d'images.....	77
Système de capture d'images	77
Automatique et applications	78
Systèmes de décision.....	78
Implantation des lois de commandes.....	79
Application et études de cas	79
informatique, télécommunication et réseau.....	80
Architecture informatique et réseaux	81
Sécurité des systèmes informatiques et réseaux	81
Systèmes Temps Réel	82
Ingénierie Dirigée par les Modèles.....	83
Systèmes Distribués	84
Séminaires.....	84
Communications numériques.....	85
Systèmes spatiaux.....	85
Communication par satellites pour les mobiles et l'aéronautique	86
Internet et services multimédia par satellites	86
Constellations pour les communications et la navigation	87
Observation de la terre et sciences de l'univers.....	88
Physique de la mesure et instrumentation associée	89
Analyse et traitement des mesures	89
Architecture des missions scientifiques spatiales	90
Planétologie et gravimétrie.....	90
Astrophysique	91
Mécanique céleste avancée	91
Astrophysique extragalactique et cosmologie	91
Physique stellaire.....	91
Gravitation	92
Ingénierie de l'observation	92
Fondamentaux des Sciences de la Terre	93
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	94

STRUCTURATION DE LA TROISIÈME ANNÉE

semestre 5	semestre 6
Domaine d'application	Stage de Fin d'Études
Filière d'expertise	
Projet Ingénierie Entrepreneuriat	
Tronc commun Humanités	
Tronc com. Ingénierie et entreprise	





TRONC COMMUN HUMANITÉS

Langue Vivante 1 – Anglais	8
Langue Vivante 2	9

LANGUE VIVANTE 1 – ANGLAIS

Course Director: Anne O'MAHONEY

LV1

INTRODUCTION

It is commonly accepted that English is the language of international business and industry. It is also the language of worldwide academic research and the language of entertainment. So we can safely say that no matter what your goal in life, you'll use it! In your final year at ISAE Supaero, you have forty hours of English divided into two distinct modules of twenty hours each. Classes run for 16 weeks on Monday mornings from October to February.

ELECTIVE : 20 HOURS

OR

ENGLISH RESEARCH PROJECT

During the first twenty hours students choose an **elective** class. We believe that you all have both the level and the background knowledge to participate actively in the twenty or so English elective classes proposed by the team. These electives are not only language focused, they are also content based. Our objective is to encourage you to choose a class where you will practice your communication skills whilst simultaneously acquiring a deeper cultural awareness of the English speaking world. The English elective module runs for the first eight weeks on Monday mornings from October to December. We offer a diverse choice of classes given by professionals from all walks of life. Courses include :

- ➔ Short Stories with Suspense
- ➔ The Art of Improvisation
- ➔ The Other Side of America
- ➔ Keep on Rocking
- ➔ Effective Team Management
- ➔ How Stuff Works
- ➔ Talking about Tech
- ➔ Heated Discussions

ASSESSMENT

Your active participation is always welcome ! More details from the different Elective Teachers.



SCIENCE TRACK: 20 HOURS

From December through February, the English language team and the Science professors collaborate and put together the programme you will follow. Each student has 20 hours of English, linked to the 'filière' or track he or she has chosen. Depending on your subjects (mechanics, fluid dynamics, decision science...) you will have a programme adapted to your needs.

ASSESSMENT:

Your active participation. More details from the different 'Filière' English language Teachers.

Projects are open to all final year students who have obtained 620 points (or equivalent C1 level) or more in an International Test (TOEFL, Cambridge Proficiency, the Diploma of Business English, TOEIC...) and can prove a very high standard of both written and oral English. This level will then be certified by a member of the English department at ISAE Supaero. The project also needs a substantial degree of motivation and interest in the research topic as it will replace your 40 hours of classes and you will be working on it from October to March. You do not attend classes apart from a 3 hour Research Presentations module in February.

If it is agreed that you can do a project, you will be required to then submit a typed description of your research theme with some notes on your proposed bibliography.

The Project is a written research paper in English on a subject of your choice. It should contain 20000 words (approx.) and must be based on personal research. This will include an abstract with key words, a table of contents, the body of the text, including any footnotes and illustrations, and a complete bibliography. Your paper should comply with international research paper standards.

Each project student has a Tutor whose role is to accompany you in your research. There is also a 45-minute final presentation of your work (20 minutes presentation, 10 minutes questions and 15 minutes discussion and feedback) before two jury members, one of them being your Tutor.

More details will be given to the those students who are qualified and interested.

LANGUE VIVANTE 2

Responsables: A. GAMISANS / D. VILAINE

LV2

L'objectif est de perfectionner son niveau dans une deuxième langue vivante.

Le caractère international des échanges à tous les niveaux impose aux scientifiques une solide connaissance des langues étrangères et en particulier de l'anglais, qui est l'outil de communication le plus fréquemment utilisé aujourd'hui dans le monde scientifique, technique et commercial.

L'anglais est indispensable, mais dans un contexte d'échanges européens et mondiaux, l'élève doit continuer ou commencer l'étude d'au moins une autre langue dès son arrivée à l'ISAE, ne serait-ce que pour se placer à l'écoute de ses futurs homologues étrangers, s'imprégner de leur culture et profiter de toute la richesse de véritables échanges. C'est pourquoi une deuxième langue est obligatoire et l'étude d'une autre langue est possible et même conseillée.

Le module de découverte de Langue des Signes est systématiquement proposé aux élèves ayant déjà un très bon niveau dans une LV2.

Le volume horaire du module est de 20 heures à raison de 2 heures par semaine sur 10 semaines entre octobre et janvier le lundi de 17h30 à 19h30.

Langues proposées en LV2 en 3A

- ➔ l'allemand
- ➔ l'arabe
- ➔ le chinois
- ➔ l'espagnol
- ➔ le Français Langue Étrangère (pour les élèves non francophones)
- ➔ l'italien
- ➔ le japonais
- ➔ la Langue des Signes Française
- ➔ le portugais
- ➔ le russe

ÉVALUATION

L'évaluation se fait par contrôle continu.





TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE

Gestion de Projet	12
Sûreté de fonctionnement	13

GESTION DE PROJET

Responsable : Rob VINGERHOEDS

TCIE-302

L'objectif de ce cours est de préparer l'étudiant à la gestion de projet, partie intégrante du travail d'un ingénieur.

Pour le programme en troisième année, le but est le savoir-faire de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- ➔ comprendre la gestion de projet pour des projets complexes
- ➔ savoir identifier et maîtriser les risques d'un projet,
- ➔ comprendre l'importance d'un Plan Qualité,
- ➔ savoir motiver une équipe projet.

**OBJECTIFS GLOBAUX
CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES**

Le module de Gestion de Projet s'étale sur les trois années du cycle d'ingénieur avec les objectifs suivants

- ➔ **Première année « L'ingénieur dans son environnement » ;**

Le but de la première année est d'acquérir les bases de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- se familiariser avec le vocabulaire de la Gestion de Projet,
- comprendre les étapes (jalons) de réalisation d'un projet,
- connaître les livrables attendus à chaque jalon,
- connaître les outils de planification d'un projet,
- suivi des projets.

- ➔ **Deuxième année « Les moteurs de l'Ingénierie » ;**

Le but de la deuxième année est d'approfondir les connaissances de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- approfondir les bases pour des situations réelles,
- être sensibilisé au monde de l'entreprise, comprendre les mécanismes financiers et économiques, savoir construire un Business Plan
- maîtrise des risques
- cadrer des projets et prise d'engagement,
- piloter des projets.

- ➔ **Troisième année « Etre autonome dans son rôle d'ingénieur » ;**

Le but de la troisième année est le savoir-faire de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- comprendre la gestion de projet pour des projets complexes

- savoir identifier et maîtriser les risques d'un projet,
- comprendre l'importance d'un Plan Qualité,
- savoir motiver une équipe projet.

Le fil rouge retenu vise à progresser de la première année avec une acquisition des bases, via un approfondissement en deuxième année, vers un vrai savoir-faire en troisième année. Les matières seront enseignées avec une profondeur incrémentale.

L'approche pédagogique choisie alterne cours et petites classes pour apporter à l'étudiant un certain niveau d'interactivité dans sa participation. Les 54 heures allouées à cette formation se décomposent comme suit :

- ➔ Première année 18h (6h cours + 12h petites classes)
- ➔ Deuxième année 18h (12h cours + 6h petites classes)
- ➔ Troisième année 19h (en 2016-17 : 13h cours + 6h petites classes)

EVALUATION

Le module est évalué par les TD's « Optimisation de planning » et « Démarche Qualité ».

BIBLIOGRAPHIE

Project Management for Engineering, Business and Technology, Nicholas, John M., 2011
Project Management, Kerzner, Harold R., 2013
Conduite de Projets Complexes, Roy, Etienne, et Vernerey, Guy, 2010

SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

Responsable : Jean-Charles CHAUDEMAR

TCIE-301

L'objectif de ce module est double. Il permet d'aborder une composante de l'ingénierie système relative à la sûreté de fonctionnement (SdF) du système. L'enjeu est de faire comprendre aux étudiants de la défaillance et ses effets sont intrinsèques à tout système, il est alors judicieux de s'en inquiéter très en amont lors de la conception. Le second objectif est de montrer des techniques et méthodes utilisées dans le cadre de l'analyse et l'évaluation de SdF.

**OBJECTIFS GLOBAUX
CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES**

- ➔ **Partie 1 : introduction à l'ingénierie relative à la SdF**
 - enjeux de cette ingénierie
 - définitions et terminologies en SdF
 - gestion des risques
 - processus de l'ingénierie des risques systèmes, conception, mise en œuvre, V&V
 - évaluation des probabilités en SdF

- ➔ **Partie 2 : modélisation en SdF**

- modélisation de systèmes non réparables
- modélisation de systèmes réparables
- outils et méthodes statistiques

La répartition des cours correspond à 5h de cours en amphithéâtre (duplex) imbriquant 5h de PC, avec QCM en fin de PC.

ÉVALUATION

Le module est évalué par un test écrit sous forme de QCM





PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRENEURIAT

5
ECTS
80 h

|| 3^e année | S5 ||

PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRENEURIAT

Responsable: Rob VINGERHOEDS
PIE-301

L'objectif de ce projet est d'effectuer un travail en équipe sur un sujet réel d'ingénierie, les sujets provenant des donneurs d'ordre extérieur.

Le but est non seulement d'avancer ce sujet, mais également d'être confronté avec une situation réel, industriel, dans laquelle l'organisation du travail, la gestion du projet, le contact avec les donneurs d'ordre, etc. sont clé.

OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPETENCES

Les Projets Ingénierie et Entrepreneuriat se déroulent dans le cadre des enseignements du tronc commun Ingénierie et Entreprise. Étant positionnés en troisième année, ces projets visent à mettre en application toutes les connaissances acquises notamment dans le cadre des enseignements scientifiques et du tronc commun ingénierie et entreprise, qui englobent les techniques de l'ingénierie système, le management stratégique et la gestion de projet.

L'objectif pédagogique étant double (scientifique et organisationnel), les étudiants sont encadrés par un responsable pédagogique technique, porteur du projet et par un tuteur en gestion de projet.

Les sujets de projet sont pluridisciplinaires, des sujets d'ingénierie (c.-à-d. pas de sujets de recherche), qui nécessitent un travail de groupe d'à peu près 5 à 6 étudiants, ce qui peut inclure des pré-développements, des développement avancés voire des composantes recherche.

L'essentiel de ces projets ont un donneur d'ordre (industrie, des collectivités, un autre laboratoire, ...), et le but de ce projet est donc également de permet aux étudiants de se familiariser avec l'organisation du travail, prise et garder contact avec les donneurs d'ordre, tuteurs, etc.

Quelques exemples de sujets des années précédentes :

- intégration d'une turbomachine au sein d'un four solaire,
- optimisation environnementale et économique de routes aériennes,

- étude d'une mission vers les astéroïdes,
- interface homme-machine pour la commande d'un drone,
- exploration de nouvelles configurations avions...

EVALUATION

La note des projets PIE se composent de quatre parties :

- Une note pour le travail effectué, 25%.
- Une note pour les livrables (y incluant le rapport), 25%.
- Une note pour la soutenance (présentation et questions/réponses), 25%.
- Une note pour la partie gestion de projet, 25%.



DOMAINES D'APPLICATION

Conception et opérations des aéronefs (COA)	18
Tronc Commun	19
Architecture des Avions	19
Conception des Hélicoptères	20
Propulsion aéronautique	20
Avion plus électriques	21
Neuro-Ergonomie.....	21
Modélisation de Systèmes Complexes et Simulation.....	22
Modélisation de Systèmes Complexes et Simulation (MSXS)	22
Modélisation Multi-physique et Multi-échelle	23
Calcul Haute performance	23
Méthodes numériques de l'ingénieur	24
EDP avancées	24
Optimisation Multidisciplinaire, Problèmes Inverses et Propagation d'Incertitudes	25
Systèmes Autonomes: Robots, Drones et Missiles	26
Systèmes embarqués: Conception, Modélisation et Architecture	27
Perception et Navigation	27
Décision et action délibérée	28
Parcours Robotique	28
Parcours Drones	29
Parcours Missiles	29
Conception et opérations des systèmes spatiaux (COS)	30
Méthodes d'optimisation appliquées au domaine spatial	31
Environnement spatial et sûreté de fonctionnement des systèmes spatiaux	31
Systèmes spatiaux et environnement économique et réglementaire	32
Conception et opérations des systèmes de transport spatial	32
Aérodynamique hypersonique	33
Propulsion spatiale chimique et électrique	33
Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux	34
Missions et performances pour les applications spatiales	34
Énergie, Transport et Environnement.....	36
Énergie, Transport et Environnement (ETE)	36
énergie et climat.....	37
économie et énergie	37
énergies et Réseaux	38
étude de Cas en optimisation.....	38
Transport et Intermodalité	39

DOMAINE
**CONCEPTION ET OPÉRATIONS
DES AÉRONEFS (COA)**

Responsable : Xavier CARBONNEAU

L'objectif principal du domaine est de former des ingénieurs disposant d'une vision globale de l'architecture et de l'opérabilité des aéronefs civils et militaires. Les verrous scientifiques multidisciplinaires conduisant à proposer des concepts innovants seront présentés en s'appuyant sur l'analyse de ces systèmes, de leurs contraintes (opérationnelles, économiques, réglementaires, sociétales...) et de l'impact des évolutions technologiques sur les performances. Chacun des cinq blocs amène des compétences complémentaires dans les sous-domaines concernés. Ainsi, « systèmes de propulsion aéronautique » donne une vision multidisciplinaire du moteur (aérodynamique, mécanique, matériau, régulation, intégration...). « Aéronefs plus électriques » s'inscrit dans la compréhension et l'analyse des différentes sources d'énergie à bord, cibles d'une électrification croissante des aéronefs. Enfin, les notions d'architecture globale, en lien avec la spécificité des missions, propres à « l'avion » et à « l'hélicoptère », seront abordées en parallèle dans deux sous-domaines distincts.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Le domaine permettra de connaître et comprendre des concepts clés de l'ingénierie et de son contexte pluridisciplinaire. Ainsi plusieurs compétences spécifiques sont visées :

- ➔ comprendre le domaine d'application et les limites de moyens retenus ;
- ➔ choisir, exploiter et mettre en œuvre les bons moyens, outils et méthodes ;
- ➔ sensibiliser aux impacts sociétaux et environnements des travaux menés ;
- ➔ sensibiliser à quelques questions de recherche ;
- ➔ faire une analyse critique des résultats d'une investigation.

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine comprend un tronc commun et cinq modules répartis en deux séquences. L'étudiant choisit un module par séquence

Tronc commun	
<p>Séquence 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Architectures avions ➔ Conception des hélicoptères 	<p>Séquence 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Propulsion aéronautique ➔ Aéronefs plus électriques ➔ Neuro-ergonomie

TRONC COMMUN

Responsable : Xavier CARBONNEAU

D-COA301

OBJECTIFS

Donner aux étudiants les bases indispensables quant aux enjeux industriels dans le domaine de la conception et l'opération des aéronefs. Avoir une vision d'ensemble de la stratégie de développement des aéronefs, de leurs systèmes et sous-systèmes et de leur opérabilité sur toute leur durée de vie.

Une part significative est consacrée à des cours en lien direct avec les grands enjeux technologiques et sociétaux autour de l'avion, l'hélicoptère et la propulsion.

PROGRAMME

Stratégie de développement des avions civils, Introduction générale à l'hélicoptère, avion militaire, systèmes et sous-systèmes avion, missions, cycle de vie, fiabilité, maintenance, électrification croissante des avions, état de l'art de la propulsion aéronautique, navigabilité, conduite de vol et facteurs humains.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par une note d'examen.

ARCHITECTURE DES AVIONS

Responsable : Emmanuel BÉNARD

D-COA305

OBJECTIFS

Montrer comment à partir d'une définition des besoins, les différentes disciplines en amont concourant à concevoir un avion sont mises en œuvre et interagissent. Décrire de façon détaillée l'architecture matérielle de la structure d'un avion et la motivation des différents choix technologiques possibles en abordant notamment des notions d'aérodynamiques et d'aéroélasticité. Présenter le cycle de vie d'un programme, les problématiques liées à sa gestion, l'impact sur la conception des contraintes, les objectifs de production et de maintenance.

PROGRAMME

- ➔ Conception des avions subsoniques (aérodynamique, intégration motrice, conception structurale, performances et qualités de vol)
- ➔ Fonctions de pilotage et navigation (conduite des avions civils modernes, lois de pilotage, navigation et gestion du vol, dimensionnement et architecture des actionneurs)

- ➔ Structures (dimensionnement, fabrication, réparation, essais, navigabilité)
- ➔ Concevoir pour produire (production aéronautique, gestion industrielle de production et robotique, assemblage final, séquençement et cadences)

ÉVALUATIONS

Deux notes de BE et une note d'examen.

CONCEPTION DES HÉLICOPTÈRES

D-COA306

Responsable : Rémy CHIERAGATTI

OBJECTIFS

Analyser les phénomènes physiques essentiels régissant le vol des hélicoptères (aérodynamique, aéroacoustique, mécanique du vol) et la capacité d'appréhender leur impact sur les performances et les qualités de vol au moyen de modèles simples.

PROGRAMME

- ➔ Aéromécanique et systèmes des hélicoptères
 - Aérodynamique de la cellule et des rotors ;
 - Préviation des performances ;
 - Aéroacoustique des rotors, bruit d'hélicoptère ;
 - Equilibre rotor et appareil complet, commande du vol ;
 - Critères de comportement dynamique et de pilotabilité ;
 - Systèmes : intégration sur hélicoptères, interface homme-machine, méthodes de développement, illustration sur quelques systèmes particuliers.

- ➔ Structure et mécanique des hélicoptères
 - Analyse du comportement dynamique, stabilité dynamique et contrôle des vibrations ;
 - Technologies intervenant dans la conception du véhicule hélicoptère : cellule, pales, moyeux, commande de vol ;
 - Architecture et conception des éléments de transmissions de puissance (arbres et boîtes de transmission).

ÉVALUATIONS

Deux notes de BE et une note d'examen.

AVION PLUS ÉLECTRIQUES

Responsable : Valérie BUDINGER

D-COA303

OBJECTIFS

- ➔ connaître les tendances de conception des aéronefs du futur
- ➔ comprendre les concepts de la propulsion hybride des aéronefs du futur
- ➔ comprendre les enjeux de l'électrification des aéronefs actuels et futurs
- ➔ savoir analyser l'architecture des réseaux électriques aéronautiques
- ➔ savoir mettre en place un scénario de conception d'une propulsion hybride ou de systèmes électriques de conditionnement d'air

PROGRAMME**Partie 1 : Avion à propulsion hybride ou électrique distribuée**

- ➔ Architecture d'un avion à propulsion électrique
- ➔ Conception d'un avion à propulsion hybride distribuée (dimensionnement simplifié d'un avion, pré-dimensionnement du système propulsif)

Partie 2 : Électrification des aéronefs

- ➔ Architecture des actionneurs pour commandes de vol électriques (fly-by-wire) et nouvelles tendances pour les actionneurs aéronautiques
 - ➔ Système de conditionnement d'air électrique
- Partie 3 : Architecture électrique des aéronefs (Cours, BE et TP -Dominique Alejo, Safran)**
- ➔ Les réseaux de puissance aéronautiques
 - ➔ Architecture du réseau électrique (Génération, distribution et stockage de la puissance électrique)
 - ➔ Consommateurs électriques de puissance

EVALUATION

Deux notes de BE et une note d'examen

PROPULSION AÉRONAUTIQUE

D-COA302

Responsable : Sébastien DUPLAA

OBJECTIFS

Etat de l'art avancé de la propulsion aérobie. Comprendre les enjeux des prochaines décennies. Comprendre le dimensionnement du moteur dans une approche multi-disciplinaire. Appréhender l'intégration du moteur à l'avion actuel et futur.

PROGRAMME

- ➔ De la mission à la spécification (civil et militaire) ;
- ➔ Performances et cycles (thermodynamique et fonctionnement des turbomachines, interactions aéro-thermo-mécaniques, on- et off-design, Application pratique à une étude système ;
- ➔ Méthodologies de design et d'expérimentation ;
- ➔ Intégration à l'aéronef (contraintes et tandem avion/moteur, focus nacelle et systèmes annexes) ;

- ➔ Approche multidisciplinaire (combustion, aérothermie, mécanique, matériaux, régulation, vibrations, procédés de fabrication) ;
- ➔ Avants projets et innovations incrémentales et en rupture.

ÉVALUATIONS

Deux notes de BE et une note d'examen.

NEURO-ERGONOMIE

Responsable : Frédéric DEHAIS

D-COA304

OBJECTIFS

Appréhender le fonctionnement du cerveau et la modélisation des mécanismes cognitifs. Cette première partie donne les bases pour comprendre la performance d'un pilote et ses limites cognitives (stress). Comprendre les bases et savoir utiliser les outils de mesures pour évaluer la performance des pilotes. Comprendre les enjeux de la conception et de l'opération des systèmes aériens avec l'homme dans la boucle.

PROGRAMME

- ➔ Neurosciences (modèles cognitifs, neurosciences computationnelles)
- ➔ Méthodologie et mesure neurophysiologique (capteurs NRIS, EEG, Eye Tracking, ECG et SCR)
- ➔ Facteurs Humains (charge de travail, conflits pilote-pilote automatique, design du cockpit, opérations des aéronefs et contrôle aérien)

ÉVALUATIONS

Deux notes de BE et une note d'examen.

DOMAINE

MODÉLISATION DE SYSTÈMES COMPLEXES ET SIMULATION (MSXS)

Responsable : Denis MATIGNON

L'enseignement de ce domaine vise à donner aux étudiants les savoirs et savoir faire pour se positionner, dans un contexte scientifique et technologique exigeant, à l'articulation des différentes disciplines physiques intervenant dans l'élaboration d'un système complexe. L'idée est de faire fructifier les apprentissages des années précédentes en abordant les problèmes de modélisation, simulation numérique et optimisation, le tout dans un contexte multiphysique. Enfin, le domaine sera en mesure de donner aux étudiants le bagage nécessaire au suivi d'un M2R de Mathématiques Fondamentales et Appliquées sur le parcours Modélisation, EDP et Calcul scientifique.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Grâce à des parties tant industrielles qu'académiques, les compétences visées pour l'étudiant sont :

- ➔ compréhension des préoccupations des industriels (conférences industrielles)
- ➔ analyse et modélisation multi-échelles multiphysique
- ➔ calcul haute performance

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine est basé sur 140h de cours, un certain nombre de ces cours sont réalisés en partenariat avec des industriels qui sont pour l'essentiel des poids lourds de l'industrie aéronautique. Chacun de ces partenaires s'est engagé à proposer un sujet de Projet de Fin d'Étude à l'intention particulière des étudiants ayant suivi le domaine MSXS.

Tronc commun

- ➔ Modélisation multiphysique et multi-échelle
- ➔ Calcul haute performance

Parcours ingénierie mathématique (IM)

- ➔ Méthodes numériques de l'ingénieur
- ➔ EDP avancées
- ➔ Optimisation multidisciplinaire, problèmes inverses et propagation des incertitudes

MODÉLISATION MULTI-PHYSIQUE ET MULTI-ÉCHELLE

Responsable : Denis MATIGNON

D-SXS310

Ce module comporte deux parties :

- ➔ Les systèmes complexes désignent les systèmes comprenant un grand nombre d'agents en interaction qui présentent des phénomènes d'auto-organisation ainsi qu'une structure multi-échelle. Les exemples se rencontrent dans toutes les domaines, depuis l'étude de la matière inanimée jusqu'au vivant et aux systèmes sociaux. L'étude des systèmes complexes est fondée sur la théorie classique des systèmes de particules en interaction, tout en présentant de nouveaux défis qui remettent en questions les concepts classiques. Dans ce cours, nous proposerons une revue générale de la hiérarchie des modèles utilisés pour décrire les systèmes de particules en proposant de nombreux exemples, pris dans des domaines divers (dynamique des gaz raréfiés, plasmas, interactions sociales). Le plan en est les suivants :
 - Exemples de systèmes de particules

- Modèles cinétiques et passage particules (cinétique: limite champ moyen, équation de Boltzmann et modèle BGK);
- Modèles fluides et passage cinétique -> fluide: limite hydrodynamique, équations d'Euler, corrections diffusives, équations de Navier-Stokes; limites de diffusion.

Perspectives: évolutions contemporaines de la théorie. Quelques exemples (transition de phases, brisure de symétrie, jamming)

- ➔ La deuxième partie comporte plusieurs cours indépendants d'applications, notamment industrielles. Les interventions proviennent de l'Onera, de Météo-France, du Cerfacs, d'EADS-IW, de Thalès, d'Airbus, de Total, d'Areva,...

CALCUL HAUTE PERFORMANCE

Responsable : Pierre SIRON

D-SXS313

OBJECTIVES

Using parallel or distributed processors is mandatory to obtain high performances and high availability systems. Historically this was the domain of scientific computing, now the next generations of embedded systems will include distributed functions. In this course, we introduce a taxonomy of parallelism and distribution and the programming concepts of multiprocessors and networks of processors.

MÉTHODES NUMÉRIQUES DE L'INGÉNIEUR

D-SXS311

Responsable: Denis MATIGNON

PROGRAMME

This course is organized as follows:

- ➔ Introduction
 - Content: the introduction deals with first linear systems, second with the principles of the Finite Difference Method (FDM) for Ordinary Differential Equations (ODEs)
- ➔ More on the Finite Element Method
 - Content: the case of coupled system of PDEs, mixed Finite Element Method
 - BE1: finite element computations in 2-D elasticity (stress and strain). Introduction to FreeFem++
 - BE2: numerical solution of the Stokes equation thanks to FreeFem++

- ➔ Propagation models of electromagnetic waves
 - Content: Maxwell equations in 2-D, the Yee scheme, finite Volume Method (FVM) for Maxwell equations in 2-D, high order local approximation
 - BE3: a comparison of the numerical methods
 - BE4: numerical modelling of a waveguide

OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE, PROBLÈMES INVERSES ET PROPAGATION D'INCERTITUDES

Responsable: Youssef DIOUANE

D-SXS314

PROGRAMME

Ce module aborde plusieurs sujets importants pour l'ingénieur. Les cours sont déclinés selon divers aspects (théoriques et pratiques), plusieurs BE permettent la mise en pratique:

- ➔ Introduction et rappel en optimisation:
- ➔ Optimisation multidisciplinaire:
 - Contenu: l'optimisation de fonctionnelles en contrôle optimal, l'optimisation multi-objectifs, algorithmes de résolution.
 - Un BE sur machine avec un compte-rendu.
- ➔ Problèmes inverses:
 - Contenu: le but de ce cours est d'abord de présenter sur divers exemples l'origine des problèmes inverses, de mettre en évidence leur instabilité, de présenter des méthodes pour analyser ces problèmes, et donner quelques outils pour obtenir des solutions, et en évaluer la qualité.
 - Un BE sur machine avec un compte-rendu.

- ➔ Assimilation de données:
 - Contenu: l'objectif de ce cours est de donner les éléments méthodologiques des méthodes d'assimilation de données (comment coupler modèles et observations?);
 - Un BE sur machine évalué en séance (une fiche à remplir par les étudiants).
- ➔ Propagation d'incertitudes:
 - Contenu: la modélisation aléatoire en vue d'étudier la fiabilité et la robustesse des systèmes complexes;
 - Un BE sur machine avec un compte-rendu.

EDP AVANCÉES

D-SXS312

Responsable: Denis MATIGNON

PROGRAMME

Ce module part du constat que, si les méthodes numériques étudiées jusqu'à présent en cours permettent de traiter la plupart des phénomènes physiques rencontrés par les ingénieurs, leur application à des cas industriels nécessite un savoir-faire particulier. En effet, les enjeux industriels imposent de s'intéresser à des domaines de grande taille, ainsi qu'au couplage de problèmes issus de physiques différentes, que ce soit du point de vue des modèles (couplage fluide/structure par exemple) ou simplement des échelles caractéristiques (effets d'actionneurs de petites taille sur un écoulement le long d'un profil d'aile d'avion). Le traitement de ces problèmes fait alors apparaître des difficultés -numériques et conceptuelles- spécifiques, rendant inopérante ou inefficace toute approche naïve.

L'objectif de ce module est donc de donner des outils à la fois théoriques et pratiques pour la résolution de ces problèmes « multi-composantes ». En particulier, deux cas représentatifs seront étudiés de façon approfondie et mis en pratique au cours de BE.

DOMAINE

SYSTÈMES AUTONOMES: ROBOTS, DRONES ET MISSILES (SA)

Responsable: Janette CARDOSO

Les évolutions sociétales, la maturité des technologies ou encore les capacités de calcul embarqué engendrent un accroissement du nombre d'activités réalisées par des systèmes autonomes (robots, drones...). Le but de ce domaine est de former les étudiants aux spécificités technologiques communes aux systèmes autonomes en leur apportant une vision transverse et intégrative de ces systèmes. En particulier, il s'agit d'introduire aux étudiants les technologies essentielles aux systèmes autonomes, domaine au cœur des développements futurs de l'aéronautique et de l'espace.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

En couvrant de nombreux sujets, les compétences visées sont de natures différentes :

- ➔ Capacité à concevoir un système autonome en prenant en compte les contraintes spécifiques des applications
- ➔ Vision globale du système autonome (architecture, organisation fonctionnelle, plateforme physique...)
- ➔ Notions de robustesse et de qualification des robots et drones
- ➔ Prise en compte de l'interaction entre le système et l'homme/l'environnement en considérant les questions d'éthique

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine s'appuie sur un fort tronc commun auquel viennent s'ajouter trois parcours au choix sur la conception et opération de systèmes autonomes suivants : robots, drones ou missiles. Un projet ingénierie accompagne la formation.

Tronc commun

- ➔ Systèmes embarqués : conception, modélisation, architecture
- ➔ Perception et navigation
- ➔ Décision et action délibérée

**Parcours
Robotique**

**Parcours
Drones**

**Parcours
Missiles**

SYSTÈMES EMBARQUÉS: CONCEPTION, MODÉLISATION ET ARCHITECTURE

Responsable: Janette CARDOSO

D-SAT301

OBJECTIFS

Les robots et drones sont des systèmes autonomes composés d'une plateforme physique (capteurs, actionneurs, processeurs) et de logiciels. Ces derniers sont organisés en une architecture logique comprenant des niveaux fonctionnels, de supervision et de décision. Ce module traite les principaux aspects à prendre en compte lors de la conception de cette architecture et de l'implémentation des algorithmes qui la constituent, à savoir les systèmes embarqués à bord des systèmes autonomes.

- ➔ Outillage pour la simulation
- ➔ Architecture d'exécution temps réel des logiciels
- ➔ Conception, validation et vérification des logiciels critiques en robotique

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en TDs notés ;
- ➔ Une note d'examen écrit.

PROGRAMME

- ➔ Introduction
- ➔ Spécification de l'architecture fonctionnelle et physique avec SysML
- ➔ Analyse de la sûreté de fonctionnement des architectures
- ➔ Modélisation comportementale du système et simulation

PERCEPTION ET NAVIGATION

Responsable: Janette CARDOSO

D-SAT302

OBJECTIFS

La navigation autonome est la capacité pour une machine mobile à se déplacer dans son environnement sans l'intervention d'un pilote. Cette capacité nécessite notamment que la machine perçoive et modélise son environnement, s'y localise, et planifie les déplacements à effectuer. L'objectif de ce module est de présenter les outils et méthodes pour réaliser ces fonctions, en détaillant particulièrement la localisation, qui joue un rôle central.

- ➔ Modélisation de l'environnement
- ➔ Planification du mouvement et suivi de trajectoire
- ➔ Au delà de la navigation autonome

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note d'examen.

PROGRAMME

- ➔ Introduction à la navigation autonome
- ➔ Bases de la perception : capteurs proprioceptifs et extéroceptifs, estimation, fusion de données
- ➔ Localisation en environnement (extérieur) instrumenté (GPS, GNSS) et en environnement non instrumenté sur mesures proprioceptives (odométrie, IMU). Cas d'étude (navigation d'un drone). Localisation et Cartographie simultanées (SLAM)

DÉCISION ET ACTION DÉLIBÉRÉE

Responsable: Janette CARDOSO

D-SAT303

OBJECTIFS

L'autonomie décisionnelle est la capacité de choisir et de planifier ses actions en fonction des objectifs et du contexte. Elle est nécessaire dès que le système autonome doit faire face à une diversité de tâches et d'environnements et que son activité ne peut pas être programmée à l'avance par le concepteur. Elle met en œuvre des fonctions de synthèse de plans d'actions et d'interactions, d'affinement des actions et de supervision. Ce module est une brève introduction aux techniques utilisées pour doter un système autonome de capacités de délibération. Il mettra en exergue aussi les questions éthiques posées par les robots (aériens ou terrestres).

PROGRAMME

- ➔ Introduction: L'action délibérée comme gage d'autonomie; modèles et représentations
- ➔ Planification par recherche dans l'espace d'état, Planification par décomposition de tâches
- ➔ Planification par propagation de contraintes (satellites autonomes)

- ➔ Délibération: adaptation, réaction, supervision, raisonnement sur les buts, apprentissage
- ➔ Délégation, planification Homme-robot et multi-acteurs
- ➔ L'homme et le robot; partage d'autorité; forces et faiblesses
- ➔ Éthique, éthiques. Questions d'éthique posées par les robots: dans la défense & sécurité, auprès des personnes, robots médicaux. BE sur études de cas.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE éthique;
- ➔ Une note de BE ou examen écrit Autonomie Décisionnelle.

PARCOURS DRONES

Responsable: Jean-Marc MOSCHETTA

D-SAT305

OBJECTIFS

Le parcours Drones a pour but d'apporter aux étudiants une compréhension technique multi-disciplinaire d'un système de drone. Au terme de ce parcours, l'étudiant aura accès à une bonne connaissance des emplois, missions, enjeux industriels et contraintes techniques qui permettent de concevoir un système de drone. Des séances pratiques s'appuyant sur des études de cas lui permettront d'acquérir les bons réflexes décisionnels pour la conception des drones. Le parcours couvre les drones à usage civils et militaires, allant des microdrones aux drones de surveillance de type MALE ou HALE, en passant par les drones de combat (UCAV).

PROGRAMME

- ➔ Ingénierie des drones de surveillance ISR (25 h)
 - Introduction aux systèmes ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance) et retour d'expérience sur un drone MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance)

- Capteurs optroniques/Infrarouge et radars
- Communications numériques, codage et bilan de liaison
- Introduction aux micro-drones
- Conception et performance du vecteur aérien
- Bureau d'étude: « Prédimensionnement d'un drone ISR »
- ➔ Pilotage/guidage pour drones (12 h)
 - Principes et structures de commandes
 - Techniques avancées de commande
 - Commande référencée vision
 - Bureau d'étude: Implémentation en salle robotique « Guidage d'un drone »
- ➔ Drone de combat (UCAV) (3 h)
 - Concept opérationnel et principes de conception d'un drone de combat
 - Furtivité, intégration armement

ÉVALUATION

- ➔ Les deux bureaux d'étude seront évalués.

PARCOURS ROBOTIQUE

Responsable: Janette CARDOSO

D-SAT304

OBJECTIFS

L'objectif du module est d'apporter aux étudiants une vision large des méthodes permettant d'animer un robot à chaîne complexe (bras manipulateur, manipulateur mobile, sous marin ou aérien, robot humanoïde), ainsi que de présenter en détail plusieurs solutions complètes pour planifier et contrôler les mouvements d'un tel robot, jusqu'à la mise en œuvre en simulation.

PROGRAMME

- ➔ Introduction: enjeux et challenges de la robotique
- ➔ Capteurs et actionneurs pour la robotique
- ➔ Composants et modèles de robots: Géométrie directe et inverse; Cinématique directe et inverse; Manipulateurs mobiles, Dynamique rigide articulée.
- ➔ Commande et apprentissage sensori-moteur
- ➔ Asservissement référencé capteur

- ➔ Travaux pratiques. Bureaux d'Études et Conférences industrielles.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés;
- ➔ Une note d'examen.

PARCOURS MISSILES

Responsable: Jean-Marc MOSCHETTA

D-SAT306

OBJECTIFS

Le parcours Missiles a pour but de décrire les systèmes de missiles dans une approche multi-disciplinaire. Au terme de ce parcours, l'étudiant aura acquis une bonne connaissance des emplois, missions, enjeux industriels et contraintes techniques qui permettent de concevoir un système de missile. Des séances pratiques s'appuyant sur des études de cas lui permettront d'acquérir les bonnes méthodes pour la conception et l'optimisation des missiles. Le parcours couvre les drones à usage civils et militaires, allant des micro-drones aux drones de surveillance de type MALE ou HALE, en passant par les drones de combat (UCAV).

PROGRAMME

- ➔ Différences entre missiles et drones armés: introduction aux systèmes ISR (5 h)
 - Intelligence, Surveillance, Reconnaissance et retour d'expérience sur un drone MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance)
 - Capteurs optroniques/Infrarouge et radars

- ➔ Introduction aux systèmes de missiles (10 h)
 - Contexte géostratégique et intégration aux plateformes
 - Missions, guidage, architecture
 - Conception de la cellule aéropropulsive
- ➔ Étude de cas (12 h)
 - BE1: Conception d'un intercepteur sol-air
 - BE2: Analyse des performances d'un missile balistique tactique
- ➔ Furtivité et senseurs électromagnétiques (6 h)
- ➔ Techn. et performances des missiles balistiques (3 h)
- ➔ Drone de combat (UCAV) (3 h)
 - Concept opérationnel et principes de conception d'un drone de combat
 - Furtivité, intégration armement

ÉVALUATION

- ➔ Grand oral (1h)
- ➔ Moyenne basée sur le bureau d'étude « Conception d'un intercepteur sol-air » et la note d'oral.

DOMAINE

CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES SPATIAUX (COS)

Responsable : Stéphanie LIZY-DESTREZ

L'objectif de ce domaine est d'apporter aux étudiants la connaissance de l'environnement physique, réglementaire et économique des systèmes spatiaux sans négliger les méthodes et techniques des avant-projets spatiaux. L'association à une filière permettra ainsi aux étudiants ayant suivi ce domaine de participer à la conception, au développement et à l'utilisation de systèmes ayant une composante spatiale dès la sortie de l'Institut. En finalité, l'étudiant aura une vision système essentielle dans le secteur spatial.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Au travers des enseignements, les compétences attendues sont les suivantes :

- ➔ comprendre les capacités et contraintes (conception, réalisation et exploitation ou utilisation) des systèmes spatiaux
- ➔ mettre en place des méthodes simples pour l'analyse ou la recherche de solutions technologiques fortement intégrées dans un environnement aux multiples contraintes (systèmes complexes ou technologies de rupture par exemple).

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine s'articule autour d'un tronc commun de 70 heures auxquelles viennent se greffer deux parcours de 70 h chacun : systèmes de transport spatial ou systèmes orbitaux. Un projet ingénierie accompagne la formation.

Tronc commun

- ➔ Méthodes d'optimisation appliquées au domaine spatial
- ➔ Environnement spatial et sûreté de fonctionnement des systèmes spatiaux
- ➔ Systèmes spatiaux et environnement économique et réglementaire

Systèmes de transport spatial (TS)

- ➔ Conception et opérations des systèmes de transport spatial
- ➔ Aérodynamique hypersonique
- ➔ Propulsion spatiale chimique et électrique

Systèmes orbitaux

- ➔ Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux
- ➔ Missions et performances pour les applications spatiales

MÉTHODES D'OPTIMISATION APPLIQUÉES AU DOMAINE SPATIAL

Responsable : Stéphanie LIZY-DESTREZ

D-COS301

OBJECTIFS

- ➔ Connaissance et utilisation de méthodes d'optimisation adaptées à différents types de problèmes complexes rencontrés dans les systèmes spatiaux et leur utilisation.
- ➔ Étude et application de différents algorithmes.

PROGRAMME

- ➔ Introduction - Notions de complexité
- ➔ Programmation linéaire en nombres entiers
- ➔ Modélisation et Programmation par contraintes
- ➔ Méta heuristiques et recherche locale
- ➔ Choix multicritères

ÉVALUATIONS

- ➔ Ce module est évalué grâce à des BE notés.

ENVIRONNEMENT SPATIAL ET SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES SPATIAUX

Responsable : Bénédicte ESCUDIER

D-COS302

OBJECTIFS

- ➔ Connaissance de l'environnement physique dans lequel évoluent les véhicules spatiaux et de ses effets sur les systèmes spatiaux
- ➔ Connaissance de la sûreté de fonctionnement appliquée aux systèmes spatiaux

PROGRAMME

- ➔ Environnement spatial : Introduction, Soleil, rayonnement cosmique, ceintures de radiation, interaction rayonnement – matière pour le spatial, phénomènes de charge en orbite
- ➔ Effets des radiations sur l'électronique.
- ➔ Matériaux en environnement spatial
- ➔ Suite du cours de sûreté de fonctionnement de Tronc Commun de 3^e année : spécificités du domaine spatial et étude de cas (analyse des exigences, définition préliminaire, conception préliminaire).

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe ;
- ➔ Une note d'étude de cas ;
- ➔ Une note de QCM ;
- ➔ Une note de test « environnement spatial ».

**SYSTÈMES SPATIAUX ET ENVIRONNEMENT
ÉCONOMIQUE ET RÉGLEMENTAIRE**

D-COS303

Responsable: Bénédicte ESCUDIER

OBJECTIFS

- ➔ Connaissance du panorama et des spécificités des systèmes spatiaux pour l'exploration automatique et habitée, les applications liées aux sciences et missions spatiales.
- ➔ Connaissance de l'environnement juridique du développement et de l'utilisation des systèmes spatiaux.
- ➔ Connaissance de l'environnement économique du domaine spatial.

PROGRAMME

- ➔ Introduction aux systèmes spatiaux autonomes et habités.
- ➔ Missions et trajectoires de rendez-vous et de rentrée
- ➔ Droit international de l'Espace et traités associés
- ➔ Droit des applications spatiales (Satcom/TU/OT)
- ➔ Cas pratiques et workshop « ingénieurs/ juristes »

- ➔ LOS et conséquences techniques/ réglementation sur les débris
- ➔ Conférence EuroConsult sur la chaîne de la valeur des systèmes spatiaux et des acteurs économiques.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par la notation du workshop.

AÉROTHERMODYNAMIQUE HYPERSONIQUE

Responsable: Emmanuel BÉNARD

D-COS312

OBJECTIFS

- ➔ Étude du vol en régime hypersonique haute et basse enthalpie d'un véhicule rentrant dans une atmosphère terrestre ou planétaire.
- ➔ Description des effets radiatifs des gaz à haute température.

PROGRAMME

- ➔ Introduction à l'hypersonique
- ➔ Introduction à la dynamique des gaz raréfiés
- ➔ Rayonnement des gaz à haute enthalpie
- ➔ Échauffement d'un véhicule en rentrée hypersonique

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par une note d'examen écrit et un BE noté.

**CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES
DE TRANSPORT SPATIAL**

D-COS311

Responsable: Bénédicte ESCUDIER

OBJECTIFS

Connaître les aspects fondamentaux des systèmes de lancement: optimisation de l'architecture, trajectoires, performances et technologies associées.

PROGRAMME

- ➔ Les grandes étapes du transport spatial et les différentes missions des systèmes de transport spatial, cahier des charges typique d'un système de lancement et constitution typique d'un lanceur
- ➔ Technologies utilisées dans la conception d'un lanceur avec les principaux atouts et les critères de conception et dimensionnement
- ➔ Les trajectoires des lanceurs
- ➔ Optimisation de l'étagement, du niveau de poussée et de l'architecture du lanceur, opérations sol, phases de vie au sol et installations correspondantes

- ➔ Présentation des phases transitoires pendant la vie du lanceur

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE effectués en classe;
- ➔ Une note d'examen.

PROPULSION SPATIALE CHIMIQUE ET ÉLECTRIQUE

Responsable: Nicolás GARCÍA ROSA

D-COS313

OBJECTIFS

Appréhender les différents types de propulsion utilisés dans le domaine spatial. Comprendre le fonctionnement et les performances des moteurs à effet Hall.

PROGRAMME

- ➔ Propulsion solide
- ➔ Propulsion chimique liquide: concepts fondamentaux, architecture des moteurs, performances et sous-systèmes
- ➔ Propulsion électrique: concepts fondamentaux et panorama des moteurs à propulsion électrique
- ➔ Physique, technologie et performances des moteurs à effet Hall

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE effectués en classe et de TD notés;
- ➔ Une note d'examen.

CONCEPTION, ARCHITECTURE ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES ORBITAUX

D-COS321

Responsable: Stéphanie LIZY-DESTREZ

OBJECTIFS

- ➔ Acquérir les connaissances techniques liées à l'architecture, à la conception et au développement des sous systèmes de véhicules orbitaux.
- ➔ Comprendre les spécificités et les moyens associés aux opérations des systèmes orbitaux

PROGRAMME

- ➔ Architecture générale des satellites, intégration et essais
- ➔ Architecture mécanique et mécanismes
- ➔ Dynamique des satellites et système de contrôle d'attitude et d'orbite
- ➔ Contrôle thermique des satellites
- ➔ Gestion bord et communications bord sol
- ➔ Architecture électrique des satellites
- ➔ Segment sol et opérations des satellites

ÉVALUATIONS

- Le module est évalué par deux notes :
- ➔ Une note de BE effectués en classe et de TD notés ;
 - ➔ Une étude de cas.

MISSIONS ET PERFORMANCES POUR LES APPLICATIONS SPATIALES

D-COS322

Responsable: Bénédicte ESCUDIER

OBJECTIFS

- ➔ Comprendre les principes fondamentaux d'acquisition des images de télédétection optique, les traitements d'images associés, leurs limitations et la qualité obtenue in fine.
- ➔ Acquérir une vision d'optimisation bord/sol du dimensionnement et de la conception des systèmes spatiaux d'imagerie optique
- ➔ Comprendre les principes des missions de télécommunications spatiales, leur architecture et les différents concepts ainsi que les critères de choix.

PROGRAMME

- ➔ Missions de télécommunications et charges utiles,
- ➔ Architecture des systèmes, et exemples
- ➔ Introduction à l'imagerie spatiale: des principes d'acquisition au traitement des images optiques pour l'observation de la Terre
- ➔ La géométrie des images

- ➔ La radiométrie des images
- ➔ La résolution et les méthodes de traitement des images

ÉVALUATIONS

- Le module est évalué par :
- ➔ des notes de BE effectués en classe et de TD notés



DOMAINE
**ÉNERGIE, TRANSPORT
ET ENVIRONNEMENT (ETE)**

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

En ce début de XXI^e siècle, la production et la distribution d'énergie revêtent un caractère prioritaire à l'échelle mondiale. Sur les trente prochaines années, c'est la demande énergétique associée aux transports qui connaîtra la progression la plus importante. Dans ce contexte les défis à relever sont immenses afin d'insérer la production d'énergie, sa consommation et le développement des transports, dans une dynamique de réduction urgente des émissions de gaz à effet de serre. Les technologies hybrides et non conventionnelles apparaissent comme une des solutions efficaces à ces défis, mais elles doivent s'insérer dans un environnement économique, réglementaire et social parfois complexe.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

L'objectif du domaine Énergie, Transport et Environnement est de donner aux étudiants une vision transdisciplinaire (alliant droit, économie et sciences de l'ingénieur) afin de mieux comprendre les relations entre le développement technologique, l'énergie et l'environnement (climat). En particulier, leur permettre :

- d'identifier les facteurs environnementaux et énergétiques qui contraignent le développement technologique dans les domaines du transport et de la production d'électricité (état de l'art) ;
- de concevoir un modèle d'avant-projet prenant en compte les performances énergétiques, économiques et environnementales pour optimiser un système de transport ou de production d'électricité ;
- d'évaluer et de mettre en place une approche transdisciplinaire alliant droit, économie et sciences de l'ingénieur, afin de proposer des solutions technologiques innovantes pour réduire la consommation d'énergie fossile.

STRUCTURATION DU CURSUS

- Énergie et climat
- Économie écologie
- Énergies et Réseaux
- Transports et intermodalité
- Études de Cas en optimisation

ÉNERGIE ET CLIMAT

Responsable : Nicolas GOURDAIN

D-ETE301

OBJECTIFS

À l'issue de ce module, les étudiants seront capables :

- de définir clairement les enjeux majeurs liés au défi énergétique (relation entre climat et énergie) et de citer des ordres de grandeur de l'impact des principaux secteurs d'activité sur l'environnement ;
- d'expliquer comment ces contraintes (e. g. augmenter le prix de l'énergie) peuvent devenir source d'innovation ;
- de définir le cadre dans lequel les contraintes s'appliquent (économie, réglementation, droit) et de citer le rôle des politiques publiques.

- Energy Return on Energy Invested ;
- Connaissance de l'Union européenne et pratiques européennes.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par :

- Un test ;
- Une note sur le jeu de rôle.

PROGRAMME

- La perception du risque et les représentations du changement climatique. Le monde face à la double contrainte climat/énergie ;
- Loi sur transition énergétique et pour la croissance verte ;

ÉCONOMIE ET ÉNERGIE

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

D-ETE302

OBJECTIFS

À l'issue de ce module, les étudiants seront capables

- d'appliquer la méthodologie de l'Analyse de Cycle de vie et du Bilan Carbone à un produit ou processus pour extraire un indicateur d'impact environnemental ;
- de citer les principales pistes pour réduire l'impact environnemental d'un processus ou d'une activité, en réduisant les émissions à la source, ou bien en optimisant la consommation.

- Analyse de cycle de vie : méthodologie et application

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par :

- BE Noté ;
- Présentation orale en équipes.

PROGRAMME

- Retour d'expérience d'une entreprise pour laquelle la contrainte énergétique est devenue un facteur de succès.
- Modes de gouvernance alternatifs
- Rénovation thermique du bâtiment
- Bilan Carbone (réglementation, principe, facteurs d'émission, application ou étude d'un cas concret)

ÉNERGIES ET RÉSEAUX

Responsable : Nicolas GOURDAIN

D-ETE303

OBJECTIFS

À l'issue du module, les étudiants seront capables

- ➔ d'expliquer les principaux leviers permettant d'optimiser la performance des systèmes de production d'électricité (fossile ou renouvelable) pour réduire les émissions à la source
- ➔ d'expliquer le fonctionnement d'un réseau électrique et la place des différentes formes de production, en particulier les énergies renouvelables
- ➔ d'expliquer les principes de régulation d'un réseau électrique
- ➔ de citer les principales formes de stockage de l'énergie et expliquer leur effet sur un réseau électrique donné

PROGRAMME

- ➔ Panorama de la production d'électricité dans le monde, essor et place du renouvelable depuis 10 ans
- ➔ La filière électronucléaire en France
- ➔ Énergies marines renouvelables

- ➔ Énergie du vent : conception d'un parc éolien et intégration dans le réseau
- ➔ Gestion du système électrique et énergie solaire / Moyens de stockage
- ➔ Visite du Centre Nucléaire de Production d'Électricité de Golfech

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par :

- ➔ Questionnaires et présentation orale
- ➔ BE Noté (Énergie du vent)

TRANSPORT ET INTERMODALITÉ

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

D-ETE304

OBJECTIFS

À l'issue de ce module, les étudiants doivent être capable

- ➔ de décliner les contraintes liées au défi énergétique aux différents modes de transport (terrestre, maritime et aérien)
- ➔ d'expliquer les principaux leviers d'optimisation de la performance des systèmes de transport pour réduire les émissions à la source
- ➔ d'expliquer les principaux leviers de réduction de l'empreinte environnementale globale par une utilisation optimisée d'un réseau de transport

PROGRAMME

- ➔ Systèmes de Transport :
 - Définitions de l'intermodalité dans différents pays. Place du transport aérien dans l'intermodalité.
 - Les grands flux de transport, modèles économiques
 - Systèmes de transport intelligents : conception et exploitation
- ➔ Transport Terrestre :
 - Moteurs à piston : fonctionnement, performance, pollution, hybridation et leviers pour l'optimisation de la performance
- ➔ Transport Maritime :
 - Feuille de route européenne sur les objectifs de réduction de Co2 à l'horizon 2050
 - Routes Maritimes et leurs évolutions, éco-routage
 - Rudiments d'architecture navale.
 - Kite, propulsion éolienne et technologies émergentes

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Note de BE/TP Moteurs à Piston
- ➔ BE Architecture navale

ÉTUDE DE CAS EN OPTIMISATION

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

D-ETE305

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de reprendre les compétences développées dans le domaine pour répondre à une problématique logistique « réaliste ». Les étudiants, qui travailleront par binômes ou trinômes, pourront exprimer des objectifs de minimisation de l'empreinte environnementale en utilisant des paradigmes classiques de recherche opérationnelle, notamment la programmation linéaire et la programmation par contraintes.

Une partie des données exploitées sera issue du monde réel (Google Maps API) ; le champ des possibles ira de l'exploitation des données de circulation en temps réel, du calcul du coût des émissions carbone d'une flotte de camions sur un circuit de livraison. Les groupes seront soumis à une exigence de moyen qui leur donnera une grande liberté pour proposer une mise en œuvre des concepts qui leur sont familiers.

PROGRAMME

- ➔ Introduction aux méthodes d'optimisation
- ➔ Prise en main de Python et des bibliothèques d'optimisation
- ➔ Étude : Problème de routage sous contrainte de pollution

ÉVALUATIONS

- ➔ Compte-rendu d'exercice de modélisation
- ➔ Compte-rendu de l'étude de cas



FILIÈRES D'EXPERTISE

Structure et Matériaux (SM)	42	Signaux et Systèmes (SISY)	70
Modélisation du Comportement		Estimation	71
Thermo-Mécanique des Matériaux.....	43	Circuits et antennes micro-ondes	71
Calculs de structures		Antenne Signal.....	72
par la méthode des éléments finis.....	43	Circuits et antennes micro-ondes	72
Dimensionnement des structures composites ..	44	Titre du module.....	73
Dynamique des structures	44	Traitement d'antennes	73
Introduction aux charges		Représentation et analyses	
et structures des aéronefs	45	des systèmes dynamiques	74
Modélisation numérique du comportement		Modélisation signaux et systèmes dynamiques ..	75
des matériaux composites	46	Commandes des systèmes	75
Optimisation de structures et multidisciplinaire.....	47	Acquisition et traitement d'images	76
Vulnérabilité des structures		Analyse et traitement d'images.....	76
en dynamique transitoire non linéaire	47	Techniques avancées en traitement d'images ..	77
Durabilité des matériaux	48	Système de capture d'images.....	77
Procédés de fabrication avancés	49	Automatique et applications.....	78
Matériaux spéciaux et thermiques	49	Systèmes de décision.....	78
Dimensionnement des structures d'aéronefs ..	50	Implantation des lois de commandes	79
Structure des satellites.....	50	Application et études de cas	79
Projet de conception.....	51	informatique, télécommunication et réseau...	80
Sciences de la décision	52	Architecture informatique et réseaux	81
Sciences de la Décision (SD)	52	Sécurité des systèmes informatiques	
Fondements théoriques de la décision	53	et réseaux	81
Data Mining	54	Systèmes Temps Réel.....	82
Algorithms in Machine Learning	55	Ingénierie Dirigée par les Modèles.....	83
Outils du Big Data	56	Systèmes Distribués	84
économie Numérique et Utilisation des		Séminaires	84
Données	56	Communications numériques	85
Cas d'étude	57	Systèmes spatiaux.....	85
Supply Chain Management	58	Communication par satellites	
Modélisation et simulation des systèmes		pour les mobiles et l'aéronautique	86
de production	58	Internet et services multimédia par satellites ..	86
Production.....	59	Constellations pour les communications	
Qualité et système d'information	60	et la navigation.....	87
Finance	61	Observation de la terre	
Mathématiques financières	62	et sciences de l'univers	88
Finance et marchés	63	Physique de la mesure et	
Dynamique des fluides (DF)	64	instrumentation associée	89
Dynamique des fluides avancée		Analyse et traitement des mesures	89
et multiphysique	65	Architecture des missions	
Turbulence et simulation numérique	65	scientifiques spatiales	90
Aérodynamique des avions,		Planétologie et gravimétrie	90
des missiles et des lanceurs	66	Astrophysique	91
Aérodynamique des rotors	66	Mécanique céleste avancée	91
Analyse des écoulements complexes		Astrophysique extragalactique et cosmologie.....	91
et optimisation aérodynamique	67	Physique stellaire	91
étude de cas en conception.....	67	Gravitation	92
Aérodynamique des turbomachines	68	Ingénierie de l'observation	92
Combustion et Écoulements Diphasiques.....	69	Fondamentaux des Sciences de la Terre	93
Signaux et systèmes.....	70		

FILIÈRE

STRUCTURE ET MATÉRIAUX (SM)

Responsable: Joseph MORLIER & Laurent MICHEL

L'objectif de la formation est d'acquérir une culture approfondie dans le génie mécanique appliqué à l'aéronautique et à l'espace en développant les fondamentaux de la deuxième année, notamment en structures et matériaux. La filière prépare efficacement et sans détours aux métiers de nombreuses industries (avion, lanceurs, hélicoptères, véhicules terrestres) pour lesquelles une composante R&D mécanique des solides est pertinente. Cela permet à l'étudiant de postuler dans les métiers du Bureau d'étude, du développement, de la certification ou encore des centres d'essai et de la qualification. Enfin, la filière permet de donner à l'étudiant le bagage nécessaire et suffisant pour le suivi du parcours recherche SMMS du parcours recherche SMMS du M2 Mécanique de l'Université de Toulouse.

CONNAISSANCES ET COMPETENCES VISEES

Si la finalité industrielle de la filière concerne l'expertise liée à la qualification et à la certification structurale, on cherchera à développer les compétences suivantes :

- ➔ aptitudes au calcul numérique des structures
- ➔ expertise en matériaux
- ➔ connaissance des dimensionnements spécifiques des aéronefs
- ➔ Ces compétences permettront aux étudiants de participer à des projets transverses lors de leur carrière.

STRUCTURATION DU CURSUS

La filière s'organise autour d'un tronc commun constitué de cinq modules de 30h (2 ECTS) et de trois parcours optionnels constitués chacun de trois modules distincts de 30h (2 ECTS). Cette filière permet de valider les modules optionnels du Master de Recherche en Génie Mécanique de l'Université Fédérale de Toulouse.

Tronc commun

- ➔ Modélisation du comportement thermomécanique des matériaux
- ➔ Calculs de structures par la méthode des éléments finis
- ➔ Introduction aux charges et structures des aéronefs
- ➔ Dimensionnement des structures composites
- ➔ Dynamique des structures

Parcours Mécanique Numérique (MN)

- ➔ Modélisation numérique du comportement des matériaux composites
- ➔ Optimisation de structures et multidisciplinaires
- ➔ Vulnérabilité des structures en dynamique transitoire non linéaire

Parcours Matériaux et Procédés (MP)

- ➔ Durabilité des matériaux
- ➔ Procédés de fabrication avancés
- ➔ Matériaux spéciaux et thermiques

Parcours Structures Aéronautiques et Spatiales (SAS)

- ➔ Dimensionnement des structures d'aéronefs
- ➔ Projet de conception
- ➔ Structures des satellites

MODÉLISATION DU COMPORTEMENT THERMO-MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX

Responsable: Patrice LONGÈRE

F-SM300

OBJECTIFS

La modélisation numérique de la mise en forme des matériaux et le dimensionnement des structures vis-à-vis de conditions toujours plus sévères (non nominales) dans un contexte de réduction des coûts requièrent de l'ingénieur la connaissance des principaux modèles de comportement (en particulier non linéaire) et critères de rupture des matériaux constitutifs en vue d'une application optimale. Les objectifs de ce module de tronc commun de filière sont donc de :

- ➔ présenter les modélisations du comportement mécanique des principales classes de matériau utilisées dans les structures aéronautiques et spatiales: les métaux, les polymères et les composites,
- ➔ présenter les critères de rupture de ces matériaux

PROGRAMME

- ➔ Rappel sur les transformations finies / Summary on finite strain

- ➔ Thermodynamique des processus irréversibles / Irreversible thermodynamics
- ➔ Elasticité (linéaire/non linéaire, viscoélasticité) / Elasticity (linear/nonlinear, viscoelasticity)
- ➔ Plasticité (indépendante du temps/viscoplasticité) / Plasticity (rate independent/dependent)
- ➔ Endommagement (quasi-fragile/ductile, de fatigue) / Damage (quasi-brittle/ductile, fatigue)
- ➔ Ténacité (mécanique de la rupture, tolérance aux dommages) / Toughness (fracture mechanics, damage tolerance)
- ➔ Conférences industrielle et scientifique / Industrial and scientific conferences
- ➔ Bureaux d'études applicatifs / Applied workshops

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Trois BE notés (60%)
- ➔ Une note d'examen écrit (40%)

CALCULS DE STRUCTURES PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

Responsable: J. MORLIER

F-SM301

OBJECTIFS

La Méthode des Éléments Finis (M.E.F) est devenue aujourd'hui une technique courante dans le calcul des structures. La tendance actuelle dans l'industrie est d'améliorer l'intégration CAO-calcul, et d'augmenter l'automatisation des processus correspondants.

Ce module est destiné à sensibiliser les étudiants à l'importance des hypothèses des modèles utilisés ainsi que des limitations des outils de calcul. Il doit permettre aux étudiants d'établir les choix de modélisation les plus efficaces en fonction de l'objectif visé. La place croissante des analyses non linéaires et dynamique transitoire impose une connaissance des limites de l'analyse linéaire statique avec des éléments permettant d'orienter les choix vers des modélisations plus réalistes mais aussi plus complexes à maîtriser. Ce module permet la maîtrise des analyses par M.E.F. aujourd'hui réalisées classiquement dans l'industrie. Des Bureaux d'Étude sur logiciel commercial font partie de la formation.

PROGRAMME

- ➔ Principes et hypothèses de la MEF
- ➔ Statique linéaire
- ➔ Statique non-linéaire
- ➔ Dynamique modale
- ➔ Dynamique rapide
- ➔ Notions pratiques de modélisation
- ➔ La qualité des calculs
- ➔ Démonstrations et pratiques sur logiciel

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Deux BE notés (50%)
- ➔ Une note d'examen écrit (50%)

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES COMPOSITES

F-SM303

Responsable : Christophe BOUVET

OBJECTIFS

Ce cours a pour objectif de présenter le dimensionnement des structures composites et sandwichs appliqué aux structures aéronautiques. Il s'agira de présenter les théories plaques utilisées pour le calcul des structures composites stratifiées et en particulier pour les structures sandwichs, de présenter les différents critères de rupture utilisés pour ce type de structure, de présenter les limitations de ces théories puis d'utiliser ces théories lors de séances d'éléments finis sur un code de calcul industriel.

Programme

- ➔ Introduction générale / élaboration
- ➔ Théorie des plaques stratifiées
- ➔ Critères de rupture pour plaque stratifiée et application numérique
- ➔ Trous et assemblages
- ➔ Flambage
- ➔ Conférences industrielles, Durabilité, tolérances aux dommages, Applications spécifiques

- ➔ Essai de flexion sur poutre sandwich
- ➔ BE applicatif (durabilité, tol dom...)
- ➔ BE éléments finis

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ 2 BE notés (50%)
- ➔ Une note de projet (50%)

INTRODUCTION AUX CHARGES ET STRUCTURES DES AÉRONEFS

Responsable : E. PAROISSIEN

F-SM302

OBJECTIFS

Ce cours a pour objectif de permettre de se familiariser avec les charges auxquelles sont soumises les cellules d'avions, en vol et au sol et de s'approprier la logique des exigences normalisées retenues pour le dimensionnement de ces cellules, en vue de la certification de l'aéronef. Le cours est divisé en 2 parties :

- ➔ **Charges 12h**, ce cours définira les objectifs du calcul des efforts généraux pour la conception, la justification et la certification de la structure. Les paramètres de calcul et les règlements principaux définissant les conditions nécessaires à la détermination des charges statiques seront approfondis. Les notions de résistance résiduelle et de charges de fatigue seront également expliquées.
- ➔ **Structures 18h**, Le cours est très orienté sur la compréhension du rôle des différents éléments et le mode de chargement.

STRUCTURES

- ➔ Introduction - architecture générale avion et présentation qualitative des rôles des principaux éléments structuraux
- ➔ Rappel sur les structures minces, Comportement des poutres, plaques et coques en flambage, Comportement des panneaux raidis au flambage.
- ➔ Dimensionnement d'un caisson de voilure courant: panneaux, longerons et nervures
- ➔ Dimensionnement des panneaux de fuselage courant sous pression, sous charge mécanique
- ➔ Dimensionnement d'un fuselage courant: cadres et ouvertures
- ➔ Comportement d'un longeron (TP), Dimensionnement d'une section de fuselage (BE)

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ 1 TP + 2 BE notés (50%)
- ➔ Une note d'examen écrit (50%)

PROGRAMME

- ➔ Objectifs du calcul des efforts généraux - Notions principales
- ➔ Charges en vol
- ➔ Charges au sol
- ➔ Application sur un exemple pratique (BE).

DYNAMIQUE DES STRUCTURES

F-SM304

Responsable : Miguel CHARLOTTE

OBJECTIFS

Ce cours se consacre à la compréhension de la dynamique des structures, du système à un degré de liberté, clé de voûte de l'analyse, jusqu'aux structures de taille industrielle. Les techniques d'analyse sont abordées en fonction de la nature de l'environnement dynamique imposé à la structure (harmonique, transitoire, aléatoire).

On s'intéressera principalement à la basse fréquence où la notion de mode propre permet une technique d'analyse efficace dite de superposition modale, chaque mode se comportant comme un système à un degré de liberté.

Certaines méthodes d'analyse plus avancées seront également abordées pour faire le lien avec des pratiques industrielles telles que le spectre de choc, la sous-structuration, l'analyse non linéaire et les techniques d'essai.

- ➔ Système à 1 DDL: équations du mouvement, réponse harmonique et transitoire
- ➔ Systèmes à n DDL (approche modale): Equations du mouvement, valeurs propres, amortissement
- ➔ Analyse dynamique stochastique :
- ➔ Sous-structuration : synthèse modale & couplage transferts
- ➔ Analyse dynamique non linéaire : méthodes d'intégration directe
- ➔ Techniques d'essais : essais modaux, essais de qualification
- ➔ La réalité industrielle : exposés, étude de cas

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ 5 BE notés (30%)
- ➔ Une note d'examen (70%)

PROGRAMME

- ➔ Introduction Généralités Techniques d'analyse linéaire

**MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT
DES MATÉRIAUX COMPOSITES**

F-SM310

Responsables : F. LACHAUD / L. MICHEL

OBJECTIFS

Les objectifs du cours sont les suivants :

- ➔ Comprendre et modéliser les mécanismes d'endommagement et de rupture des matériaux composites structuraux aéronautiques.
- ➔ Savoir utiliser les lois de comportement matériaux implémentées dans les codes de calculs industriels en fonction des applications visées
- ➔ Savoir choisir les essais à effectuer pour identifier les paramètres des lois de comportement
- ➔ Savoir choisir les algorithmes de calculs appropriés en fonction des applications

PROGRAMME

- ➔ Généralités composites et modes de comportement
- ➔ Rappels dimensionnement des structures composites
- ➔ Lois de comportement & endommagement des composites stratifiés
- ➔ Méthodes numériques pour le calcul de l'endommagement
- ➔ Mécanique de la rupture pour les composites
- ➔ Méthodes des Zones Cohésives, Mécanique Élastique Linéaire de la Rupture
- ➔ Projet d'étude

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Deux BE notés (50%)
- ➔ Une note de projet (50%)

**OPTIMISATION DE STRUCTURES
ET MULTIDISCIPLINAIRE**

Responsable : Joseph MORLIER

F-SM311

OBJECTIFS

Ce cours illustrera par la pratique l'optimisation de structures. Il est en lien étroit avec le module calcul de structures par éléments finis. En effet, la maîtrise de l'art de la modélisation, des techniques de maillage ainsi que des clefs de l'interprétation des résultats sont des briques essentielles avant d'espérer faire une optimisation réussie. La finalité est de résoudre ensemble (professeurs+élèves) un problème industriel tel que l'optimisation aero-structure d'une voilure.

PROGRAMME

- ➔ Méthodes et Outils pour l'optimisation de structures
- ➔ Méthodes spécifiques adaptées au calcul de structures par EF (calcul de sensibilité)
- ➔ Exemples aéronautiques et composites
- ➔ Optimisation topologique (Matlab et Nastran)
- ➔ Réduction de modèle/ Modèle de substitution (Matlab)

- ➔ Optimisation multidisciplinaire, application en couplage fluide structure (Python)
- ➔ Conférences Scientifiques et Industrielles

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Deux BE notés (50%)
- ➔ Une note de projet (50%)

**VULNÉRABILITÉ DES STRUCTURES
EN DYNAMIQUE TRANSITOIRE NON LINÉAIRE**

Responsable : Christine ESPINOSA

F-SM312

OBJECTIFS

Ce cours a pour but de développer une démarche de modélisation et d'analyse pour le dimensionnement en vulnérabilité des véhicules aérospatiaux, en utilisant la simulation numérique en dynamique transitoire non linéaire (dynamique rapide) : crashes, impacts, fragmentations, déchirures. Il appréhende les problèmes clefs et les méthodes et outils de résolution grâce à une mise en œuvre pratique d'un exemple fil rouge et de cas concrets travaillés en projet.

PROGRAMME

- ➔ Vulnérabilité des structures aéronautiques : le besoin des industriels
- ➔ Equations de la dynamique transitoire non-linéaire
- ➔ Présentation de la méthode et de l'outil de simulation
- ➔ Modèles mécaniques et numériques et conformité aux exigences
- ➔ Comportement et rupture des matériaux en transitoire non-linéaire

- ➔ Stabilité numérique, contacts, liaisons et ruptures entre sous-structures: condition CFL, discrétisation du temps et de l'espace
- ➔ Analyse des phénomènes d'hourglass, analyse de l'effet de ruptures
- ➔ Méthodes alternatives aux éléments finis (SPH)
- ➔ Calculs d'impacts hyper véloces sur structures satellites
- ➔ Construction d'une démarche générale de modélisation et d'analyse
- ➔ Plan d'expérimentation numérique projet
- ➔ Mise en œuvre de la démarche sur un cas d'impact d'oiseau sur un bord d'attaque d'une voilure
- ➔ Présentation orale des projets

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE (25%)
- ➔ Une note de projet (75%)

DURABILITÉ DES MATÉRIAUX

Responsable : Catherine MABRU

F-SM320

**OBJECTIFS**

Le vieillissement des matériaux est un phénomène complexe qui trouve son origine dans des transformations physico-chimiques à l'échelle de la microstructure. L'objectif principal de ce cours est de donner aux étudiants des bases théoriques qui leur permettent de remonter aux conséquences mécaniques macroscopiques de la dégradation du matériau et donc d'évaluer de manière pertinente leur durabilité (potentiel de durée de vie pour un usage donné). L'accent est mis dans un premier temps sur la compréhension des différents types d'endommagement liés au temps et des phénomènes couplés thermo-physico-chimio-mécanique entrant en jeu. La fatigue, le fluage, l'endommagement lié à l'environnement (oxydation, corrosion,...) et leurs interactions sont ainsi présentés. Dans un deuxième temps, à la lumière de ces différents mécanismes, ce cours s'attache à donner aux étudiants les différentes méthodes utilisées pour prendre en compte ces effets à long terme sur la conception et le dimensionnement d'un élément de structure ou d'une structure.

PROGRAMME

- ➔ Fatigue matériaux métalliques : physique de l'endommagement
- ➔ Fatigue fiabilité
- ➔ Fatigue matériaux métalliques : Outils de dimensionnement
- ➔ Fatigue matériaux métalliques : application dimensionnement
- ➔ Fatigue composites : physique + dimensionnement
- ➔ Tolérance aux dommages
- ➔ Corrosion, CSC, Fatigue corrosion
- ➔ Oxydation, Fragilisation Hydrogène
- ➔ Vieillessement CMO / Cpt dégradé
- ➔ Fluage métalliques : physique + dimensionnement
- ➔ Fluage plastiques + CMO : physique + dimensionnement

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Trois BE notés (50%)
- ➔ Un examen écrit (50%)

PROCÉDÉS DE FABRICATION AVANCÉS

Responsable : Anis HOR

F-SM321

OBJECTIFS

- ➔ Connaître les méthodes et procédés de production des avions classiques (formage, usinage, moulage, composites) et en cours d'industrialisation (procédés de fabrication semi-finis tels que la fabrication additive et le frittage rapide des poudres).
- ➔ Introduction à l'étude des défauts (conséquences) de fabrication et les moyens de les contrôler. L'impact de ces défauts sur la durabilité des pièces sera traité par la suite dans le module « durabilité des matériaux ». (idem : exprimer la variabilité des méthodes qui implique la présence de défauts....).
- ➔ Pratiquer l'optimisation des paramètres procédés par la simulation numérique

PROGRAMME

- ➔ Mise en forme des matériaux métalliques et composites
- ➔ Fabrication des pièces composites

- ➔ Ingénierie simultanée (métallurgie des poudres, fabrication additive)
- ➔ Assemblages
- ➔ Traitement de surface/ revêtement
- ➔ Contrôle non destructif / Contraintes résiduelles
- ➔ Mini-projet : Simulation numérique des procédés

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'examen (50%)
- ➔ Une note de mini-projet (50%)

MATÉRIAUX SPÉCIAUX ET THERMIQUES

Responsable : Catherine MABRU

F-SM322

OBJECTIFS

- ➔ Connaître les grandes classes de matériaux entrant dans la fabrication des turboréacteurs aéronautiques ainsi que leur environnement économique et stratégique
- ➔ Approfondir les connaissances sur les matériaux métalliques et en particulier acquérir des notions précises sur la métallurgie des ces familles d'alliages, leur mode d'élaboration et de transformation, les défauts inhérents aux modes d'élaboration et leurs spécificités propres à l'Aéronautique, les domaines d'utilisation et les modes de dégradation en service,
- ➔ Connaître les modes de dégradation thermo-chimiques des pièces et composants soumis aux plus hautes températures, des moyens de protection et reconditionnement (revêtements, barrières thermiques),
- ➔ Prendre la mesure des enjeux pour les matériaux futurs à développer en vue d'améliorer encore les turboréacteurs en termes d'efficacité et de respect de l'Environnement, avoir une

vision des perspectives, connaître les voies de progrès suivies et apprécier les difficultés et points durs à lever.

PROGRAMME

- ➔ Présentation générale des matériaux des turboréacteurs
- ➔ Introduction des superalliages base Ni
- ➔ Elaboration des alliages aéronautiques
- ➔ Les aciers
- ➔ Le forgeage et les superalliages corroyés
- ➔ La fonderie et les superalliages coulés
- ➔ Dégradation thermo-chimique et revêtements
- ➔ Les alliages base Ti
- ➔ Les matériaux du FUTUR

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de présentation orale (50%)
- ➔ Une note de rapport d'étude bibliographique (50%)

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'AÉRONEFS

F-SM330

Responsable: Laurent MICHEL

OBJECTIFS

Ce cours a pour but de développer la compréhension des phénomènes les plus importants pour le dimensionnement d'un aéronef conventionnel et de donner le cheminement pour les évaluer. Il donne les moyens de réaliser la mise en œuvre pratique et efficace de ces approches et explique quand il est nécessaire d'avoir recours à des méthodes plus lourdes ou pourquoi les analyses numériques ne montrent pas nécessairement ces phénomènes.

PROGRAMME

- ➔ Règlementation (civile), historique des principales évolutions, basées sur le retour d'expérience, processus de dimensionnement, certification
- ➔ Flambage colonne flexion amplifiée, flambage de plaques et de profilés
- ➔ Effondrement en compression ou cisaillement d'un panneau raidi
- ➔ Flexion, séparation des torseurs

- ➔ Fatigue, Propagation, résistance résiduelle
- ➔ Dimensionnement des assemblages boulonnés
- ➔ Architecture classique d'avions civils
- ➔ Projet : dimensionnement d'un fuselage
- ➔ Visite de la chaîne de la FAL A330

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ BE notés (50%)
- ➔ Un examen oral noté (50%)

PROJET DE CONCEPTION

Responsable: Éric PAROISSIEN

F-SM332

OBJECTIFS

Ce projet a pour objet de faire, par une mise en situation de conception, la synthèse des notions et méthodes vues dans plusieurs enseignements de la filière. A partir d'une pièce de structure simplifiée mais représentative : mat-réacteur, tronçon de fuselage, ... il s'agira, en suivant les démarches de conception des structures aéronautiques, de faire la comparaison de différentes solutions en terme de technologie, matériaux utilisés, industrialisation,...

PROGRAMME

- ➔ Enveloppe des cas de charges,
- ➔ Conception générale,
- ➔ Conception détaillée,
- ➔ Justification structurale,
- ➔ Prise en compte de l'industrialisation,
- ➔ Comparaison des différentes solutions

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Un rapport écrit (50%)
- ➔ Une présentation orale (50%)

STRUCTURE DES SATELLITES

F-SM331

Responsable: Miguel CHARLOTTE

OBJECTIFS :

L'objectif de ce cours double :

- ➔ Donner une vision détaillée d'un système spatial et plus particulièrement de l'architecture d'un satellite.
- ➔ Donner les outils et les méthodologies de conception des structures d'un satellite, du dimensionnement à la qualification par essais.

Les différentes composantes d'un système spatial ainsi que les sous-systèmes clés d'un satellite (propulsion, l'ordinateur de bord, le système de télécommunication, SCAO) et les méthodologies de conception associées seront présentées. Les problématiques inhérentes au lanceur et à son interface avec le satellite seront aussi abordées.

PROGRAMME

La majeure partie du cours détaillera les méthodologies de dimensionnement des structures de satellites :

- ➔ Choix des matériaux les plus adaptés au besoin
- ➔ Définition des spécifications d'environnements
- ➔ Application des politiques de marges
- ➔ Détails des analyses à réaliser
- ➔ Calcul de notchings

Enfin, une introduction à la vérification et à la validation de structures spatiales sera présentée. L'objectif de cette partie est de répondre aux questions suivantes :

- ➔ Comment les structures spatiales sont-elles testées, corrélées, recalées ?
- ➔ Comment sont pris en compte leurs incertitudes et comportements non-linéaires ?

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE (25%)
- ➔ Une note de Projet (75%)

FILIÈRE SCIENCES DE LA DÉCISION (SD)

Responsable: Alain HAÏT

DESCRIPTION

L'objectif de la filière est de former des ingénieurs compétents sur les différents aspects de la prise de décision en entreprise au travers des différents parcours proposés. Les enseignements dispensés ont pour but de concilier les aspects théoriques et les applications variées dans le but d'offrir un maximum de débouchés.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Les compétences visées diffèrent d'un parcours à l'autre mais le vecteur commun à tous les parcours reste la base des Sciences de la Décision: optimisation, statistique, théorie de la décision. Dans les parcours, les compétences supplémentaires se répartissent comme suit:

- ➔ connaissance des algorithmes d'optimisation et recherche opérationnelle, du Big Data et maîtrise des techniques modernes d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle pour le parcours Sciences des Données et Décision;
- ➔ analyse, modélisation, décision et optimisation dans des situations d'organisation et de gestion des opérations pour le parcours Génie Industriel (production, chaîne logistique);
- ➔ connaissance des techniques financières (finance et gestion des risques) et de la finance en général (gestion de projet, directions financières d'entreprises, fusions et acquisitions) pour le parcours Ingénierie Financière.

STRUCTURATION DU CURSUS

La filière se compose d'un tronc commun et de trois parcours au choix sur des thématiques différentes, parfois dans la foulée de modules de deuxième année.

Tronc commun		
➔ Fondements théoriques de la décision		
Parcours Sciences des données et de la décision (SDD)	Parcours Génie industriel (GI)	Parcours Ingénierie financière (IF)
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Data mining ➔ Algorithms in Machine Learning ➔ Outils du Big Data ➔ Économie numérique et utilisation des données ➔ Cas d'étude ➔ Séminaires 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Supply Chain Management ➔ Production ➔ Modélisation et simulation des systèmes de production ➔ Qualité et système d'information 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Finance ➔ Mathématiques financières ➔ Finance et marchés

FONDEMENTS THÉORIQUES DE LA DÉCISION

Responsable: Alain HAÏT

F-SD301

OBJECTIFS

Ce module de tronc commun se divise en trois parties de durée égale, portant sur la Théorie de la Décision, l'Optimisation Combinatoire et la Statistique, connaissances de base d'un cursus en Sciences de la Décision.

Partie Théorie de la Décision: il s'agit d'un cours d'introduction aux modèles proposés par la théorie de la décision au sens large, qu'il s'agisse de décision sous incertitude, de décision multicritères ou de décision multi-agents (choix collectif, partage équitable, théorie des jeux). Le cours intègre une ouverture sur les problèmes algorithmiques associés, des études de cas (PC) et deux BE permettant mettre en oeuvre les approches vues en cours.

Partie Optimisation combinatoire: les méthodes d'optimisation sont très utilisées pour aider à la décision dans de nombreux contextes opérationnels: planification d'actions, ordonnancement de tâches, affectation de ressources, conception de systèmes, diagnostic de pannes, reconnaissance de situations, etc. Ce cours aborde les notions de complexité de résolution de problèmes décisionnels, puis se concentre sur le formalisme de modélisation et de résolution de la Programmation Linéaire en Nombres Entiers, et finit enfin sur le cadre très générique de la Programmation par Contraintes.

Partie Statistique: ce cours a pour objectif de fournir une compréhension des principes sous-tendant les sujets de Statistique descriptive, exploratoire et inférentielle et d'entraîner à la pratique (via R) des outils associés.

PROGRAMME

Programme Théorie de la Décision

- ➔ Décision multicritères (environ 6h)
 - Méthodes agrégatives: utilité additive; méthodes ordinales; prise en compte de critères dépendants, intégrales de Choquet;
 - Méthodes interactives et comparaison par paires, méthodes de surclassement
 - Décision multicritères dans les problèmes combinatoires: programmation multi-objectifs, satisfaction de contraintes valuées, GAL nets
 - Mise en oeuvre: une PC et un BE
- ➔ Décision sous incertitude (environ 6h)
 - Représentation de l'incertitude: probabilités, probabilités imprécises, fonction de croyance, théorie des possibilités.
 - Décision sous incertitude: décision sous ignorance totale, décision qualitative, uti-

lité espérée, utilité non espérée, utilité dépendant du rang.

- Algorithmes pour la décision sous incertitude: arbres de décision, processus de décision Markoviens et programmation dynamique
- Mise en oeuvre: une PC
- ➔ Théorie des jeux (environ 2h)
 - Forme Normale, Matrice de gains, Stratégie pures et mixtes
 - Équilibres: équilibre en stratégie dominante, équilibre de Nash, Équilibre par élimination itérée des stratégies dominées
 - Arbres de décision, algorithmes alpha-beta
- ➔ Décision collective (env 6 h)
 - Choix social: règles de vote, gagnant de Condorcet, théorème de Arrow
 - Problèmes de partage: proportionnalité, absence d'envie; équilibre compétitif
 - Décision collective sous incertitude
 - Mise en oeuvre: une PC et un BE.

Programme Optimisation Combinatoire

- ➔ Complexité: notions de base
- ➔ Programmation Linéaire en Nombres Entiers
 - Propriétés des problèmes d'optimisation linéaire sur domaines discrets
 - Méthodes de coupes
 - Recherche Arborescente
 - Modélisation linéaire en nombres entiers
- ➔ Programmation par Contraintes
 - Techniques de propagation de contraintes
 - Recherche arborescente avec backtrack
 - Recherche locale et programmation par contraintes
 - Modélisation en programmation par contraintes

Programme Statistique:

- ➔ Introduction à R et Statistique descriptive (~5h)
- ➔ Analyse en Composantes Principales (~4h)
- ➔ Introduction aux plans d'expérience (~4h)
- ➔ Estimation statistique et Validation croisée (~2h)
- ➔ Tests Statistiques et ANOVA (~5h)

ÉVALUATION

Les trois parties du module sont évaluées indépendamment, une note d'au moins 10/20 étant nécessaire à chaque partie pour valider le module. L'évaluation de chaque partie prend la forme de BE et/ou d'exams selon les choix des enseignants.

DATA MINING

Responsable : Emmanuel RACHELSON

F-SD310

OBJECTIFS

Ce cours complète le cours de statistique de tronc commun et l'approfondit afin de donner à l'ingénieur les outils nécessaires à la représentation, l'analyse et la fouille de données. Très orienté vers la pratique et les outils, il est abondamment illustré par des exemples concrets et consacre beaucoup de temps à l'expérimentation. Il accorde également une grande importance à la compréhension des mécanismes de fond sur les thèmes qu'il aborde.

Le cours se découpe en 2 grandes parties :

- ➔ La modélisation statistique permet de définir un (ou plusieurs) modèle(s), de nature mathématique, permettant de décrire un phénomène donné, qu'il soit physique, biologique ou autre, à partir de données et variables observées ;
- ➔ L'apprentissage non-supervisé se concentre sur le fait de faire émerger des structures d'un jeu de données (en les classant, les groupant, etc.).

A titre transitoire, un cours d'optimisation dans les graphes indépendant du reste du contenu et mutualisé avec le parcours Génie Industriel complète ce module.

PROGRAMME

- ➔ Modélisation statistique (10h)
 - Modèle linéaire Gaussien
 - Modèle linéaire mixte
 - Critères de choix de modèle
- ➔ Apprentissage non-supervisé et statistique multivariée avancée (15h)
 - Rappels d'Analyse en Composantes Principales, Analyse Canonique des Correlations, Analyse Factorielle des Correspondances, Analyse Discriminante
 - Classification ascendante hiérarchique
 - k-means

➔ Graphes (10h)

- définitions de base : graphe (non) orienté, sous-graphe partiel, chaîne, cycle, chemin, circuit et composante (fortement) connexe, arborescence
- représentations en machine : matrice et liste d'adjacence
- fermeture transitive, algorithme de Warshall
- algorithmes de parcours : en profondeur d'abord (DFS), tri topologique, en largeur d'abord (BFS)
- problème de l'arbre couvrant de poids maximum (MST), algorithme glouton de Prim
- problème du plus court chemin, propriété de Bellman, algorithme de Bellman-Ford-Moore, algorithme de Dijkstra, algorithme de Bellman-Kabala
- application au problème d'ordonnancement, la méthode PERT
- problème de couplage maximum dans un graphe biparti, algorithme glouton des chaînes améliorantes, algorithme d'Hopcroft-Karp
- problème de flot maximum dans un réseau de transport, réseau résiduel, algorithme de Ford-Fulkerson, algorithme d'Edmonds-Karp
- problème de la coupe minimale d'un réseau de transport, dualité avec flot maximum
- lien entre couplage et flot maximum

ÉVALUATION

Examens et BE sur chaque partie.

ALGORITHMS IN MACHINE LEARNING

Responsable : Emmanuel RACHELSON

F-SD311

OBJECTIFS

Ce cours aborde les domaines de l'apprentissage supervisé et de l'apprentissage par renforcement via une approche résolument pratique et algorithmique. L'apprentissage supervisé s'intéresse à la construction d'une fonction qui infère correctement le label (classe ou valeur) à associer à une entrée, en généralisant à partir d'un ensemble d'exemples fournis au préalable (exemple : reconnaissance automatique de caractères, filtres anti-spam, prédiction de demande électrique). On abordera des problèmes concrets de classification et de régression, les différents algorithmes de la littérature, leurs propriétés mathématiques et les outils informatiques associés. L'Apprentissage par Renforcement s'intéresse au contrôle de systèmes dynamiques lorsqu'un modèle du système n'est pas disponible. L'apprentissage exploite alors des échantillons issus de l'interaction avec le système afin de construire une stratégie de contrôle qui permette de maximiser un critère sur le long terme (par opposition à une récompense immédiate en apprentissage supervisé par exemple). Parmi les applications, on retrouve les tâches de contrôle de systèmes mécaniques non-linéaires (robots complexes, déambulateur SegWay, etc.), la recherche de stratégies de pilotage d'écosystèmes complexes, l'élaboration d'agents intelligents dans les jeux vidéos, etc.

PROGRAMME

- ➔ Algorithmes d'apprentissage supervisé :
 - Apprentissage Bayésien Naïf
 - Machines à Vecteurs Supports et méthodes à noyaux

- LASSO
- Processus Gaussiens
- Réseaux de Neurones (classiques, récurrents, profonds)
- Arbres de Décision
- Boosting
- Bagging
- Forêts aléatoires
- ➔ Apprentissage par renforcement :
 - Contrôle optimal stochastique à temps discret, Processus Décisionnels de Markov (MDP).
 - Planification dans l'incertain sur MDP (algorithmes classiques, algorithmes performants)
 - Apprentissage par renforcement en ligne (Q-learning, SARSA, approximation de fonction de valeur, policy gradient, algorithmes à base de systèmes de classeurs, LCS, XCS)
 - Apprentissage par renforcement hors-ligne (LSPI et fitted-Q-iteration)
 - Apprentissage sur simulation (Monte Carlo Tree Search, Direct Policy Search)

ÉVALUATION

Mini-challenges et exposés au sein du module.

OUTILS DU BIG DATA

Responsable : Christophe GARION

F-SD312

OBJECTIFS

Le "Big Data" s'est imposé comme un mot-clé essentiel dans l'économie numérique moderne. Il recouvre l'ensemble des pratiques liées au traitement et à la valorisation de très grands volumes de données. Ce module a comme objectifs de fournir les clés de la manipulation des outils associés au Big Data en particulier et plus généralement aux données, quelle que soit leur volumétrie. Ce fil rouge de la manipulation des (grands) volumes de données permet d'aborder les concepts et les outils associés indispensables : programmation fonctionnelle, bases de données (centralisées ou distribuées en ligne), calcul distribué. L'introduction à la manipulation d'une suite d'outils comme Spark est un des objectifs finaux du module.

PROGRAMME

- ➔ E/A model and relational model
- ➔ Relational algebra and SQL
- ➔ SQL
- ➔ Normal forms and advanced SQL
- ➔ Miniproject SQL
- ➔ Transactions
- ➔ Graph, OO and NoSQL databases
- ➔ Metamodels and API generation
- ➔ Model integration and code generation
- ➔ Python and functional programming
- ➔ Big Data with Spark

ÉVALUATION

- ➔ Examen et BE.

CAS D'ÉTUDE

Responsable : Emmanuel RACHELSON

F-SD314

OBJECTIFS

L'objectif du cas d'étude du parcours "Sciences des Données et Décision" est de mettre les étudiants en situation de prototyper rapidement une solution à un problème proposé par une entreprise ou un laboratoire partenaire, en utilisant les outils et les connaissances acquises tout au long de l'année. Organisé sur trois jours consécutifs, il démarre par une rapide présentation du problème et des données par les encadrants académiques et les équipes du partenaire, puis les étudiants disposent de trois jours pour mettre au point une solution de leur choix au problème proposé. Le module se finit sur une restitution collective et un débriefing à chaud. Un second débriefing à froid, plusieurs semaines plus tard, permet de faire le point sur les acquis scientifiques et méthodologiques.

PROGRAMME TYPE

Chronologie sur 4 jours (ex : année 2015-16).

Jour 0

- ➔ Présentation de l'organisation du cas d'étude. Fourniture de l'énoncé du problème et des jeux de données, sans commentaires. Présentation du fonctionnement : mini-notes d'avancement, paper boards, présentations de restitution.

Jour 1

- ➔ Présentation du problème (origine du problème, difficultés, données, éventuelles pistes) par un ingénieur de l'entreprise partenaire.
- ➔ Travail en équipes de 4
- ➔ Créneaux « consulting » : des enseignants vacataires de la formation ARO sont disponibles pour du consulting sur des créneaux horaires pré-définis.
- ➔ Rédaction d'une mini-note d'avancement à rendre.

Jour 2

- ➔ Briefing.
- ➔ Travail en équipe, consulting.
- ➔ Rédaction d'une mini-note d'avancement à rendre.

Jour 3

- ➔ Briefing.
- ➔ Travail en équipe, consulting.
- ➔ Préparation de la restitution et rédaction d'une mini-note d'avancement.
- ➔ Restitution. Présentations d'environ 20 min portant sur les aspects traités du problème, la ou les solutions étudiées, le retour d'expérience sur les prototypes ou les essais faits, les éventuelles démos, les conclusions à chaud concernant le problème posé. On conclut par une présentation par l'entreprise partenaire du cas d'étude.

➔ Note d'avancement :

- Auto-évaluation du travail de groupe. Utilisée pour débriefing le lendemain matin.
- Texte libre collectif sur les pistes identifiées et les idées à développer.
- Planning (collectif) du travail sur les prochains jours et affectation des tâches.

Jour 4 : sur une demi-journée ou une journée : rapport à rendre sur conclusions à froid + présentation.

ÉVALUATION

- ➔ Note du module établie sur le rapport, la présentation à froid et la présentation à chaud.
- ➔ Modalités de notation du rapport : notation par les pairs (les rapports sont évalués par d'autres étudiants) et évaluation des encadrants.

ÉCONOMIE NUMÉRIQUE ET UTILISATION DES DONNÉES

Responsable : Emmanuel RACHELSON

F-SD313

OBJECTIFS

Ce module permet une introduction aux enjeux professionnels et quotidien de l'économie numérique. Il s'articule selon trois thèmes :

- ➔ Modèles de l'économie numérique
- ➔ Sécurité et vie privée
- ➔ Visualisation des données (Dataviz et Data Storytelling)

PROGRAMME

La partie « modèles de l'économie numérique » ouvre l'année du parcours « Apprentissage et Recherche Opérationnelle ». Y est abordé un retour d'expérience sur les différents business models de l'économie du numérique.

La partie « Sécurité et vie privée » s'insère en cours d'année au fil des autres enseignements. Elle aborde :

- ➔ Une introduction générale à la problématique de la vie privée : notions et aspects légaux, technologies de protection de la vie privée,

assainissement des données et attaques par inférence, protection de la vie privée dans différents contextes (bases de données, vie en ligne, réseaux sociaux, etc.) ;

- ➔ L'illustration de ces notions générales dans le cadre des systèmes et applications géolocalisées : types de services géolocalisés, bris de la vie privée, attaques par heuristiques et par inférences, modélisation de la mobilité, mesures de protection par assainissement ou à base de mécanismes cryptographiques ;
- ➔ L'inscription de la vie privée dans le cadre du mouvement d'ouverture des données (Open Data).

La partie Dataviz vient clore l'année en présentant la couche finale business de tout ingénieur en Aide à la Décision : elle traite des visualisation de données, de présentation de résultats et de "récit des données".

ÉVALUATION

BE

SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Responsable: Olga BATAÏA

F-SD320

OBJECTIFS

Ce cours est une introduction aux enjeux et problématiques de la gestion des chaînes logistiques. Il aborde la présentation des concepts et des défis actuels sous un angle pratique. Plusieurs conférences sur la stratégie de la Supply Chain sont également dispensées par des experts du domaine.

PROGRAMME

- ➔ Introduction, Stratégie Supply Chain, Effet bull whip vécu dans l'industrie aéronautique (1993-1994, 2002-2003, 2009-2010)
- ➔ Gestion des risques dans la Supply Chain
- ➔ Gestion des approvisionnements (relations fournisseurs, sélection...)
- ➔ Relations clients-fournisseurs
- ➔ Logistique et transport international

ÉVALUATION

- ➔ Examen et BE

MODÉLISATION ET SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Responsable: Olga BATAÏA

F-SD322

OBJECTIFS

L'objectif du cours est de découvrir les modèles et méthodes permettant d'optimiser la prise de décision dans les systèmes de production. Les décisions prises par l'entreprise peuvent être hiérarchisées en fonction de leur importance et leur échéance. On retrouve ainsi les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles. Le cours apporte des connaissances sur les principaux problèmes de décision dans les systèmes de production ainsi que sur la création et l'utilisation de modèles permettant de planifier les activités de production et d'évaluer les performances des systèmes conçus.

PROGRAMME

- ➔ Théorie des graphes
- ➔ Théorie des files d'attente
- ➔ Simulation à événements discrets
- ➔ Modèles d'optimisation pour les systèmes de production

ÉVALUATION

- ➔ Examen et BE

PRODUCTION

Responsable: Olga BATAÏA

F-SD321

OBJECTIFS

Ce cours permet de découvrir le fonctionnement des systèmes de production et la gestion de différents processus de fabrication dans divers domaines industriels: aéronautique, automobile... Il permet d'acquérir les fondamentaux de la productique: politiques de production, typologies des systèmes de production, gestion de la demande et des stocks. Ce cours forme également à l'utilisation des outils de gestion des processus industriels, tels que MRPII, outils lean, etc.

PROGRAMME**Gestion de la production**

- ➔ Introduction:
 - définitions, enjeux (de l'entreprise, de la supply chain),
 - attentes clients: order qualifiers, order winners, organisation de la supply chain en conséquence
 - typologies, et mise en évidence des éléments sur lesquels il faut se focaliser (batch = capacité, en-cours, ordonnancement,..., répétitif = approvisionnements composants,...)
 - politiques de production (avec point de découplage, MTS/MTO... et facteurs de succès)
 - historique MRP et les limites de MRP (neruosité, manque de réalisme...)
 - schéma général MRPII, pour répondre (en partie) aux lacunes de MRP
 - stratégie de l'entreprise (produits, tech-nos, marchés, volumes) et stratégie supply chain (système de production, flux, choix des stocks)
- ➔ Gestion de la demande:
 - master planning avec PIC (volume) et PDP lesquels on produits - anticipation de la capacité

- MRP (la méthodologie est simple donc insistance sur les paramétrages: lead times, safety stock, safety lead times, scraps...)
- production process (process scheduling, process trains, materials dominated ou process dominated, ...)
- vérification de la capacité détaillée, ordonnancement (à capacité finie, infinie, jalonnement amont, aval...)

➔ Pilotage de l'exécution

- l'exécution en atelier: avec Input/output control
- gestion des stocks (types de stocks, responsabilités - VMI/consignation, tailles de lots, méthodes de réapprovisionnement)
- Théorie des contraintes,
- Kanban

Organisation d'une FAL aéronautique

- ➔ Principe d'une FAL aéronautique
- ➔ Équilibrage de postes, cadences
- ➔ Gestion des effectifs et des ressources

Séminaire lean

- ➔ Les grands principes du lean
- ➔ Application à l'automobile
- ➔ Jeu de mise en situation par équipes: réorganisation d'un poste de travail sur une chaîne de production automobile

ÉVALUATION

- ➔ Examen et BE

QUALITÉ ET SYSTÈME D'INFORMATION

F-SD323

Responsable: Olga BATAÏA

OBJECTIFS

- ➔ Comprendre les enjeux de la qualité en entreprise
- ➔ Connaître les méthodes et outils pour la résolution de problèmes et la prévention
- ➔ Connaître les référentiels et le fonctionnement d'un audit
- ➔ Savoir mener une étude Six Sigma
- ➔ Savoir concevoir des systèmes d'information et les intégrer dans le pilotage de l'entreprise

PROGRAMME

- ➔ Introduction au management de la qualité
 - Sensibilisation/fondamentaux, Approche Processus, Prévention: AMDEC-FMEA, AMDEC, Poka-Yoke, 5S
 - Résolution de Problèmes: Méthode Global 8D, Diagramme Cause et effets- Ishikawa, IS-Isnot, 5 Why, FTA- arbre des défauts
- ➔ Systèmes de management et audits
 - Certification, Normalisation, Accréditation, Système de management intégré

- ISO 9001 du point de vue du certificateur, ISO 14001 Analyse d'impacts environnementaux, OHSAS 18001 Évaluation des risques professionnels, Reporting RSE: article 225 du Grenelle 2 sur le reporting extra-financier, ISO 26000
- Audit interne, seconde et tierce parties, Préparation, réalisation et reporting, Communication en situation d'audit, Suivi d'audit
- ➔ Six Sigma
 - Étude des systèmes de mesure, la modélisation et les tests statistiques appliqués à l'industrie et la Maîtrise Statistique des Procédés (MSP).
- ➔ Système d'information et ERP
 - Piloter l'entreprise par le SI
 - Entreprise Ressource Planning (ERP)

ÉVALUATION

- ➔ Examen

FINANCE

Responsable: Laurent GERMAIN

F-SD330

OBJECTIFS

Ce cours se divise en trois séquences :

- ➔ Principes of Finance 1 : Ce module de finance vise en premier lieu à présenter les prérequis nécessaires à la compréhension des marchés financiers et de la finance d'entreprise. Seront également introduits les concepts et les outils fondamentaux pour la conception et la maîtrise des décisions financières dans l'entreprise ;
- ➔ Principes of Finance 2 : initiation à la Corporate Finance ;
- ➔ Advanced Finance : Approfondissement en Finance en particulier en Corporate Finance.

PROGRAMME

Programme Principles of Finance 1 :

- ➔ Introduction générale à la finance
 - 1. Marchés et intermédiaires financiers
 - 2. Actifs financiers
 - 3. Gestion financière
 - 4. Projets d'investissement
- ➔ Partie 1 - La valeur temps de l'argent & Le critère de la Valeur Actuelle Nette (VAN)
 - Actualisation, valeur temps de l'argent
 - Choix d'investissement: le critère de la VAN
 - Annuités
- ➔ Partie 2 - Marchés financiers et coût d'opportunité du capital
 - Risque et rendement
 - Choix de portefeuille & Modèle d'Évaluation des Actifs Financiers (MEDAF)
 - Coût Moyen Pondéré du Capital (CMPC)
- ➔ Partie 3 – Critères de choix d'investissement
 - Taux de Rentabilité Interne (TRI), Valeur Actuelle Nette (VAN), Délai de récupération du capital investi
 - Flux de trésorerie pertinents sous forme incrémentale

Bibliographie :

- ➔ Corporate Finance (3E), Jonathan Berk & Peter DeMarzo. Pearson.
- ➔ Finance d'entreprise (3E), Jonathan Berk & Peter DeMarzo. Adapté par Gunther Capelle-Blancard, Nicolas Couderc & Nicolas Nalpas. Pearson.
- ➔ Principles of Corporate Finance (10E), Richard A. Brealey, Stewart C. Myers & Franklin Allen. McGraw-Hill Higher Education.

- ➔ Principes de gestion financière (8E), Richard Brealey, Stewart Myers, Franklin Allen. Adapté par Christophe Thibierge, Nicolas Couderc & Jérôme Héricourt. Pearson.
- ➔ Finance d'entreprise (12E), Pierre Vernimmen, Pascal Quiry & Yann Le Fur. Dalloz.

Programme Principles of Finance 2 :

- ➔ Thème 1 : Politique d'investissement et choix d'investissements
- ➔ Thème 2 : Analyse financière
- ➔ Thème 3 : simulation d'un projet d'investissement et de financement

Programme Advanced Finance :

- ➔ Histoire de la Finance
- ➔ Gestion de la Dette
- ➔ Théorie de la Structure du Capital
- ➔ Théorème de Modigliani et Miller
- ➔ Définition des coûts d'agence
- ➔ Définition de la sélection adverse
- ➔ Définition de l'aléa Moral

Bibliographie

Principes of Corporate Finance, Brealey Myers Allen, Mc Graw Hill
Investments Évaluation, Damodaran
Theory of Corporate Finance, Jean Tirole MIT Press

ÉVALUATION

Principles of Finance 1: Examen final - Documents autorisés - Calculatrice requise – Ordinateurs interdits.

Principles of Finance 2: Thème 1 : QCM. Thème 2 : étude de cas en binôme.

Advanced Finance : mini-projet en Finance,

MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES

Responsable : Laurent GERMAIN

F-SD331

OBJECTIFS

Ce cours aborde les thèmes du Calcul Stochastique pour la finance puis des méthodes numériques de résolution des EDP en finance.

Le but du cours de Calcul Stochastique pour la finance est de donner les bases mathématiques de la finance, en particulier en probabilité et sur les processus stochastiques qui gouvernent les évolutions des actifs financiers.

Le cours de méthodes numériques de résolution des EDP pour la finance introduit les EDP utilisées en finance de marché pour modéliser les variations de prix d'un produit dérivé et présenter ensuite les méthodes numériques les plus couramment employées pour leur résolution numérique (méthode des Différences Finies et de Monte-Carlo)

PROGRAMME

- ➔ Calcul Stochastique pour la Finance :
- ➔ Introduction aux probabilités
- ➔ Modèle de Cox Ross Rubinstein
- ➔ Processus stochastiques
- ➔ Processus de Markov
- ➔ Processus martingale
- ➔ Mouvement Brownien
- ➔ Processus de Poisson
- ➔ Processus de Itô
- ➔ Intégrale de Itô
- ➔ Formule de Itô
- ➔ Applications financières :
 - Mesure martingale
 - Stratégies autofinancées
 - Formule de Black-Scholes
 - Parité Call-Put
 - Modèle à intensité

- ➔ Méthodes numériques de résolution des EDP pour la Finance
 - Rappels sur les équations différentielles et l'intégrale stochastiques
 - Démonstration de l'EDP de Black-Scholes pour les options vanillées européennes
 - Utilisation et limites du modèle de Black-Scholes
 - Extension du modèle de Black-Scholes (options américaines, à barrière, asiatiques, etc...)
 - Principes généraux de la méthode des différences finies. Schémas usuels pour les équations paraboliques linéaires. Schémas explicites et implicites. Notion d'ordre et de stabilité d'un schéma DF. Théorème de convergence de Lax.
 - Équation de Kolmogorov rétrograde. Formule de Feynman – Kac pour la représentation stochastique de la solution de l'équation de B-S. Probabilités historique et risque-neutre.
 - Rappel sur la loi des grands nombres et le théorème Centrale-Limite. Principe de la méthode de Monte-Carlo. Schéma d'Euler pour les e. d. s. Méthodes de réduction de variance.
 - BE applicatif en MATLAB ou VBA sur le « pricing » de produits dérivés par méthodes de différences finies et de Monte-Carlo.

ÉVALUATION

- ➔ Calcul stochastique : un examen écrit en fin de module.
- ➔ EDP : BE.

FINANCE ET MARCHÉS

Responsable : Laurent GERMAIN

F-SD332

OBJECTIFS

Le module se décompose en 3 grandes parties :

- ➔ Économétrie et microstructure. Connaissance des différents mécanismes de fixation des prix;
- ➔ Produits dérivés. Connaître les différentes classes de produits dérivés notamment action et être capable de les pricer ainsi que de programmer des méthodes numériques de détermination des prix;
- ➔ Évaluation d'entreprises et fusions-acquisitions :
 - Connaître et savoir appliquer les différentes méthodes d'évaluation des entreprises;
 - Connaître et savoir analyser les indicateurs de mesure de la création de valeur;
 - Appliquer les méthodes de valorisation à un contexte de fusion-acquisition;
 - Connaître les déterminants de la création de valeur des opérations de fusion-acquisition;
 - Application à AIRBUS;
 - Gestion du risque de taux.

PROGRAMME

- ➔ Économétrie et microstructure
 - Introduction aux marchés financiers : Marché dirigé par les ordres. Marché dirigé par les prix
 - Premier Marché
 - Liquidité
 - Asymétrie de l'information
 - Antisélection
 - Aléa moral
 - Risques en finance
 - Modèle de marché
 - CAPM
 - Gestion des risques
 - Modèles ARCH et GARCH
- ➔ Produits dérivés
 - Présentation des options de base : put, call
 - Arbre binomial dans le modèle de Cox Ross Rubinstein et discrétisation du modèle de Black-Scholes
 - Stratégies de couvertures
 - Résolution numérique du modèle de Black-Scholes avec versements de dividendes.
 - Méthode de Monte Carlo
 - Options exotiques (options barrières, options look back, options asiatiques, basket options, etc.)
 - Résolutions numériques des options exotiques

- Étude des grecques (Delta, Gamma, Rho, Theta, Vega) et stratégies en fonction des grecques
- Étude de la volatilité (smile de volatilité)
- Produits dérivés de crédit (Modèles à intensité, Modèles à premier temps de passage, Modèles structurels)
- Introduction aux différents taux d'intérêt
- Étude de la courbe des taux : relation entre taux courts et taux longs
- Politique monétaire et politique budgétaire
- Forward Rate agreement
- Relation taux au comptant / taux à terme
- Modèles de taux courts (Vasicek, Cox Ingersoll Ross, Modèles à deux facteurs, Prix des bons à zéro-coupon)
- Sensibilité d'un actif
- Duration de MacCaulay
- Duration stochastique
- Produits de taux
- Floor
- Cap
- Swap de taux
- Swaption
- ➔ Évaluation d'entreprises et fusions-acquisitions
 - La valorisation d'une entreprise : notions, logique et contexte
 - Les méthodes d'évaluation d'entreprises (Méthodes patrimoniales: Book Values and Net Accounting Values, Méthodes analogiques: multiples et comparables, Méthodes DCF (Discounted Cash Flows) et DDM (Dividends Discount Models)
 - Les mesures de la création de valeur externe et interne (MVA, Market Value Added et EVA® ou Economic Value Added)
 - Les fusions-acquisitions et la création de valeur économique et financière

BIBLIOGRAPHIE

A. Damodaran, « Investments Valuation » <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/>
Site : www.vernimmen.net

ÉVALUATION

- ➔ Économétrie et microstructure : un examen écrit en fin de module ou un projet
- ➔ Produits dérivés : un examen écrit en fin de module plus évaluation d'un Bureau d'étude
- ➔ Évaluation d'entreprises et fusions-acquisitions : cas d'évaluation d'entreprise à réaliser en binôme.

FILIÈRE DYNAMIQUE DES FLUIDES (DF)

Responsable: Nicolas GOURDAIN

La filière vise à former des étudiants dans une discipline scientifique de pointe, en lien avec les problématiques des secteurs de l'ingénierie (transports civils et militaires, production d'énergie...) et de la recherche (préparation pour les étudiants qui souhaitent suivre les cours du Master Dynamique, Énergétique et Transferts).

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Au travers de la filière, les compétences visées sont :

- ➔ identifier et analyser les différents types d'écoulements rencontrés dans le domaine de la mécanique des fluides, en particulier sur des configurations complexes,
- ➔ évaluer la pertinence des approches numériques et expérimentales afin de simuler ou de modéliser un écoulement turbulent,
- ➔ proposer une méthode adaptée permettant de rendre compte et d'étudier un phénomène physique complexe tel que rencontré dans une machine réelle (problème multidisciplinaire y compris).

Dans le parcours « aérodynamique externe », nous allons chercher à obtenir des compétences sur les écoulements externes (avions et lanceurs par exemple). Dans le parcours « turbomachines et combustion », nous allons nous concentrer sur des compétences autour des problématiques liées aux écoulements internes (tels que rencontrés dans les turbines à gaz).

STRUCTURATION DU CURSUS

À l'issue du tronc commun, deux parcours sont proposés au choix à l'étudiant : aérodynamique externe ou interne.

Tronc commun

- ➔ Dynamique des fluides avancée et multiphysique
- ➔ Turbulence et simulation numérique

Parcours aérodynamique externe (AE)

- ➔ Aérodynamique des avions, des missiles et des lanceurs
 - ➔ Aérodynamique des rotors
- Analyse des écoulements complexes et optimisation aérodynamique

Parcours turbomachines et combustion (TC)

- ➔ Aérodynamique des turbomachines et combustion
- ➔ Combustion et écoulements diphasiques
- ➔ Étude de cas et projet

DYNAMIQUE DES FLUIDES AVANCÉE ET MULTIPHYSIQUE

Responsable: Jérémie GRESSIER

F-DF301

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de prolonger la formation des cours de tronc commun (1A et 2A) dans le domaine de la mécanique des fluides. De fait, les étudiants ont jusqu'ici été sensibilisés surtout aux écoulements stationnaires en 1D et 2D éventuellement même avec des méthodes simplifiées. L'intérêt est donc d'apporter des éléments de savoir relatifs à des méthodes stationnaires plus complètes dans le domaine compressible avec les conséquences pour les couches limites (3D, interaction choc/couche limite...). On abordera ensuite les écoulements instationnaires, le caractère instationnaire pouvant être lié soit aux déplacements instationnaires de l'obstacle, soit à sa déformation (aéro-élasticité) soit à la génération et la propagation du bruit (aéro-acoustique).

PROGRAMME

- ➔ aérodynamique supersonique (8h de cours et TD)

- ➔ couche limite 3D compressible (4h de cours + 3h TD)
- ➔ aérodynamique instationnaire (8h de cours + 4h TD/BEs)
- ➔ aéroacoustique (19h de cours et TD)
- ➔ aéroélasticité (10h de cours et TD)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par plusieurs notes :

- ➔ Pour la 1^{ère} partie Dynamique des Fluides avancée :
 - Une note de BE en travail personnel
 - Une note de test écrit de 2h00
- ➔ Pour la 2^{ème} partie Multiphysique:
 - Une note de BE en séance
 - Une note d'oral

TURBULENCE ET SIMULATION NUMÉRIQUE

Responsable: Jérôme FONTANE

F-DF302

OBJECTIFS :

Les enseignements de ce module s'articulent autour de deux grands thèmes : la turbulence et la simulation numérique. En particulier, une part importante de l'enseignement sera consacrée aux instabilités et aux phénomènes de transition que l'on peut rencontrer dans les couches limites, ainsi qu'à la physique de la turbulence et aux techniques de sa modélisation hors et proche paroi (tant pour les approches RANS que LES). Les principales méthodes numériques de simulation des écoulements seront ensuite abordées : discrétisation des équations, schémas numériques spatiaux et temporels, conditions aux limites, etc. Des applications pratiques sur machines seront proposées avec la mise en œuvre de simulations des équations de Navier-Stokes ainsi qu'une initiation aux techniques basées sur l'équation discrète de Boltzmann (LBM), en plein essor. Enfin les bases du calcul haute-performance et des techniques d'optimisation seront présentées.

PROGRAMME

- ➔ Instabilités (6h de cours, 2h BE)
- ➔ Transition (4 h de cours)
- ➔ Physique de la turbulence (5h de cours, 1hTD, 3h BE)
- ➔ Modèles de turbulence RANS et LES (7h de cours, 2hTD, 3h BE)
- ➔ Modèles physiques et conditions aux limites (3h de cours)
- ➔ Discrétisations spatiales et temporelles pour Navier-Stokes (6h de cours et 10h BE)
- ➔ Méthode Lattice-Boltzmann (2h de cours et 2h BE)
- ➔ Calcul haute-performance (2h de cours)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

- ➔ Une note de 3 BE notés (BE instabilités, BE turbulence, BE simulation numérique)
- ➔ Une note de QCM sur la partie simulation numérique
- ➔ Une note d'examen écrit sur la partie instabilités, transition et turbulence.

**AÉRODYNAMIQUE DES AVIONS,
DES MISSILES ET DES LANCEURS**

F-DF303

Responsable: Jean-Marc MOSCHETTA

OBJECTIFS

Ce module propose d'appliquer les enseignements du tronc commun de la filière aux cas des écoulements externes. Les bases de l'aérodynamique seront appliquées à la conception et à l'analyse des aéronefs subsoniques (avions et hélicoptères) et supersoniques (lanceurs et missiles). Une partie de ce module sera également consacrée aux écoulements hypersoniques.

PROGRAMME

- ➔ Aérodynamique avancée des avions, interactions aérodynamiques (10h de cours)
- ➔ Méthodes de conception des profils, des ailes et empennages (2h de cours et 6h BE)
- ➔ Cycle de conférences sur les avions de transport et de combat (9h)
- ➔ Missiles et lanceurs : missions, stabilité et manœuvrabilité (7h de cours)
- ➔ Aérodynamique et propulsion des missiles (3h de cours et 6h BE)

- ➔ Aérodynamique et propulsion des lanceurs (3h de cours et 6h BE)
- ➔ Hypersonique (3h de cours et 2h BE)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE
- ➔ Une note d'oral

**ANALYSE DES ÉCOULEMENTS COMPLEXES
ET OPTIMISATION AÉRODYNAMIQUE**

F-DF305

Responsable: Nicolas GOURDAIN

OBJECTIFS

Ce module doit permettre de développer les capacités d'analyse critique des étudiants. Sur la base d'un ensemble de cas tests, les étudiants seront invités à comparer des solutions numériques avec des mesures expérimentales (PIV par exemple). En particulier, les méthodes permettant d'identifier des structures d'écoulements complexes seront présentées (par exemple critères d'identification des tourbillons). Afin d'asseoir les connaissances acquises dans la filière, les étudiants seront invités à traiter un cas d'application en binôme. Ce cas d'application pourra être par exemple le dessin, puis l'optimisation, d'un profil d'aile pour une mission donnée. La restitution se fera sous forme d'une revue de projet, et comportera une partie d'analyse bibliographique.

PROGRAMME

- ➔ Analyse d'écoulements complexes (10h de cours/BE intégrés)

- ➔ Optimisation de forme (2h de cours, 6h de TD/BE)
- ➔ Analyse bibliographique (3h)
- ➔ Bureau d'étude aérodynamique (11h BE)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

- ➔ 1 BE noté
- ➔ 1 QCM
- ➔ Une note d'orale (revue de projet).

AÉRODYNAMIQUE DES ROTORS

F-DF304

Responsable: Yannick BOUSQUET

OBJECTIFS

Ce module propose d'appliquer les enseignements du tronc commun de la filière dynamique des fluides aux cas des écoulements tournants qui se développent dans les rotors ouverts (non carénés). Les différents modes de fonctionnement aérodynamique ainsi que les méthodes de modélisation de l'écoulement seront abordées. Le module est décomposé en trois parties. La première partie s'articule autour de l'aérodynamique des hélices aériennes telles que rencontrées dans la propulsion aéronautique. La deuxième partie traite de l'aérodynamique des rotors destinés à la récupération d'énergie (éolienne). Enfin, la troisième partie concernera l'aérodynamique des voilures tournantes appliquées aux hélicoptères.

PROGRAMME

- ➔ Aérodynamique des hélices aériennes (5h de cours, 3h de BE, 2h de conférence)

- ➔ Aérodynamique des rotors d'éoliennes (3h de cours)
- ➔ Aérodynamique des voilures tournantes (6h de cours, 4h de conférence)
- ➔ 1 BE CFD Exa (3h)
- ➔ Examen écrit (2h)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Moyenne de 2 BE notés
- ➔ Une note d'examen écrit

ETUDE DE CAS EN CONCEPTION

F-DF308

Responsable: Yannick BOUSQUET

OBJECTIFS

Ce module permet de faire réaliser aux étudiants la conception d'une turbomachine ou d'une chambre de combustion. On partira d'une spécification donnée par un partenaire industriel pour aboutir à la proposition d'une géométrie. Les étudiants réaliseront les différentes étapes nécessaires à la conception d'une géométrie en s'appuyant sur des critères de conception et sur l'utilisation d'outils numériques 0D et 3D (RANS). Ce travail sera guidé au travers d'une alternance de cours et de BE, dispensés par les enseignants du DAEP et des ingénieurs spécialistes de la conception dans le domaine aéronautique.

PROGRAMME

- ➔ Pré-dimensionnement (4h de cours, 4h de BE)
- ➔ Prise en main des outils 3D (6h de BE)
- ➔ Boucle de design (12h de BE)
- ➔ Finalisation de la conception (4h de BE)
- ➔ Revue de conception (1h)

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'oral
- ➔ Une note de rapport

AÉRODYNAMIQUE DES TURBOMACHINES

F-DF306

Responsable : Nicolas BINDER

OBJECTIFS

Ce module vise à dispenser une formation dans les domaines de l'aérodynamique des turbomachines. On cherchera en particulier à développer la capacité des étudiants à classifier et comprendre les différents types d'écoulements rencontrés dans une turbomachine, ainsi que les bases nécessaires à leurs modélisations, permettant la conception de tels systèmes. Une partie de cet enseignement restera fondamental afin de pouvoir transposer les connaissances génériques acquises vers différents types d'application (autre que le moteur aéronautique). Une partie plus orientée « métier » est dispensée par des intervenants du secteur industriel, experts dans le dimensionnement des turbines et compresseurs aéronautiques. Enfin, un cycle de conférence commun avec le module de combustion permet d'ouvrir le champ disciplinaire vers d'autres perspectives applicatives.

CONNAISSANCES ET COMPETENCES

- ➔ Connaître les concepts théoriques qui permettent de concevoir les turbomachines, et en modéliser les performances ;
- ➔ Proposer un pré-dimensionnement à partir d'une spécification ;
- ➔ Choisir le niveau de modélisation/simulation adapté à la configuration de l'étude (dimensionnement, optimisation, prévisions hors-adaptation, ...)

DECOUPAGE :

Concepts fondamentaux (25h)

- ➔ Approche stationnaire : introduction, modélisations élémentaires, fonctionnement hors-adaptation (9h de cours, 9h de BE d'application)
- ➔ Approche instationnaire : interactions rotor-stator, analyse physique et simulations numériques (3h de cours et 4h de BE)

Aérodynamique des compresseurs et turbines aéronautiques (18h)

- ➔ Compresseurs (8h de cours et 4h de BE)
- ➔ Turbines (3h de cours et 3h de BE)

Ouverture – Conférences applications turbomachine (4h)

PREREQUIS ET REMISE A NIVEAU

- ➔ Écoulements internes de fluides compressibles avec échange d'énergie (TC2A)
- ➔ Propulsion aéronautique (TC2A)

EVALUATIONS

Le module est évalué par plusieurs notes.

- ➔ Une note d'oral,
- ➔ Moyenne arithmétique de 2 notes de BE (partie compresseurs et turbines).

BIBLIOGRAPHIE

- O. Cordier (1955). "Similarity considerations in turbomachines". VDI Report 3 :85.
- N. A. Cumpsty (1989). Compressor aerodynamics. Longman Scientific & Technical.
- D. Japikse, N. Baines, et al. (1994). Introduction to turbomachinery.
- B. Lakshminarayana (1995). 'Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery' .
- Denton, J. D. (1993, May). Loss mechanisms in turbomachines. In ASME 1993 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition (pp. V002T14A001-V002T14A001). American Society of Mechanical Engineers.

COMBUSTION ET ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES

Responsable : Nicolas GARCÍA- ROSA

F-DF307

OBJECTIFS

Ce module vise à former les étudiants à la description et la simulation numérique des écoulements turbulents, diphasiques, réactifs régissant le fonctionnement des foyers de combustion aéronautique et de certaines applications en propulsion spatiale.

En matière de théorie, ce module pose les bases de la combustion dans un écoulement turbulent et celles des phénomènes de transport et évaporation d'une phase liquide dispersée (sous forme de gouttes). On s'appuie pour cela sur les connaissances acquises dans la Filière sur les écoulements turbulents. Ce module propose également une première approche des instabilités de combustion. À l'issue de ce module, les étudiants seront capables

- ➔ d'estimer les principales échelles caractéristiques des flammes de prémélange ainsi que les temps caractéristiques de transport, chauffage et évaporation d'un brouillard de gouttes
- ➔ de reconnaître les principaux régimes de combustion en écoulement turbulent et citer les enjeux de modélisation associés (dans un contexte RANS ou LES)

En matière de simulation numérique, ce module forme les étudiants à l'utilisation de Fluent pour la conduite simulations RANS avec un formalisme lagrangien pour la phase dispersée, ainsi qu'à l'analyse critique des résultats. Les étudiants sont également sensibilisés à l'état de l'art des simulations numériques dans la recherche, avec une attention particulière aux méthodes hybrides et à la prévision des instabilités de combustion. À l'issue de ce module, les étudiants seront capables

- ➔ de citer les principaux enjeux de la simulation numérique des écoulements turbulents, réactifs, gazeux ou diphasiques (à phase dispersée)
- ➔ conduire et post-traiter des simulations numériques RANS, plus spécifiquement, choisir un modèle de combustion en écoulement turbulent, définir des conditions d'injection et choisir des modèles pour le transport turbulent et l'évaporation de gouttes

PROGRAMME

- ➔ Bases de la combustion : thermochimie, cinétique chimique, système de flamme de prémélange et diffusion
- ➔ Introduction à la modélisation de la combustion en écoulement turbulent
- ➔ Transport de gouttes dans un écoulement turbulent
- ➔ Évaporation de gouttes
- ➔ Phénomènes d'atomisation primaire et secondaire, systèmes d'injection et caractérisation d'un brouillard
- ➔ Introduction aux instabilités de combustion en écoulement gazeux ou diphasique
- ➔ Introduction à la LES et aux méthodes hybrides et état de l'art en simulation d'écoulements réactifs

ÉVALUATION

- ➔ Moyenne (pondérée) de 4 notes de BE
- ➔ Présentation orale (synthèse d'un article de revue)

FILIÈRE SIGNAUX ET SYSTÈMES (SISY)

Responsable: Joël BORDENEUVE-GUIBÉ

La conception de systèmes instrumentés ne pourrait se faire sans la théorie des signaux et des systèmes. On le voit actuellement via les smartphones, mais c'est le cas depuis longtemps dans le domaine aéronautique et spatial qui a engendré de nombreuses innovations dans les disciplines de l'électronique, de l'automatique et du traitement du signal. L'objectif de la filière est de former les étudiants aux méthodes et outils de pointe dans ces trois disciplines grâce à des enseignements adaptés aux derniers résultats théoriques et applicatifs, mais aussi de donner aux étudiants le bagage théorique nécessaire et suffisant pour une poursuite en thèse.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

On cherche dans cette filière à aborder la chaîne d'acquisition et de traitement de l'information depuis la mesure jusqu'à la commande :

- ➔ maîtriser les techniques de modélisation, d'analyse et commande des systèmes dynamiques aérospatiaux ;
- ➔ maîtriser la conception de dispositifs hyperfréquences et des techniques de traitement spatial des signaux reçus par réseaux d'antennes ;
- ➔ comprendre les phénomènes physiques liés à la capture d'image ;
- ➔ assimiler, concevoir et mettre en oeuvre les outils mathématiques et algorithmiques pour l'analyse et le traitement d'images .

STRUCTURATION DU CURSUS

Tronc commun			
➔ Estimation			
Séquence 1		Séquence 2	
Antenne - Signal ➔ Circuits et antennes micro-ondes ➔ Traitement d'antennes	Automatique avancée ➔ Représentation et analyses des syst. dynamiques ➔ Modélisation signaux et syst. dynamiques ➔ Commandes des systèmes	Acquisition et traitement d'images ➔ Analyse et traitement d'images ➔ Techniq. avancées en traitement d'images ➔ Système de capture d'images	Automatique et applications ➔ Systèmes de décision ➔ Implantation des lois de commandes ➔ Applications et étude de cas

ESTIMATION

Responsable: Olivier BESSON

F-SI301

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants les compétences pour appréhender et modéliser un problème d'estimation, ainsi qu'une vision d'ensemble des méthodes disponibles afin de mettre en œuvre les outils les mieux adaptés à la résolution d'un problème.

➔ Estimation récursive: (15h)

- Estimation bayésienne récursive Moindres carrés récurrents, filtre de Kalman
- Filtrage particulaire

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de compte rendu de mini-projet
- ➔ Une note de test écrit

PROGRAMME ESTIMATION

➔ Estimation « bloc » (25h)

- Introduction, exemples, approches.
- Approche déterministe: Caractérisation d'un estimateur (biais, variance), Estimateur MVU, bornes de Cramér-Rao, Estimateur du maximum de vraisemblance (application au filtre adapté), Méthode des moments
- Approche Bayésienne: formalisme, minimisation de l'erreur quadratique moyenne, maximum a posteriori, bornes Bayésiennes
- Mini-projet



ANTENNE SIGNAL

OBJECTIFS

L'utilisation conjointe de fréquences micro-ondes de plus en plus élevées et de techniques avancées en traitement du signal permet aujourd'hui de repousser les capacités des systèmes de communication (téléphonie mobile, télécommunications spatiales, ...), de navigation (GPS, ...) ou RADAR. Ce module présente les spécificités de cette électronique micro-onde et des traitements associés. Il se propose de donner les bases théoriques et pratiques pour l'analyse, la conception et la mesure des circuits et des antennes micro-ondes utilisés dans les systèmes modernes. Une attention toute particulière est portée aux systèmes multi-antennaires qui permettent d'atteindre des performances accrues dans diverses applications (téléphonie 4G, RADARs multifonctions, systèmes de communication spatiale, ...). Les architectures d'antennes réseaux intelligentes et les traitements associés sont ainsi étudiés avec comme objectif de détecter et de localiser des signaux dans des environnements complexes (présence d'interférences,

de multi-trajets, ...). Au travers de plusieurs mini-projets autour du RADAR, de la localisation ou encore de la séparation de sources, ce module donne accès aux connaissances théoriques et aux compétences applicatives requises dans ce domaine.



3

ECTS
50 h

Filière SISY

|| S5 || 3^e année ||

CIRCUITS ET ANTENNES MICRO-ONDES

Responsable : Romain PASCAUD

F-SI311

DESCRIPTION

Ce cours présente la théorie et le fonctionnement des circuits et antennes classiquement utilisés en micro-ondes. Cette portion du spectre électromagnétique fait référence aux ondes dont la fréquence est comprise entre 300 MHz et 300 GHz. Aujourd'hui, les applications de ces micro-ondes sont nombreuses que ce soit dans le cadre des systèmes de communication, de navigation (GPS, ...) ou RADAR.

Au travers des différents enseignements et projets pratiques proposés, ce cours présente les spécificités de l'électronique micro-ondes et apporte des réponses sur comment analyser, modéliser et caractériser expérimentalement les différents composants et systèmes micro-ondes.

OBJECTIFS

- ➔ Identifier les différents circuits et antennes micro-ondes.
- ➔ Comparer les différents circuits et antennes micro-ondes au travers de leurs paramètres intrinsèques.

- ➔ Réaliser la modélisation numérique d'un circuit ou d'une antenne micro-onde.
- ➔ Envisager la caractérisation expérimentale d'un circuit ou d'une antenne micro-onde.
- ➔ dimensionner l'architecture d'un système de communication ou d'un système RADAR.

PLAN

- ➔ Introduction
- ➔ Rappels d'électromagnétisme
- ➔ Théorie des lignes de transmission
- ➔ Lignes de transmission / guides d'ondes
- ➔ Circuits micro-ondes passifs et actifs
- ➔ Antennes micro-ondes
- ➔ Simulation et outils numériques
- ➔ Mesure micro-ondes

ÉVALUATION

- ➔ Examen écrit.
- ➔ Présentation orale (mini-projet de recherche).

|| 3^e année | S5 ||

TRAITEMENT D'ANTENNES

Responsable: Olivier BESSON

F-SI312

PROGRAMME

- ➔ Introduction: exemples d'application (radar, communications par satellite), modélisation des signaux, vecteur directionnel
- ➔ Diagramme du réseau: diagramme ULA et formation de faisceaux conventionnelle
- ➔ Formation de faisceaux adaptative: optimum, MPDR, MVDR
- ➔ Formation de faisceaux robuste
- ➔ Formation de faisceaux partiellement adaptative
- ➔ Localisation de sources: CBF, Capon, MUSIC
- ➔ Mini-projet et applications sur un réseau d'antennes
- ➔ Détection de signaux

3,5

ECTS
50 h

Filière SISY

AUTOMATIQUE AVANCÉE

OBJECTIFS

L'objectif de ce parcours est triple :

- ➔ détailler les outils de représentation et d'analyse des systèmes dynamiques dans l'espace d'état, notamment en abordant les problèmes de minimalité, de réductions de modèles, de représentation des incertitudes fréquentielles et paramétriques, de modélisation des systèmes non-linéaires ;
- ➔ caractériser la réponse des systèmes linéaires à des signaux aléatoires et détailler les techniques d'identification (caractérisation du comportement de systèmes à partir de données expérimentales) ;
- ➔ présenter les diverses techniques de synthèse de lois de commande, notamment celles utilisées dans le domaine du pilotage et du guidage des véhicules aérospatiaux. On présentera en particulier les techniques fondées sur un estimateur d'état et un retour d'état (approches modales et LQG), et la synthèse de lois de commande structurée robuste aux

incertitudes de modélisations et aux perturbations extérieures par les techniques H₁ et H₂. La partie relative au guidage détaillera la programmation non linéaire, la programmation dynamique, le principe de maximum de Pontryagin et leurs applications à la génération de trajectoires pour les systèmes dynamiques (guidage en temps minimum, à consommation minimale, ...). Enfin, les techniques de synthèse de lois de commande propres aux systèmes non-linéaires seront détaillées.

ÉVALUATIONS

Le parcours est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note de de tests écrits (2 tests écrit sur les parties représentation/analyse des systèmes et commande des systèmes).

MODÉLISATION SIGNAUX ET SYSTÈMES DYNAMIQUES

Responsable : Yves BRIÈRE

F-SI322

1,5
ECTS
24 h

PROGRAMME

- ➔ Analyse et simulation de signaux aléatoires/ Filtre de Kalman (cas continu)
- ➔ Identification des systèmes dynamiques



2,5
ECTS
38 h

REPRÉSENTATION ET ANALYSES DES SYSTÈMES DYNAMIQUES

F-SI321

Responsable : Daniel ALAZARD

PROGRAMME

- ➔ Introduction. Représentation MIMO
- ➔ Valeurs singulières, grammians
- ➔ Analyses temporelles et fréquentielles, MIMO, marges
- ➔ Réduction de modèles
- ➔ BE de synthèse
- ➔ Modélisation LFT
- ➔ Mu-analyse
- ➔ BE de synthèse
- ➔ Observation non-linéaire, Lyapunov. Plan de phase, premier harmonique

COMMANDES DES SYSTÈMES

Responsable : Joël BORDENEUVE-GUIBÉ

F-SI323

2,5
ECTS
38 h

PROGRAMME

- ➔ Introduction
- ➔ Commande modale, LQ/LQG, LTR
- ➔ Trajectoires optimales
- ➔ Commande Hinf, H₂, H₂/Hinf, multi-objectifs. Comparaison des approches
- ➔ Commande des systèmes non-linéaires : anti-windup et inversion de la dynamique

ACQUISITION ET TRAITEMENT D'IMAGES

OBJECTIFS

L'objectif de ce parcours de sensibiliser les étudiants :

- ➔ au traitement et à l'analyse d'image
- ➔ aux techniques d'acquisition d'images

ÉVALUATIONS

Ce parcours est évalué par trois notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note d'examen écrit ;
- ➔ Une note de lectures d'articles.

TECHNIQUES AVANCÉES EN TRAITEMENT D'IMAGES

Responsable : Emmanuel ZENOU

F-SI332

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de dispenser un enseignement avancé pour le traitement d'images, la reconnaissance de forme, l'analyse de textures ou la restauration d'images, fondées sur des approches stochastiques (méthodes markoviennes, modèles de Potts, processus ponctuels marqués...) et déterministes (EDP, méthodes variationnelles...), appliquées à l'imagerie médicale, la robotique ou l'observation de la Terre.

ÉVALUATIONS

BE, lectures d'articles, examen écrit

BIBLIOGRAPHIE

Image analysis, random fields and dynamic Monte-Carlo methods, G. Winkler, Springer Verlag
Statistical Image Processing and Image Modeling », P. Fieguth, Springer Verlag

ANALYSE ET TRAITEMENT D'IMAGES

Responsable : Emmanuel ZENOU

F-SI331

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est d'introduire les principales notions de traitement d'image et de vision par ordinateur: introduction à la vision humaine, vision par ordinateur, signaux 2D, filtrage et segmentation, morphologie mathématique, transformées de Fourier et en ondelettes, et des notions d'analyse d'images fondées sur des algorithmes d'optimisation, notamment stochastiques (recuit simulés, méthodes de Montecarlo...)

ÉVALUATIONS

BE, Lectures d'articles

BIBLIOGRAPHIE

Introduction to Computer Vision, Emmanuel Zenou, ISAE
Computer Vision, a Modern Approach, David A. Forsyth, Jean Ponce

SYSTÈME DE CAPTURE D'IMAGES

Responsable : Pierre MAGNAN

F-SI333

OBJECTIFS

Ce Cours à pour objectif d'introduire la capture d'image dans toutes ses dimensions: spectrales (rayon X, UV, visible, infrarouge...), technologiques (capteurs CMOS, caméras thermiques...), géométriques (2D & 3D...)

ÉVALUATION

BE, lectures d'articles.

BIBLIOGRAPHIE

Multiple View Geometry in Computer Vision: Richard Hartley, Andrew Zisserman

AUTOMATIQUE ET APPLICATIONS

OBJECTIFS

L'objectif de ce parcours est de donner aux étudiants des outils et des exemples permettant d'appréhender la mise en œuvre de lois de commande dans un système réel. Le premier module « conduite et décision » est consacré à l'architecture de haut niveau permettant de planifier et de séquencer les tâches d'une mission. Le second module est consacré aux outils et méthodes d'implantation des lois de commande : échantillonnage, implantation temps réel. Plusieurs applications classiques (pilotage de lanceur, maintien à poste de satellite, pilotage d'avion) seront détaillées dans un troisième module. Enfin, une étude de cas au choix permettra de faire la synthèse de tous les aspects liés à la mise en œuvre des lois de commande pour les systèmes aérospatiaux.

IMPLANTATION DES LOIS DE COMMANDES

Responsable : Yves BRIÈRE

F-SI342

1,5
ECTS
25 h

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants des outils et des exemples permettant d'appréhender la mise en œuvre de lois de commande dans un système réel. Le module est consacré aux outils et méthodes d'implantation des lois de commande : échantillonnage, implantation temps réel.

PROGRAMME

- ➔ Principes de synthèse de correcteurs discrets
- ➔ Systèmes temps réel : théorie et méthodologie de développement
- ➔ Synthèse d'un environnement de commande d'un système de contrôle-commande (roue à inertie)
 - Conception de l'environnement de commande
 - Synthèse des lois de commande
 - Codage, implantation et test des lois de commande

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ une note de BE (partie temps réel);
- ➔ une note de BE (partie commande).

1,5
ECTS
25 h

SYSTÈMES DE DÉCISION

Responsable : Yves BRIÈRE

F-SI341

OBJECTIFS

Ce module est consacré à l'architecture de haut niveau permettant de planifier et de séquencer les tâches d'une mission. Après une introduction donnant l'architecture générique d'un système de décision le cours est séparé en deux parties principales. La première partie est consacré aux outils et aux méthodes de la planification. La seconde partie est consacrée aux systèmes à événements discrets. Chaque partie est illustrée d'un BE applicatif.

PROGRAMME

- ➔ Introduction : Architecture d'un système de décision
- ➔ Planification
 - Définitions du problème
 - Langages de modélisation : PDDL, PPDDL
 - Algorithmes de résolution

- Quelques mots pour aller plus loin : HTN, multi-agent, supervision, congrès scientifiques (ICAPS, IPC), ...
- BE (salle info)
- ➔ Modélisation et supervision de systèmes à événements discrets
 - Réseaux de Petri, définition, propriétés, modélisation, exemples et exercices
 - BE ProCoSA : supervision d'un drone

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

- ➔ deux notes de BE effectués en classe de TD notés;
- ➔ une note d'examen écrit.

APPLICATION ET ÉTUDE DE CAS

Responsable : Caroline BÉRARD

F-SI3413

3,5
ECTS
50 h

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est d'illustrer les principaux concepts de commande à des applications du secteur aérospatial. Ainsi plusieurs applications classiques (pilotage de lanceur, maintien à poste de satellite, pilotage d'avion) seront détaillées. D'autre part, une étude permettra de faire la synthèse de tous les aspects liés à la mise en œuvre des lois de commande pour les systèmes aérospatiaux.

PROGRAMME

- ➔ Applications
 - Lanceur
 - Satellite
 - Avion
- ➔ Étude de cas
 - Loi de pilotage avion
 - Systèmes mécaniques complexes

ÉVALUATIONS

- ➔ Comptes rendus des divers BE traités

FILIÈRE INFORMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION ET RÉSEAUX (ITR)

Responsable : José RADZIK

La filière ITR forme des ingénieurs à l'intersection des domaines aéronautiques, spatiaux et numériques. Suivant le parcours choisi, les étudiants s'orientent vers un profil soit d'architecte des systèmes informatiques critiques, soit de concepteur des systèmes de télécommunications spatiales. La formation s'appuie sur un ensemble de cours théoriques et pratiques couvrant les enjeux scientifiques, technologiques et industriels de ces domaines, animés par des chercheurs et des industriels reconnus.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Elles dépendent du parcours choisi par l'étudiant : une compétence commune est la compréhension des réseaux tant au niveau matériel que logiciel. L'introduction aux contraintes de sécurité doit permettre de comprendre leur impact sur la conception des systèmes informatiques et des réseaux de télécommunications.

Les étudiants du parcours « télécommunications et réseaux » seront capables d'analyser un système de communication par satellites en couvrant tous les aspects dimensionnant depuis la couche physique jusqu'aux applications. Ceci suppose :

- ➔ la maîtrise des caractéristiques du canal de propagation sol-espace et des modèles associés ;
- ➔ la compréhension des paramètres des antennes communément utilisées et des contraintes des charges utiles ;
- ➔ la capacité à concevoir une chaîne de communication numérique complète ;
- ➔ la capacité à évaluer la performance globale fournie par le système et perçue par l'utilisateur.

Les étudiants du parcours « informatique » seront capables de concevoir, réaliser et analyser des logiciels complexes. Ceci suppose :

- ➔ la maîtrise générale des langages de programmation, environnement d'exécution et des méthodes de conception ;
- ➔ la compréhension des paramètres influant sur la qualité du logiciel et sa capacité à être utilisé dans un système aéronautique et spatial ;
- ➔ la capacité à concevoir, réaliser, vérifier et valider un logiciel pour un cahier des charges donné ;
- ➔ la capacité à évaluer les performances d'un système informatique et à borner les incertitudes sur les niveaux atteignables.

Tronc commun

- ➔ Architecture informatique et réseaux
- ➔ Sécurité des systèmes informatiques et réseaux

Parcours Informatique

- ➔ Systèmes temps réel
- ➔ Ingénierie dirigée par les modèles
- ➔ Systèmes distribués
- ➔ Séminaires

Parcours Télécommunication et réseau

- ➔ Communications numériques
- ➔ Systèmes spatiaux
- ➔ Communication par satellites pour les mobiles et l'aéronautique
- ➔ Internet et services multimédia par satellites
- ➔ Constellations pour les communications et la navigation

ARCHITECTURE INFORMATIQUE ET RÉSEAUX

Responsable : Jérôme HUGUES

F-ITR301

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants une compréhension des mécanismes de base des systèmes d'exploitation et de la concurrence d'une part, des réseaux basés sur le protocole TCP/IP d'autre part.

Concernant les systèmes d'exploitation : la gestion des processus et de la mémoire et les appels systèmes disponibles depuis le langage C seront détaillés. Une présentation des services de base de la norme POSIX complètera cette présentation. Une présentation de la machine virtuelle Java complète ce panorama des technologies pour la concurrence.

Concernant les réseaux : le cours s'articulera autour des couches réseaux et transport. On y trouvera une présentation des protocoles de la suite TCP/IP qui seront illustrés par le biais d'outils du domaine public ainsi qu'une étude détaillée de l'interface de programmation socket.

Un projet permettra de mettre en œuvre différents patrons pour la concurrence et le traitement parallèle de données sur un ou plusieurs nœuds d'une application.

PROGRAMME

- ➔ Programmation concurrente et parallèle
- ➔ OS, processeur et architecture mémoire
- ➔ Réseaux
- ➔ Programmation concurrente : POSIX, Java
- ➔ Patrons de conception pour la concurrence

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'examen (50 %) ;
- ➔ Une note de projet (50 %).

SÉCURITÉ DES SYSTÈMES INFORMATIQUES ET RÉSEAUX

Responsable : Yann BACHY

F-ITR302

OBJECTIFS

La sécurité informatique vise à protéger les ordinateurs et systèmes d'information contre des attaques malveillantes. Ces problématiques englobent de nombreux aspects qui touchent à la fois au matériel, aux logiciels, à l'environnement ainsi qu'aux comportements sociaux des usagers. Le but de ce cours est d'aborder les principes fondamentaux de la sécurité informatique. Nous partirons d'une vision organisationnelle vers des solutions et analyses techniques afin d'illustrer les différents métiers régissant la sécurité informatique.

- ➔ L'analyse des risques et son utilisation concrète au sein d'une organisation.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ une note de rapport portant sur une analyse des risques réalisée sur un sujet libre ;
- ➔ une note de présentation à l'oral des résultats de l'analyse des risques réalisée.

PROGRAMME

- ➔ Introduction à la sécurité informatique et présentation de ses concepts fondamentaux
- ➔ Pourquoi faut-il de la sécurité informatique et comment l'applique-t-on ?
- ➔ Organisation de la sécurité dans les organisations

SYSTÈMES TEMPS RÉEL

Responsable : Ahlem MIFDAOUI

F-ITR303



OBJECTIFS

Dans ce cours, nous nous intéressons aux systèmes temps réel qui sont présents dans diverses applications comme l'aéronautique, le spatial, les centrales nucléaires ou encore le médical. Le bon fonctionnement de ces systèmes est primordial pour répondre aux exigences utilisateur. Ce fait dépend non seulement de l'exactitude des résultats fournis, mais également des instants de leur génération. Nous étudierons dans ce cours les performances des différentes architectures système de type monoprocesseur, multiprocesseur et systèmes communicants via réseaux embarqués. Cette étude prendra en compte l'impact des politiques d'ordonnement sur les temps de réponse des différentes applications, mais également des systèmes d'exploitation et des langages de programmation sur leurs temps d'exécution.

PROGRAMME

- Introduction aux systèmes temps réel (définition, caractéristiques, exigences, challenges)
- Systèmes temps réel et ordonnancement temps réel
- Ordonnement mono-processeur: tâches périodiques indépendantes, tâches hétérogènes (périodiques et aperiodiques) et tâches dépendantes (précédence et partage de ressources)
- Ordonnement multi-processeurs
- Présentation des langages de programmation temps réel
- Présentation des systèmes d'exploitation temps réel
- Calcul des temps d'exécution des tâches
- Les problèmes de mapping SW/HW
- Introduction aux systèmes répartis et analyse des performances
 - réseaux embarqués classiques de type CAN et ARINC429
 - réseaux de nouvelle génération de type AFDX et Spacewire

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- Une note d'examen (2/3) ;
- Une note de projet (1/3).

INGÉNIERIE DIRIGÉE PAR LES MODÈLES

Responsable : Pierre DE SAQUI-SANNES

F-ITR304

OBJECTIFS

Formé de deux parties complémentaires, ce cours traite de l'implantation de code correct au travers d'une approche basée modèle de la génération de code et des techniques de validation.

Les systèmes temps réel ont atteint un tel niveau de complexité que les travaux sur les langages de modélisation aptes à aider à maîtriser la complexité de ces systèmes ont vu leur développement croître dans le monde de la recherche, de l'industrie et de la normalisation. L'expression « Ingénierie Dirigée par les Modèles » (IDM en abrégé) a été introduite pour réunir sous un même chapeau un ensemble d'activités qui font des modèles une référence pour détecter les erreurs de conception au plus tôt dans le cycle de vie des systèmes ou du logiciel, et pour produire du code ou des séquences de tests à partir de ces modèles.

Les objectifs de ce cours sont les suivants :

- Modéliser des systèmes en utilisant SCADE System qui est un outil basé sur SysML.
- Modéliser du logiciel critique en utilisant SCADE Suite.
- Mettre en œuvre une méthode de modélisation en partant du système pour arriver au logiciel.
- Expérimenter les bénéfices d'outils qui permettent de détecter les erreurs de conception sur le modèle lui-même.
- Appréhender les tenants et les aboutissants de la génération de code critique, particulièrement pour les applications critiques en vies humaines.

La deuxième partie du cours présente plusieurs techniques de validation logicielle qui est l'activité qui consiste à vérifier qu'un logiciel satisfait les exigences le définissant. Cela peut être fait classiquement en testant le logiciel, mais pour des systèmes complexes et critiques les méthodes formelles sont maintenant utilisées pour prouver que ces systèmes sont corrects par rapport à leurs spécifications. Les méthodes formelles fournissent des théories mathématiques et des outils pratiques pour raisonner sur la correction d'un logiciel. Le but de cette partie du cours est de présenter trois approches différentes pour valider tout ou partie d'un logiciel :

- les méthodes déductives seront présentées à travers le langage de spécification ACSL et des démonstrateurs de théorèmes automatiques comme Alt-Ergo, CVC3 ou Z3
- le model-checking sur la logique temporelle linéaire (LTL) sera utilisé pour prouver des propriétés de haut-niveau sur un programme (liveness etc.)
- l'interprétation abstraite est une théorie qui permet d'approximer le comportement d'un programme et peut être utilisée pour prouver des propriétés sur des logiciels complexes (par exemple utilisant des calculs numériques)

Une introduction générale à ces approches sera donnée durant la première session de cours. Les étudiants choisiront alors un track d'approfondissement correspondant à une méthode particulière (3 ou 4 étudiants par méthode). Durant les 12 heures dédiées à chaque track, les étudiants seront encadrés par un spécialiste de chaque technique et aborderont le domaine d'un point de vue théorique mais aussi pratique. Un cas d'étude commun (auto-pilote, SCAO) sera utilisé et les étudiants présenteront leur travail et leurs conclusions (pros et cons de chaque technique) lors d'un mini-workshop. Enfin, un retour industriel sur l'utilisation de ces techniques, en particulier dans l'industrie aérospatiale, sera fait.

PROGRAMME

- Introduction
- Requirement Engineering
- SysML
- TTool / SCADE System + test
- SCADE – control flow
- SCADE – state machine
- SCADE – lab + test
- SCADE – Project
- Introduction to formal method
- Formal method track

EVALUATIONS

Le module est évalué par cinq notes :

- Trois notes de QCM
- Deux notes de projets

SYSTÈMES DISTRIBUÉS

Responsable: Pierre SIRON

F-ITR305

OBJECTIFS

Ce module aborde l'architecture des systèmes distribués, c'est-à-dire pour lesquels les traitements et les données sont répartis sur plusieurs processeurs ou unités informatiques.

PROGRAMME

- Introduction
- Distributed algorithms
- Time, order and causality
- HLA
- Middleware for distributed systems
- Database, entity-relation model
- Relational algebra, SQL
- Transactions, other model of DB
- SPARK

COMMUNICATIONS NUMÉRIQUES

Responsable: Damien ROQUE

F-ITR313

OBJECTIFS

Ce module vise à fournir aux étudiants l'ensemble des compétences nécessaires à la compréhension et à la conception d'une chaîne de communication numérique complète. Les étudiants doivent ainsi être en mesure de mobiliser des outils d'analyse et de choix des associations canal/modulation/codage les plus pertinentes dans des systèmes de communication réels.

Pour cela, le 1^{er} chapitre aborde les principales techniques de transmission d'information numérique en mobilisant des outils du traitement du signal déterministe et aléatoire. Ces techniques de transmission sont évaluées et critiquées dans le contexte de systèmes réels opérant sur des canaux de propagation non-dispersifs.

Le 2^e chapitre met l'accent sur la synchronisation des récepteurs radio (fréquence, phase et symbole). Une approche à temps discret est notamment développée afin de faciliter la mise en œuvre de ces algorithmes d'estimation et de correction sur des récepteurs de radio logicielle.

Le 3^e chapitre traite de la théorie de l'information et du codage canal. En particulier, les méthodes de

décodage itératives sont abordées, notamment dans le cadre d'applications spatiales récentes.

Pendant toute la durée du module, des travaux pratiques et des illustrations basées sur une plateforme de radio logicielle permettent de confronter notre analyse théorique à des signaux réels.

PROGRAMME

- Rappels d'analyse spectrale, processus aléatoires, filtrage.
- Rappels sur la représentation des signaux à bande étroite et sur la numérisation.
- Émetteur linéaire : choix des symboles, impulsions de mise en forme, critère de Nyquist.
- Récepteur optimal sur canal à AWGN.
- Synchronisation et estimation au maximum de vraisemblance.
- Algorithmes de synchronisation à temps discret.
- Théorie de l'information et du codage canal.

EVALUATION

- Une note de bureau d'études.
- Une note d'examen écrit.

SÉMINAIRES

Responsable: Jérôme HUGUES

F-ITR306

OBJECTIFS

Les systèmes embarqués sont étroitement intégrés au système le gouvernant pour remplir leur mission: commande d'un moteur, d'aider un pilote, guidage d'un véhicule, etc. En tant que tel, leurs composants matériels et logiciels doivent être prêts à remplir leur mission, d'interagir dans leur environnement, mais aussi de résister à leur environnement. Dans ce cours, nous couvrons les éléments pratiques à considérer lors de la construction de systèmes critiques pour les domaines de l'espace et de l'avionique.

Nous passons d'abord en revue les concepts généraux d'architectures informatiques, le matériel et les mécanismes de tolérance aux pannes. Puis, des conférences par les partenaires industriels de l'ISAE reviendront sur les principaux défis lors de la conception des systèmes critiques.

SYSTÈMES SPATIAUX

Responsable: José RADZIK

F-ITR314

OBJECTIFS

Le module d'enseignement « Systèmes spatiaux » débute par une présentation globale d'un système spatial typique: satellite(s) en distinguant charge utile et plateforme, stations terriennes, terminaux utilisateurs. Cette présentation permet d'articuler l'ensemble des enseignements du parcours: architectures particulières en fonction des services, modèles de canaux, topologies de réseaux... Les contraintes apportées par les charges utiles des satellites de télécommunications sur la conception du système complet sont détaillées. Parmi les équipements embarqués, les amplificateurs de puissance et les antennes sont certainement les plus critiques, justifiant une attention particulière. Une part importante du module est ensuite consacré à la modélisation du canal, principalement aux fréquences élevées (au-delà de 20 GHz) désormais usuelles pour les services fixes et mobiles mais présentant des évanouissements importants en fonction de l'état de l'atmosphère.

PROGRAMME

- Architecture des systèmes spatiaux, rôles des différents composants (terminaux, stations terriennes, satellites)
- Équipements hyperfréquences pour les systèmes spatiaux, contraintes d'intégration dans les satellites
- Conception d'antennes pour les systèmes spatiaux
- Propagation aux fréquences élevées, effets atmosphériques, modélisation des canaux
- Bilan de liaison d'un système de télécommunications en bande Ka par satellite géostationnaire (APP)

ÉVALUATIONS

Ce module est évalué par deux notes:

- Une note de rapport (50 %);
- Une note de restitution de classe APP (50 %).

**COMMUNICATION PAR SATELLITES
POUR LES MOBILES ET L'AÉRONAUTIQUE**

F-ITR315

Responsable: Jérôme LACAN

OBJECTIFS

Les satellites jouent un rôle important dans les communications pour les mobiles. Deux types de systèmes sont étudiés: les communications aéronautiques (terminaux satellite embarqués à bord d'avions civils, services de contrôle aérien et de connexion des passagers aux réseaux terrestres), les systèmes dédiés aux terminaux mobiles pour les communications personnelles (petits terminaux, services de diffusion ou de télécommunications).

PROGRAMME

- Communications pour l'aviation civile (panorama)
- Les communications par satellites pour l'aviation civile (applications contrôle aérien, compagnies aériennes, passagers)
- Le canal radio-mobile et les techniques de transmission adaptées
- Le système de télécommunications pour les mobiles LTE
- Systèmes de communication par satellites pour les mobiles

ÉVALUATIONS

Ce module est évalué par une note :

- Une note de BE.

**CONSTELLATIONS POUR LES COMMUNICATIONS
ET LA NAVIGATION**

Responsable: José RADZIK

F-ITR317

OBJECTIFS

Ce module a pour objectif d'introduire le dimensionnement des constellations de satellites pour les applications de télécommunications et de navigation. Ces deux applications sont ensuite présentées en insistant sur l'impact de la conception de la constellation sur l'architecture du système et les performances obtenues.

PROGRAMME

- Conception des constellations: modèles de Beste et Walker, dimensionnement d'une constellation suivant les exigences de visibilité demandées.

- Application à la navigation, résolution des équations de positionnement et dilution géométrique
- Applications pour les télécommunications

ÉVALUATIONS

Ce module est évalué par une note : QCM

**INTERNET ET SERVICES MULTIMÉDIA PAR SATELLITES**

F-ITR316

Responsable: José RADZIK

OBJECTIFS

Les réseaux de télécommunication actuels, et particulièrement dans le domaine spatial, tendent vers un double objectif de convergence (un même réseau pour tous les types de trafic) et de gestion de qualité de service (comportement du réseau différent selon le type de trafic). Les services considérés dans ce module concernent les terminaux fixes (résidentiels, relais de réseaux locaux). Les contraintes propres aux réseaux d'accès par satellite, leur impact sur la gestion des ressources sont étudiées au travers des systèmes normalisés par l'ETSI (DVB-S et -S2/DVB-RCS et -RCS2) ou TIA (IPoS). Les problèmes spécifiques aux systèmes satellite à très haute capacité sont analysés et les techniques avancées mises en œuvre dans ce contexte sont présentées.

- La liaison aller, la norme DVB-S2
- La liaison retour, la norme DVB-RCS2
- Les satellites très hautes capacités, contraintes de conception et pistes d'amélioration
- Adaptation des couches hautes aux réseaux de télécommunication par satellites, les accélérateurs (PEP)
- Les charges utiles optiques

ÉVALUATIONS

Ce module est évalué par deux notes :

- Une note de BE effectués en TDs notés (50 %);
- Une note d'examen (50 %)

PROGRAMME

- Architecture BSM (Broadband Satellite Multimedia) et intégration des satellites dans le réseau Internet

FILIÈRE

**OBSERVATION DE LA TERRE
ET SCIENCES DE L'UNIVERS (OTSU)**

Responsable: David MIMOUN

L'objectif de la filière est de délivrer une formation de haut niveau permettant de familiariser les ingénieurs ISAE-SUPAERO avec les technologies et les thématiques utilisées dans l'observation de la Terre et les missions spatiales scientifiques. Elle permet également aux élèves désireux de continuer leur formation dans la recherche de conjuguer leur formation d'ingénieur avec une formation scientifique leur permettant de poursuivre en thèse. Cette filière possède de nombreux débouchés: grands industriels du spatial (Airbus-DS, ThalesAleniaSpace ...), agences spatiales: ESA, CNES, NASA, instituts de recherche: CNRS..., PME spécialisées dans l'exploitation des données spatiales et leurs applications.

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES VISÉES

Les étudiants devront avoir acquis au cours de la formation les compétences suivantes:

- ➔ Connaissances générales en physique des capteurs optiques et radar pour l'observation de la terre, capteurs utilisés en astrophysique
- ➔ Analyse et traitement des mesures issues de ces données, y compris assimilation dans des modèles. Design préliminaire de la chaîne de traitement
- ➔ Connaissances thématiques générales du domaine observation de la Terre ou sciences de l'Univers, suivant parcours
- ➔ Design préliminaire d'une mission spatiale sur les thématiques observation de la terre et sciences de l'Univers

STRUCTURATION DU CURSUS

La filière s'articule autour d'un tronc commun auquel viennent se greffer deux parcours: Sciences de l'Univers ou Science de la Terre et Environnement.

Tronc commun

- ➔ Physique de la mesure et instrumentation associée
- ➔ Analyse et traitement des mesures
- ➔ Architecture des missions scientifiques spatiales
- ➔ Planétologie et gravimétrie

**Parcours
Sciences de l'Univers (SU)**

- ➔ Astrophysique
- ➔ Mécanique céleste avancée
- ➔ Gravitation

**Parcours Science de la Terre
et Environnement (STE)**

- ➔ Ingénierie de l'observation
- ➔ Fondamentaux des Sciences de la Terre

PHYSIQUE DE LA MESURE ET INSTRUMENTATION ASSOCIÉE

Responsable: David MIMOUN

F-OTSU301

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est tout d'abord d'introduire une vue d'ensemble des différentes technologies de capteurs utilisés en Observation de la Terre et Sciences de l'Univers, avec une compréhension de leurs contraintes. La deuxième partie du module vise à donner des bases de transfert radiatif, qui sont un élément clé pour la compréhension de ces problèmes.

PROGRAMME

- ➔ Physique de la mesure & capteurs (Optique, RADAR, LIDAR...)
- ➔ Transfert radiatif (Électromagnétisme, transfert de rayonnement, équation du transfert, raies spectrales.) . L'approche utilisée sera interactive avec beaucoup d'applications (BE)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE effectués en TDs notés;
- ➔ Une note d'examen.

ANALYSE ET TRAITEMENT DES MESURES

Responsables: Emmanuel ZENOU / Youssef DIOUANE

F-OTSU302

OBJECTIFS

Ce module vise à renforcer les bases théoriques nécessaires à l'analyse et au traitement des mesures. Il se compose de trois composantes: traitement du signal et de l'image, traitement de données, et modèles inverses.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés;
- ➔ Une note d'examen écrit.

PROGRAMME

- ➔ Traitement du signal et de l'image, traitement de données
- ➔ Modèles inverses (Généralités, Monte Carlo, Moindres carrés, Minimax)

ARCHITECTURE DES MISSIONS SCIENTIFIQUES SPATIALES

F-OTSU303

Responsable : David MIMOUN

OBJECTIFS

Ce module permettra d'appliquer sur un cas concret la compréhension des contraintes de design des missions scientifiques, avec une attention particulière portée à la construction du cas scientifique. Deux exemples au choix seront traités, en observation de la Terre et en sciences de l'Univers. Les outils utilisés seront ceux du plateau d'analyse des systèmes orbitaux du CNES.

PROGRAMME

- ➔ Ingénierie Systèmes scientifiques - Management des exigences techniques 5 h
- ➔ Architecture segment sol scientifique, Centre de données scientifiques, Observatoires virtuels
- ➔ Design préliminaire d'une mission scientifique
 - Utilisation des outils du PASO
 - Matrice Scientifique, Exigences, Charge utile, architecture système, concept opérationnel

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note de soutenance.

ASTROPHYSIQUE

Responsable : David MIMOUN

F-OTSU310

➔ ASTROPHYSIQUE EXTRAGALACTIQUE ET COSMOLOGIE

OBJECTIFS

Comprendre les bases de la cosmologie et de la physique des galaxies

PROGRAMME

- ➔ Paramètres Cosmologiques
- ➔ Matière noire
- ➔ Structure à grande échelle
- ➔ Théorie de formation des structures
- ➔ Dynamique galactique
- ➔ Dynamique des galaxies
- ➔ Évolution chimique et spectro-photométrie des galaxies
- ➔ Noyaux actifs de galaxies (AGN)

➔ PHYSIQUE STELLAIRE

OBJECTIFS

Approfondir les connaissances sur la physique des étoiles

PROGRAMME

- ➔ Panorama de la place de la physique stellaire dans l'astrophysique moderne
- ➔ Rappels sur le modèle standard
- ➔ Processus microscopiques
- ➔ Processus macroscopiques
- ➔ Autres processus de transport
- ➔ Le modèle standard d'atmosphères stellaires
- ➔ Au-delà des modèles standard
- ➔ La mesure polarimétrique
- ➔ Exploitation des spectres stellaires polarisés

PLANÉTOLOGIE ET GRAVIMÉTRIE

F-OTSU304

Responsable : Raphaël GARCIA

OBJECTIFS

Comprendre les bases des théories actuelles concernant la structure et l'évolution des planètes telluriques

PROGRAMME

Structure des planètes telluriques

Ce cours présente la structure interne des planètes telluriques déterminée à partir d'observations géophysiques et fournit une courte description de leur dynamique interne. La géochimie et les équations d'état des matériaux constituant les planètes sont décrits. Puis les contraintes d'ordre zéro sur la taille, la masse et le moment d'inertie polaire sont présentées à partir de l'étude de la dynamique orbitale des planètes et des phénomènes de marées. Les relations entre leur champ de gravité et la structure crustale sont ensuite discutées. Puis, le champ magnétique interne des planètes et les contraintes sur son évolution sont décrits. La sismologie planétaire est ensuite présentée comme

un outil permettant d'obtenir la structure et la dynamique interne des planètes. Finalement, les concepts de base gouvernant la dynamique interne des planètes sont détaillés.

Évolution des planètes telluriques

Ce cours illustre la démarche qui permet de reconstruire l'évolution globale d'une planète à partir des observations de surface (topographie, propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des surfaces). Nous aborderons le processus de cratérisation (physique des ondes de choc dans les solides), à la fois comment facteur d'évolution de tous les corps du système solaire, et comme outil chronologique permettant de retracer cette évolution. Nous aborderons ensuite les phénomènes volcaniques et magmatiques témoins de l'évolution dynamique et thermique de l'intérieur planétaire.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'examen écrit ;
- ➔ Une note de soutenance (article de recherche).

MÉCANIQUE CÉLESTE AVANCÉE

Responsable : David MIMOUN

F-OTSU311

OBJECTIFS

Comprendre et utiliser les outils de la mécanique céleste moderne.

PROGRAMME

- ➔ Rappels de mécanique céleste 1/2 (Approche classique, Viriel, problème à trois corps restreint)
- ➔ Rappels de mécanique céleste 2/2 (Hamiltonien Équations de Lagrange et Gauss, développement du potentiel en harmoniques sphériques)
- ➔ Trajectoires interplanétaires
- ➔ Couplage Spin orbite
- ➔ Principales perturbations, développement de Kaula
- ➔ Applications à classes d'orbites particulières
- ➔ Restitution d'orbite
- ➔ Phénomènes de marée (problème du J2)
- ➔ Grand Tack / Dynamique du système solaire

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note d'examen écrit.

GRAVITATION

Responsable : David MIMOUN

F-OTSU312

OBJECTIFS

- ➔ Maîtriser les bases de la relativité générale

PROGRAMME

- ➔ Les principes de relativité
- ➔ Analyse tensorielle et covariance. Formalisme
- ➔ La courbure de l'espace: qu'est ce qu'un espace courbe, le tenseur de courbure
- ➔ Les équations d'Einstein
- ➔ Cosmographie
- ➔ Cosmologie et modèle standard
- ➔ Applications de la Relativité Générale: la métrique de Schwarzschild, les tests expérimentaux de la Relativité Générale, la déviation des rayons lumineux, les trous noirs, les ondes gravitationnelles

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note de BE effectués en classe de TD notés ;
- ➔ Une note d'examen écrit.

FONDAMENTAUX DES SCIENCES DE LA TERRE

Responsable : Emmanuel ZENOU

F-OTSU322

OBJECTIFS

Ce module a pour objectifs de

- ➔ d'exposer les grands enjeux liés aux sciences de la Terre ;
- ➔ d'enseigner les modèles intrinsèques géophysiques de chaque grand domaine ;
- ➔ de montrer le lien avec les modèles d'observation.

PROGRAMME

- ➔ Océanographie
- ➔ Météo, Atmosphère, Climat
- ➔ Forêt & Végétation,
- ➔ Hydrologie & Cycle de l'eau

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'examen écrit ;
- ➔ Une note de soutenance.

**INGÉNIERIE DE L'OBSERVATION**

Responsable : Emmanuel ZENOU

F-OTSU321

OBJECTIFS

Ce module a pour objectif de montrer les applications industrielles et institutionnelles liées à l'observation de la Terre.

PROGRAMME

- ➔ Applications : SIG, Cartographie, géosciences, géo-intelligence
- ➔ Imagerie Radar
- ➔ Traitement de Données
- ➔ Séparation de sources

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- ➔ Une note d'examen écrit ;
- ➔ Une note de soutenance.

STAGE DE FIN D'ÉTUDES

24
ECTS

Mini. 5 mois

STAGE DE FIN D'ÉTUDES

Responsable: un par filière

SFE

OBJECTIFS

Les élèves ingénieurs ont dans leur cursus un Stage de Fin d'Études. Celui-ci, effectué en entreprise ou dans un laboratoire de recherche, conclut la formation. L'élève doit réaliser un travail d'ingénieur ou de jeune chercheur, bien défini, encadré par un responsable scientifique au sein de l'entreprise ou du laboratoire et suivi par un correspondant école. Positionné de fin mars à fin septembre, il peut être étendu si besoin jusqu'en décembre.

ÉVALUATION

Rapport de stage

Ce rapport doit comporter le sujet et les objectifs fixés, le contexte du travail, le contexte scientifique, les principaux problèmes rencontrés, une synthèse du travail effectué avec mise en évidence de la contribution personnelle de l'étudiant et une conclusion générale. Dans le cas d'un rapport de M2R, l'esprit du rapport devra être différent et l'accent sera mis sur le contexte

scientifique au travers d'une bibliographie. La contribution scientifique fera également l'objet d'une présentation très méthodologique, permettant d'évaluer les capacités du candidat à mener un travail de recherche.

Fiche de synthèse

Il est également demandé une fiche de synthèse de 2 pages, exposant la problématique traitée, les principaux résultats obtenus et une conclusion globale sur le stage.

Soutenance

La soutenance de stage est l'occasion pour l'étudiant de présenter par oral le travail accompli durant son stage. Cet exercice permettra de juger les apports scientifiques et techniques, les qualités de synthèse, mais aussi de communication orale, qualités indispensables pour l'ingénieur et le chercheur.





Adresse postale

ISAE-SUPAERO

10, avenue E. Belin – BP 54032 31055 Toulouse CEDEX 4 – France

Téléphone

33 (0)5 61 33 80 80

Site Internet

www.isae-supaero.fr



Crédits photos : © Aude Lemarchand
Rédaction et conception : ISAE-SUPAERO

Document non contractuel – septembre 2016



YouTube

