

Ingénieurs ISAE-SUPAERO

Programme

3^e année



Ingénieur ISAE-SUPAERO Programme

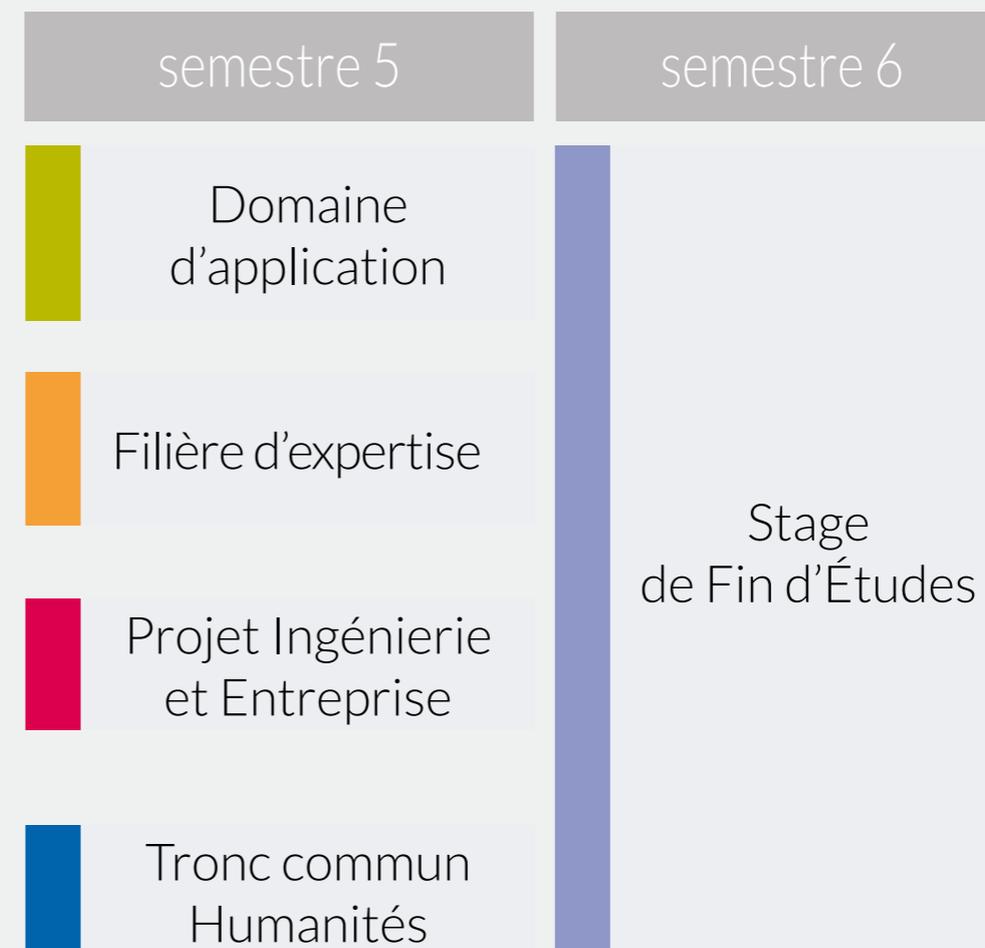
TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

Structuration de la troisième année	3
TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
Langue Vivante 1.....	5
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
Projet ingénierie et entreprise.....	7
DOMAINES D'APPLICATION	8
CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES AÉRONEFS (COA)	9
Tronc commun	10
Architectures avions.....	11
Conception des hélicoptères.....	12
Propulsion Aéronautique	13
Aéronef plus électrique	14
MODÉLISATION DE SYSTÈMES COMPLEXES ET SIMULATION (MSXS)	15
Modélisation multiphysique & multi-échelle	16
Calcul Haute Performance	17
Optimisation multidisciplinaire, problèmes inverses & propagation d'incertitudes	18
Méthodes numériques de l'ingénieur - EDP Avancées.....	19
Statistique avancée	20
DOMAINE SYSTÈMES AUTONOMES : ROBOTS, DRONES, OU SYSTÈMES AUTONOMES SPATIAUX	21
Systèmes embarqués : conception, modélisation et architecture.....	22
Perception et navigation.....	23
Décision et action délibérée	24
Enjeux contemporains de la technique : une introduction à la philosophie de la technique	25
Parcours robotique.....	26
Parcours drone.....	27
Parcours Systèmes Spatiaux.....	28
CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES SPATIAUX (COS)	29
Méthodes d'optimisation appliquées au domaine spatial	30
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	33
Aérodynamique hypersonique	34
Propulsion spatiale chimique et électrique.....	35
Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux	36
Missions et performances pour les applications spatiales	37
ÉNERGIE, TRANSPORT ET ENVIRONNEMENT (ETE)	38

Énergie et climat.....	39
Économie et écologie	40
Énergies et réseaux.....	41
Transports et intermodalité.....	42
Étude de cas en optimisation.....	43
NEURO-IA	44
Neuroergonomie.....	45
Expérimentation, Mesures et Interface Cerveau Machine.....	46
Méthode et outil de l'IA pour la Neuroergonomie.....	47
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STRUCTURE ET MATÉRIAUX (SM)	49
Modélisation du comportement thermomécanique des matériaux.....	50
Calcul de structures par la méthode des éléments finis	51
Introduction aux charges et structures des aéronefs.....	52
Dimensionnement des structures composites	53
Dynamique des structures.....	54
Modélisation numérique du comportement des matériaux composites	55
Optimisation de structures et multidisciplinaire	56
Vulnérabilité des structures en dynamique transitoire non linéaire.....	57
Durabilité des matériaux	58
Procédés de fabrication avancés	59
Matériaux spéciaux et thermiques.....	60
Dimensionnement des structures d'aéronefs	61
Structure des satellites	62
Projet de conception.....	63
SCIENCES DE LA DÉCISION (SD)	64
Fondements théoriques de la décision.....	65
Algorithms in Machine Learning	67
Outils du Big Data.....	68
Économie Numérique et Utilisation des Données.....	69
Hackathon.....	70
Supply Chain Management	71
Production.....	72
Modélisation et simulation des systèmes de production	73
Qualité et système d'information.....	74
Finance	75
Mathématiques financières	76
Finance et marchés.....	77
DYNAMIQUE DES FLUIDES (DF)	79
Dynamique des fluides avancée et multi-physique	80
Simulation numérique et turbulence	81
Aérodynamique des avions, des missiles et des lanceurs.....	82
Aérodynamique des rotors.....	83
Analyse des écoulements complexes et optimisation aérodynamique	84
Aérodynamique des turbomachines	85
Combustion et écoulements diphasiques.....	86
Étude de cas en conception.....	87
SIGNAUX ET SYSTÈMES (SISY)	88
Estimation.....	89
Systèmes électroniques intégrés.....	90
Parcours Antenne-Signal.....	91
Circuits et antennes micro-ondes.....	92
Traitement d'antennes.....	93
Parcours Automatique avancée	94
Représentation et analyse des systèmes dynamiques.....	95
Modélisation signaux et systèmes dynamiques.....	96
Commande des systèmes	97
Parcours acquisition et traitement d'images	98
Traitement d'images.....	99
Deep Learning pour l'image	100
Systèmes de capture d'images	101
Parcours Automatique et applications.....	102
Systèmes de décision et prédiction.....	103
Implantation des lois de commande	104
Applications et étude de cas	105
INFORMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION ET RÉSEAUX (ITR)	106
Architecture des réseaux.....	107
Cybersécurité.....	108
Systèmes temps réel.....	109
Vérification et validation formelles.....	110
Modèles de programmation concurrente et distribuée.....	111
Ingénierie basée modèles.....	112
Techniques de transmission sans fil	113
Systèmes spatiaux.....	114
Techniques d'apprentissage (Machine Learning) pour les systèmes communicants.....	115
Réseaux et services par satellites.....	116
Constellations et services mobiles	117
Radio logicielle, interception et génération de signaux réels	118
OBSERVATION DE LA TERRE ET SCIENCES DE L'UNIVERS (OTSU)	119
Physique de la mesure et instrumentation associée	120
Analyse et traitement des mesures.....	121
Missions scientifiques.....	122
Bases de donnée et apprentissage profond.....	123
Astrophysique.....	124
Mécanique céleste avancée	125
Gravitation.....	126
Ingénierie de l'observation	127
Fondamentaux des Sciences de la Terre Applications environnementales.....	128
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO Programme

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129





TRONC COMMUN HUMANITÉS

Langue Vivante 1 5

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

LANGUE VIVANTE 1

Responsable: Anne O'MAHONEY / Dorothée LAMOUR

INTRODUCTION

English is the language of international business and industry. It is also the language of worldwide academic research and the language of entertainment. So many countries with so many different cultures use the language on a daily basis. 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 in English divided into two distinct modules of twenty hours each. These elective classes are content based. These are not strictly speaking traditional language classes. Course instructors are from many different walks of life and have loads of interesting information to communicate from their professional and personal experiences. You choose! Classes run for 16 weeks on Monday mornings from October to February.

ELECTIVE: 20 HOURS (x2)

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 :

- ➔ All that Jazz
- ➔ The Art of Improvisation
- ➔ The Other Side of America
- ➔ Keep on Rocking
- ➔ Costa Rica and the environment
- ➔ How Stuff Works
- ➔ Talking about Tech
- ➔ Heated Discussions

ASSESSMENT

Your active participation is a must! More details from the different Elective 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 description of your research theme with some notes on your proposed bibliography. Start thinking now!

The Project is a written research paper in English on a subject of your choice. It should contain 15000 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 students who are eligible and interested. If you have any questions, contact Anne O'Mahoney, Office no 05.058, anne.o-mahoney@isae.fr



PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE

3^e année

Semestre S5

PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE

Engineering and corporation project

Responsable : Responsables des domaines

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 COMPÉTENCES

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...

ÉVALUATION

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 %.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DOMAINES D'APPLICATION

CONCEPTION ET Opérations

DES AÉRONEFS (COA)	9
Tronc commun	10
Architectures avions	11
Conception des hélicoptères	12
Propulsion Aéronautique	13
Aéronef plus électrique	14
Modélisation de Systèmes Complexes et Simulation (MSXS)	15
Modélisation multiphysique & multi-échelle	16
Calcul Haute Performance	17
Optimisation multidisciplinaire, problèmes inverses & propagation d'incertitudes	18
Méthodes numériques de l'ingénieur - EDP Avancées	19
Statistique avancée.....	20
Domaine Systèmes Autonomes : Robots, Drones, ou Systèmes Autonomes Spatiaux.....	21
Systèmes embarqués: conception, modélisation et architecture...	22
Perception et navigation.....	23
Décision et action délibérée	24
Enjeux contemporains de la technique : une introduction à la philosophie de la technique	25
Parcours robotique	26
Parcours drone	27
Parcours Systèmes Spatiaux.....	28
CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES SPATIAUX (cOS)	29

Méthodes d'optimisation appliquées au domaine spatial	30
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 .	33
Aérodynamique hypersonique	34
Propulsion spatiale chimique et électrique	35
Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux	36
Missions et performances pour les applications spatiales	37
Énergie, Transport et Environnement (EtE)	38
Énergie et climat	39
Économie et écologie.....	40
Énergies et réseaux.....	41
Transports et intermodalité	42
Étude de cas en optimisation	43
NEURO-IA.....	44
Neuroergonomie.....	45
Expérimentation, Mesures et Interface Cerveau Machine	46
Méthode et outil de l'IA pour la Neuroergonomie	47

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES AÉRONEFS (COA)

Aircraft Operations and design

Responsable : E. BENARD

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	
Séquence 1	Séquence 2
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Architectures avions ➤ Conception des hélicoptères 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propulsion aéronautique ➤ Aéronef plus électriques ➤ Neuro-ergonomie

DOMAINE COA

D-COA301

2

 ECTS

 40h

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN

Common core

Responsable: E. BENARD

OBJECTIFS

Donner aux étudiants les bases indispensables quant aux enjeux industriels dans le domaine de la conception et l'opération des aéronaves. Avoir une vision d'ensemble de la stratégie de développement des aéronaves, 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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

3^e année

Semestre S5

ARCHITECTURES AVIONS

Aircraft architecture

Responsable : Emmanuel BÉNARD

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

CONCEPTION DES HÉLICOPTÈRES

Helicopter design

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;
 - Prévion des performances;
 - Aéroacoustique des rotors, bruit d'hélicoptère;
 - Équilibre 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 boites de transmission).

ÉVALUATIONS

Deux notes de BE et une note d'examen.

3^e année

Semestre S5

PROPULSION AÉRONAUTIQUE

Propulsion Systems

Responsable: N. GARCIA-ROSA

OBJECTIFS

État 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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

AÉRONEF PLUS ÉLECTRIQUE

More electrical Aircraft

Responsable: Valérie BUDINGER

OBJECTIFS

- Connaître les tendances de conception des aéronefs du futur
- Comprendre les concepts de la propulsion hybride et électrique distribuée des aéronefs du futur
- Comprendre les enjeux de l'électrification des aéronefs actuels et futurs
- Savoir mettre en place un scénario de conception d'une propulsion hybride distribuée
- Savoir mettre en place un scénario de conception d'un actionneur aéronautique
- Savoir mettre en place un scénario de conception d'un système de conditionnement d'air électrique
- Savoir analyser l'architecture des réseaux électriques aéronautiques

PROGRAMME

Partie 1 : Avion à propulsion hybride ou électrique distribuée

- Architecture d'un avion à propulsion électrique distribuée (cours ONERA)
- Conception d'un avion à propulsion hybride distribuée (cours et BE avec application à un avion régional: dimensionnement simplifié d'un avion, transmission de puissance, pré-dimensionnement du système propulsif) - (Cours et BE : INSA et Airbus)

Partie 2 : Électrification des aéronefs

- Architecture des actionneurs - Actionneurs pour commandes de vol électriques (fly-by-wire) et nouvelles tendances pour les actionneurs aéronautiques (Cours - INSA)
- Système de conditionnement d'air électrique (Cours et BE - Liebherr)

Partie 3 : Architecture électrique des aéronefs (Cours, BE et TP - Safran et ISAE-SUPAERO)

- Les réseaux de puissance aéronautiques
- Architecture du réseau électrique (Génération, distribution et stockage de la puissance électrique)
- Consommateurs électriques de puissance
- Analyse d'architecture de réseaux de puissance aéronautiques et de la gestion d'énergie bord avec le logiciel PaceLab

BIBLIOGRAPHIE

- Aircraft Design: A Conceptual Approach, D. Raymer, AIAA Education Series, 2012
- Aircraft Systems: Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration, Ian Moir, Allan Seabridge, Wiley Edition, 2008
- Aircraft Electrical and Electronic Systems, David Wyatt, Routledge Edition, 2008
- Les actionneurs aéronautiques, Jean-Charles Mare, ISTE editions (Tome 1, 2016 et Tome 2, 2017)

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

MODÉLISATION DE SYSTÈMES COMPLEXES ET SIMULATION (MSXS)

Complex Systems Modeling and Simulation

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, optimisation et statistique, le tout dans un contexte multi-physique. Enfin, le domaine sera en mesure de donner aux étudiants le bagage nécessaire au suivi d'un M2R de Mathématiques Fondamentales et Appliquées.

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 ;
- ➔ Modélisation statistique ;
- ➔ Optimisation

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine est basé sur 140 h de cours, dont 46 heures au choix entre Mathématiques déterministes et Mathématiques aléatoires. 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 Stage de Fin d'Études à l'intention particulière des étudiants ayant suivi le domaine MSXS.

Tronc commun	
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Modélisation multiphysique et multi-échelle ➔ Calcul haute performance ➔ Optimisation multidisciplinaire, problèmes inverses et propagation des incertitudes 	
<p>Mathématiques déterministes</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Méthodes numériques de l'ingénieur – EDP avancées 	<p>Mathématiques aléatoires</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Statistique avancée

3^e année

Semestre S5

MODÉLISATION MULTIPHYSIQUE & MULTI-ÉCHELLE

Multi-physics & Multi-scale modeling

Responsable : C. NEGULESCU

Co-responsable : D. MATIGNON

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...

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

3^e année

Semestre S5

CALCUL HAUTE PERFORMANCE

High-performance computing

Responsable : A. BRUNET

Co-Responsable : D. MATIGNON

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

OPTIMISATION MULTIDISCIPLINAIRE, PROBLÈMES INVERSES & PROPAGATION D'INCERTITUDES

Multi-objective optimization, inverse problems & uncertainty propagation

Responsable: E. FLAYAC

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-objectis, 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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

MÉTHODES NUMÉRIQUES DE L'INGÉNIEUR - EDP AVANCÉES

Numerical Methods for engineering - Advanced PDEs

Responsable: F. ROGIER / G. DUFOUR

Co-Responsable: D. MATIGNON

PROGRAMME

The first part of the 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 : Discontinuous Galerkin method (DG)
- BE3 : numerical modelling of a waveguide

La seconde partie du module aborde des techniques avancées partant 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 cette seconde partie 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 2 BE

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

STATISTIQUE AVANCÉE

Advanced statistics

Responsable: F. SIMATOS, P. NEUVIAL, B. BOBBIA

Ce module vise à compléter les connaissances des étudiants en statistique acquises lors du tronc commun. Le but est de comprendre les fondements mathématiques derrière certains outils statistiques modernes très répandus, et utilisés par exemple en théorie de l'apprentissage ou encore en traitement du signal et des images.

Le cours fait 45h et est divisé en trois parties de 15h. Chaque partie comporte 12h de cours théoriques suivies de 3h d'application lors d'un BE machine. Ces trois parties sont :

- **Estimation non-paramétrique** : ce problème consiste à chercher à estimer une fonction d'intérêt dans un espace de dimension infinie, par exemple, on cherche à estimer une densité de probabilité en ne faisant que certaines hypothèses de régularité (au lieu de supposer, comme dans le cadre de l'estimation paramétrique, que la densité recherchée fait partie d'une famille paramétrique). Deux exemples seront abordés : l'estimation par noyau et la régression non-paramétrique, pour lesquels on abordera les thèmes de compromis biais-variance, vitesse de convergence, bornes minimax et malédiction de la dimension.
- **Introduction à la statistique bayésienne** : la statistique bayésienne offre un cadre théorique complet qui permet d'incorporer une connaissance a priori sur le modèle considéré. La mise à jour de l'estimation en fonction de la connaissance a priori et des

données se fait alors automatiquement à l'aide de la loi de Bayes. Cette partie vise à introduire les notions de base en statistique bayésienne, telle que lois a priori et a posteriori, règle de Bayes, loi a priori non-informative et revisitera les problèmes classiques de statistique (notamment, estimation et tests d'hypothèses) sous cet angle. Les processus gaussiens seront introduits dans le cadre de la régression non-paramétrique bayésienne.

- **Algorithmes stochastiques** : cette partie est consacrée aux algorithmes stochastiques à base de méthodes de Monte-Carlo. Trois applications principales seront étudiées : la simulation de variables aléatoires (notamment, en lien avec la statistique bayésienne), l'optimisation stochastique (recuit simulé) et l'approximation d'intégrales.

BIBLIOGRAPHIE

- Alexandre Tsybakov, Introduction à l'estimation non-paramétrique, Springer-Verlag, 2004
- William Bolstad et James Curran, Introduction to Bayesian statistics, John Wiley & Sons, 2017

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

DOMAINE SYSTÈMES AUTONOMES : ROBOTS, DRONES, OU SYSTÈMES AUTONOMES SPATIAUX

Autonomous Systems: Robots, UAV's and Missiles

Responsable : C. CHANEL

Objectif : Les évolutions sociétales, la maturité des technologies ou encore les capacités de calcul embarqué font que de plus en plus d'activités sont amenées à être réalisées par des systèmes autonomes (robots, drones, systèmes spatiaux...). 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 coeur des développements futurs de l'aéronautique et de l'espace.

CONNAISSANCES ET COMPETENCES VISEES :

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 deux parcours au choix sur la conception et opération de systèmes autonomes suivants : robots, drones ou systèmes spatiaux. Un projet ingénierie accompagne la formation.

Tronc commun (100 h)			Projet ingénierie (80 h + 30 h)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perception et navigation ➤ Décision et action délibérée ➤ Systèmes embarqués : conception, modélisation, architecture ➤ Enjeux contemporains de la technique 			
Parcours (40 h)			
Drones	Robots	Systèmes spatiaux	

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

SYSTÈMES EMBARQUÉS : CONCEPTION, MODÉLISATION ET ARCHITECTURE

Embedded systems: Design, modeling and architecture

Responsable: Janette CARDOSO

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.

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
- 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PERCEPTION ET NAVIGATION

Navigation and Perception

Responsable : D. VIVET

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.

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)
- 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DÉCISION ET ACTION DÉLIBÉRÉE

Decision and intentional action

Responsable : C. CHANEL

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
- Introduction à l'interaction humain-robot
- Questions éthiques posées par les robots : conception, usages, programmer l'éthique. Exemples : robots de défense et sécurité, véhicules autonomes, robots d'assistance à la personne, robots compagnons.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par une note de BE ou examen écrit Autonomie Décisionnelle.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

ENJEUX CONTEMPORAINS DE LA TECHNIQUE : UNE INTRODUCTION À LA PHILOSOPHIE DE LA TECHNIQUE

Contemporary challenges of technology: an introduction to the philosophy of technology

Responsable : M. GHALLAB
Co-Responsable : C. CHANEL

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

OBJECTIFS

Les métiers de l'ingénierie sont au cœur du processus de développement technologique. Ce sont les ingénieurs formés aujourd'hui qui développeront les technologies en usage demain. Or les enjeux de la technique dépassent un cadre d'analyse qui serait seulement technique car la technique est un moteur de transformations sociales, économiques, environnementales... la technique façonne le monde.

Les systèmes autonomes tiennent une place particulière dans ce paysage technique, car ils constituent, de par leur définition même, un objet dont le fonctionnement n'est pas contrôlé uniquement par l'humain.

L'objectif de ce cours est d'introduire les futurs ingénieurs à la complexité et la nature des enjeux autour des questions technologiques.

PROGRAMME

- Introduction : Neutralité axiologique, Qu'est-ce qu'une (théorie) critique ? Pourquoi il est important de parler de la technique (en terme non-technique) aujourd'hui ?
- Science et technique : spécificité et les relations entre science et technique
- La nature de la technique : la technique est-elle le propre de l'humain ?
- Les effets de la technique
- Quelles techniques développer pour le monde de demain ?
- Croissance versus développement durable

ÉVALUATIONS

Participation aux débats et en option un essai de synthèse ou sur un sujet au choix en rapport avec le cours (minimum 2000 caractères).

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PARCOURS ROBOTIQUE

Robotics

Responsable : N. MANSARD

Co-Responsable : C. CHANEL

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PARCOURS DRONE

Unmanned Aerial Systems

Responsable : L. LUSTOSA

OBJECTIFS

Le parcours Drones a pour but d'apporter aux étudiants une compréhension technique multidisciplinaire 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 et de piloter 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 et la conduite des systèmes drone. Le parcours couvre les drones à usage civils et militaires, allant des microdrones aux drones de surveillance de type MALE ou HALE.

PROGRAMME

- Ingénierie des drones de surveillance ISR
 - 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
 - Principes et structures de commandes, techniques avancées de commande
 - Les défis de recherche et applications des drones civils
 - Guidage et planification de mission
 - Bureau d'étude "Conception, planification et contrôle d'exécution d'une mission de poursuite" : Implémentation en simulateur et tests en salle "systèmes autonomes"

ÉVALUATION

- Un bureau d'étude noté en binôme, et un bureau d'étude noté individuellement.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

PARCOURS SYSTÈMES SPATIAUX

Space Systems & Autonomy

Responsable: T. GATEAU

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

1. OBJECTIF DU PARCOURS SYSTÈMES SPATIAUX

- Le domaine Systèmes Autonomes s'appuie sur un fort tronc commun de 100h avec 4 modules : Systèmes de Navigation, Conception & Validation de Systèmes Embarqués, Décision & Action Délibérés et Enjeux contemporains de la technique. Le domaine Systèmes Autonomes possède deux parcours (40h), Drones et Robots, et ouvre cette année un nouveau parcours, Systèmes Autonomes Spatiaux (SAS).
- L'objectif de ce nouveau parcours est de présenter les Systèmes Spatiaux sous le point de vue de l'autonomie. Il est complémentaire aux aspects traités dans les filières SISY et ITR, mais il en est indépendant : il apporte un autre regard, sans pour autant exiger que l'étudiant ait suivi ces filières.
- Pour donner les prérequis sur les systèmes spatiaux, un module de 10h, "Généralités sur les systèmes spatiaux et introduction aux problématiques de l'autonomie pour les systèmes spatiaux", est proposé. Pour les étudiants ayant déjà ces prérequis, ce module est remplacé par une étude bibliographique avec un rapport sur le thème de ce module.
- Les aspects d'autonomie, cœur de ce parcours, sont différents selon le système considéré et seront traités sur deux cas d'études, "Autonomie des systèmes orbitaux" et "Autonomie de Systèmes d'exploration (inter)planétaires".

2. POURQUOI LE PARCOURS SYSTÈMES SPATIAUX DANS LE DOMAINE SYSTÈMES AUTONOMES ?

L'importance de ce parcours peut être déclinée selon trois aspects :

- 1. Importance scientifique :

Etant donné leurs conditions d'évolution (milieu spatial inhospitalier, distances et latences importantes, voire isolement), le problème de l'autonomie des engins spatiaux s'est posé très tôt, et cela, bien avant la voiture autonome ! En 1998, la NASA a par exemple lancé Deep Space 1 pour tester de nouvelles technologies telles que le moteur ionique NSTAR et l'autonomie de la sonde. Les SYSTÈMES SPATIAUX offrent un cadre de recherche intéressant parce que l'environnement spatial, bien que complexe, est très structuré, contrairement à la voiture autonome.

- 2. Importance industrielle :

Au niveau d'un engin, le nombre et la complexité des fonctionnalités exigées à bord ont considérablement augmenté ces dernières années, afin de répondre à des besoins croissants d'adaptation autonomes.

A l'échelle des systèmes, le nombre de Systèmes Spatiaux de communication et d'observation se sont multipliés, avec l'émergence du New Space et sa myriade d'acteurs privés, startups, PME, ETI, en plus des acteurs industriels ou institutionnels traditionnels. Par exemple, certaines constellations comptent aujourd'hui des centaines, voire des milliers de satellites, qu'il n'est plus possible d'opérer comme des satellites uniques et indépendants.

- 3. Impact social et économique :

Le secteur spatial est fondamental pour la souveraineté et la géostratégie. Il est aussi une des priorités de la région toulousaine, et l'ISAE doit y contribuer.

La France compte parmi les principaux acteurs européens et mondiaux : des fabricants et opérateurs de satellites et d'engins spatiaux d'exploration (Airbus Defence and Space et Thales Alenia Space), l'un des leaders mondiaux des lancements commerciaux avec ArianeGroup, la principale agence spatiale en Europe avec le CNES, des laboratoires et instituts de recherches de renommée mondiale avec l'ONERA, ou l'IRT Saint Exupéry, des incubateurs comme AeroSpace Valley ou ESA BIC, et tout un écosystème dynamique de startups, PME et ETI liées aux engins spatiaux et à l'utilisation des données produites (Sodern, Safran, CS, Hemeria, COMAT, Agenium, Magellium, Preligens, U-Space, Loft Orbital, Prométhée, etc.)

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES SPATIAUX (COS)

Operations and Design of Space Systems

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	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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)	Systèmes orbitaux
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conception et opérations des systèmes de transport spatial ➤ Aérodynamique hypersonique ➤ Propulsion spatiale chimique et électrique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conception, architecture et opérations des systèmes orbitaux ➤ Missions et performances pour les applications spatiales

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

MÉTHODES D'OPTIMISATION APPLIQUÉES AU DOMAINE SPATIAL

Optimization methods applied to the Space sector

Responsable : C. PRALET

Co-Responsable : Stéphanie LIZY-DESTREZ

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

ENVIRONNEMENT SPATIAL ET SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES SPATIAUX

Space Environment and Space systems dependability

Responsable: Stéphanie LIZY-DESTREZ

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 ».

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

SYSTÈMES SPATIAUX ET ENVIRONNEMENT ÉCONOMIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

Space Systems, Space Law and Space Economy

Responsable: Stéphanie LIZY-DESTREZ

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.
- 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 chaine de la valeur des systèmes spatiaux et des acteurs économiques.

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par la notation du workshop.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

CONCEPTION ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES DE TRANSPORT SPATIAL

Design and Operations of Space transportation systems

Responsable: D. GIGNAC

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

AÉROTHERMODYNAMIQUE HYPERSONIQUE

Hypersonic Aerothermodynamics

Responsable: J.-L. VERANT

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

PROPULSION SPATIALE CHIMIQUE ET ÉLECTRIQUE

Chemical and electrical space propulsion

Responsable : A. URBANO

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

CONCEPTION, ARCHITECTURE ET OPÉRATIONS DES SYSTÈMES ORBITAUX

Design, architecture and operations of Orbital Systems

Responsable: F. SANFEDINO

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

MISSIONS ET PERFORMANCES POUR LES APPLICATIONS SPATIALES

Missions and performances for space applications

Responsable: S. LIZY-DESTREZ

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.

- 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

PROGRAMME

- Missions de télécommunications et charges utiles,
- Architecture des systèmes, et exemples

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

ÉNERGIE, TRANSPORT ET ENVIRONNEMENT (ETE)

Sustainable transport and Energy Systems

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 et écologie
- Énergies et mix énergétique
- Transports et intermodalité
- Études de Cas en optimisation

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉNERGIE ET CLIMAT

Energy and climate

Responsable: N. GOURDAIN

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.

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;

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par :

- Un test ;
- Notes de participation au cours Le défi énergétique et au jeu de rôle.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉCONOMIE ET ÉCOLOGIE

Economy and ecology

Responsable: N. GOURDAIN

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.

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)
- Analyse de cycle de vie : méthodologie et application

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par :

- Deux quizz sur LMS

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉNERGIES ET RÉSEAUX

Energies and grids

Responsable: J. FONTANE

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 :

- Moyenne des quiz sur LMS
- Travail en équipes : programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour l'île de la Réunion.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

TRANSPORTS ET INTERMODALITÉ

Transportation systems and intermodality

Responsable: Nicolás GARCÍA ROSA

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 :
 - La cohérence urbanisme-mobilité. Plan de déplacements urbains et stratégies de développement face à la double contrainte énergie/climat.
 - Aéronautique : vision motoriste du défi énergétique.
- 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
- Étude de cas

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉTUDE DE CAS EN OPTIMISATION

Case study in Optimization

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de reprendre les compétences développées dans le module Énergies et mix énergétique (DETE303) pour répondre à une problématique réaliste d'équilibre offre/demande. Les étudiants, qui travailleront par binômes ou trinômes, pourront mettre en œuvre des paradigmes classiques de recherche opérationnelle (notamment la programmation linéaire et la programmation par contraintes) pour résoudre un problème d'équilibre offre/demande en lien avec les scénarii étudiés dans le travail en équipes sur la programmation pluriannuelle de l'énergie pour l'île de La Réunion dans le module DETE303.

PROGRAMME

- Prise en main de Python et des bibliothèques d'optimisation
- Étude : Problème d'équilibre offre/demande en lien avec le travail en équipes sur la PPE en DETE303.

ÉVALUATIONS

- Présentation orale

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

DOMAINE

NEURO-IA

Neuro NAI

Responsable: F. DEHAIS

L'objectif principal de ce domaine est de former des ingénieurs disposant d'une vision transverse et innovante de la conception de systèmes complexes avec l'humain dans la boucle. Ce domaine pluridisciplinaire est constitué de trois blocs principaux en neuroergonomie avec un bon équilibre entre théorie et pratique. Enfin un dernier bloc permet d'approfondir, au choix, plusieurs des compétences apprises à travers un module de R&D. Le premier bloc « Neuroergonomie » apporte les clefs du fonctionnement cérébral et de ses limites pour mieux concevoir des systèmes autonomes intelligents, adaptatifs et tolérants à l'erreur humaine. Le deuxième bloc « Mesure et Interface cerveau machine » vise également à maîtriser les nouvelles technologies de mesures cérébrales et des neurosciences appliquées aux facteurs humains. Le troisième bloc « Outil de l'IA pour la Neuroergonomie » apportera les notions nécessaires à la mise en place de systèmes adaptatifs basé sur l'apprentissage machine, la planification dans l'incertain, les systèmes multi-agents, ainsi que le monitoring, la théorie des jeux et le partage d'autorité entre les opérateurs humains et les systèmes autonomes.

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 fonctionnement cérébral et le comportement humain ;
- ➔ développer des compétences en mesures cérébrales et interface cerveau machine ;
- ➔ maîtriser les concepts clés de l'IA et la mise en œuvre de systèmes autonomes intelligents et adaptatifs;
- ➔ sensibiliser à quelques questions de recherche ;

STRUCTURATION DU CURSUS

Le domaine est constitué de trois blocs : le premier bloc est « Neuroergonomie » suivi de deux blocs en parallèle « Mesure et Interface cerveau machine » et « Outils de l'IA pour la neuroergonomie ».

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

NEUROERGONOMIE

Neuroergonomics

Responsable : F. DEHAIS

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 et mieux concevoir les systèmes hommes-machines. Comprendre les enjeux de la conception et de l'opération des systèmes aériens avec l'humain dans la boucle.

PROGRAMME

- Neurosciences (modèles cognitifs, stress, fatigue, vigilance, charge de travail)
- Conception interface humain-système (ergonomie physique & cognitive, design IHM)
- Facteurs Humains (conflits pilote-pilote automatique, opérations des aéronefs et contrôle aérien)

ÉVALUATIONS

Une note d'examen et un BE noté.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

EXPÉRIMENTATION, MESURES ET INTERFACE CERVEAU MACHINE

Method, measures and brain computer interface

Responsable: R. ROY

OBJECTIFS

Appréhender l'approche expérimentale, les outils de mesures disponibles pour évaluer l'état des opérateurs, ainsi que les méthodes de traitement du signal physiologique. Cette deuxième partie donne les bases pour savoir créer une expérimentation, acquérir des données dont des données physiologiques, mais aussi traiter ces données et les évaluer statistiquement. Cette partie apporte aussi les compétences en implémentation d'interfaces cerveau-ordinateur.

PROGRAMME

- Méthodologie expérimentale (éthique, conception d'expériences)
- Mesures (activité oculaire, cardiaque et cérébrale)
- Traitement de données (traitement du signal physiologique et analyses statistiques)
- Interfaces cerveau machine (implémentation, traitement du signal et apprentissage automatique)

ÉVALUATIONS

Une note d'examen et un BE noté.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

MÉTHODE ET OUTIL DE L'IA POUR LA NEUROERGONOMIE

Artificial intelligence for neuroergonomics

Responsable: C. CHANEL

OBJECTIFS

Ce module a pour objectif de sensibiliser les élèves aux outils issus du domaine de l'IA qui peuvent être utilisés par les systèmes automatisés avec l'humain dans la boucle. D'une part, l'apprentissage automatique est présentée et appliquée à l'estimation de l'état cognitif des agents humains (ex : stress, fatigue) en interaction avec des systèmes autonomes. D'autre part, les concepts liés à la planification automatique d'actions, les systèmes multi-agents, la théorie des jeux, ainsi que le partage d'autorité sont ensuite traités. La mise en œuvre d'un système en boucle fermée fait l'objet de BEs pour des mises en application pratique. Dans ce projet, toute la chaîne « acquisition-traitement-action » est manipulée par les élèves dans le but d'adapter un système automatisé en fonction de l'état de l'opérateur humain.

PROGRAMME

- ☛ Apprentissage non supervisée, supervisée, et par renforcement (12h)
- ☛ Planification d'action (classique, conformante/contingente, (PO) MDP) (6h)
- ☛ SMA et théorie des jeux (6h)
- ☛ HRI, interaction à initiative mixte (4h)
- ☛ Conférence ou cours « Dynamique de l'argumentation » (2h)
- ☛ BE noté : acquisition et flux de données, traitement, classification, adaptation du système (22h)

ÉVALUATIONS

Une note d'examen QCM, et BE noté.

Bases de donnée et apprentissage profond ..	123
Astrophysique	124
Mécanique céleste avancée	125
Gravitation.....	126
Ingénierie de l'observation.....	127
Fondamentaux des Sciences de la Terre Applications environnementales	128

FILIÈRES D'EXPERTISE

STRUCTURE ET MATÉRIAUX (SM)	49	Combustion et écoulements diphasiques...	86
Modélisation du comportement thermomécanique des matériaux.....	50	Étude de cas en conception	87
Calcul de structures par la méthode des éléments finis.....	51	SIGNAUX ET SYSTÈMES (SISY)	88
Introduction aux charges et structures des avions.....	52	Estimation	89
Dimensionnement des structures composites	53	Systèmes électroniques intégrés	90
Dynamique des structures.....	54	Parcours Antenne-Signal	91
Modélisation numérique du comportement des matériaux composites	55	Circuits et antennes micro-ondes	92
Optimisation de structures et multidisciplinaire.....	56	Traitement d'antennes	93
Vulnérabilité des structures en dynamique transitoire non linéaire.....	57	Parcours Automatique avancée	94
Durabilité des matériaux	58	Représentation et analyse des systèmes dynamiques.....	95
Procédés de fabrication avancés.....	59	Modélisation signaux et systèmes dynamiques.....	96
Matériaux spéciaux et thermiques.....	60	Commande des systèmes.....	97
Dimensionnement des structures d'avions.....	61	Parcours acquisition et traitement d'images	98
Structure des satellites	62	Traitement d'images	99
Projet de conception	63	Deep Learning pour l'image.....	100
SCIENCES DE LA DÉCISION (SD)	64	Systèmes de capture d'images	101
Fondements théoriques de la décision.....	65	Parcours Automatique et applications.....	102
Algorithms in Machine Learning.....	67	Systèmes de décision et prédiction	103
Outils du Big Data.....	68	Implantation des lois de commande.....	104
Économie Numérique et Utilisation des Données.....	69	Applications et étude de cas	105
Hackathon.....	70	INFORMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION ET RÉSEAUX (ITR)	106
Supply Chain Management	71	Architecture informatique et réseaux.....	107
Production	72	Sécurité des systèmes informatiques et réseaux	108
Modélisation et simulation des systèmes de production	73	Systèmes temps réel.....	109
Qualité et système d'information	74	Ingénierie Dirigée par les Modèles	110
Finance.....	75	Systèmes distribués	111
Mathématiques financières	76	Séminaires.....	112
Finance et marchés	77	Communications numériques.....	113
DYNAMIQUE DES FLUIDES (DF)	79	Systèmes spatiaux.....	114
Dynamique des fluides avancée et multi-physique	80	Techniques d'apprentissage (Machine Learning) pour les systèmes communicants	115
Simulation numérique et turbulence	81	Réseaux et services par satellites	116
Aérodynamique des avions, des missiles et des lanceurs.....	82	Constellations et services mobiles	117
Aérodynamique des rotors.....	83	Radio logicielle, interception et génération de signaux réels	118
Analyse des écoulements complexes et optimisation aérodynamique.....	84	OBSERVATION DE LA TERRE ET SCIENCES DE L'UNIVERS (OTSU).....	119
Aérodynamique des turbomachines	85	Physique de la mesure et instrumentation associée	120
		Analyse et traitement des mesures	121
		Missions scientifiques	122

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

STRUCTURE ET MATÉRIAUX (SM)

Structures and Materials

Responsable : Joseph MORLIER & C. GOGU

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 COMPÉTENCES VISÉES

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		
<ul style="list-style-type: none"> ➔ 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 		
<p>Parcours Mécanique Numérique (MN)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Modélisation numérique du comportement des matériaux composites ➔ Optimisation de structures et multidisciplinaires ➔ Vulnérabilité des structures en dynamique transitoire non linéaire 	<p>Parcours Matériaux et Procédés (MP)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Durabilité des matériaux ➔ Procédés de fabrication avancés ➔ Matériaux spéciaux et thermiques 	<p>Parcours Structures Aéronautiques et Spatiales (SAS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➔ Dimensionnement des structures d'aéronefs ➔ Projet de conception ➔ Structures des satellites

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

MODÉLISATION DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES MATÉRIAUX

Thermomechanical Materials modeling

Responsable: Patrice LONGÈRE

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 et de l'impact environnemental 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,
- présenter les principaux critères de rupture de ces matériaux

PROGRAMME

- Rappel de mécanique des milieux continus
- Formulation des équations constitutives
- Elasticité (linéaire/non linéaire, viscoélasticité)
- Plasticité (indépendante du temps/viscoplasticité)
- Endommagement (quasi-fragile/ductile, de fatigue)
- Rupture (mécanique de la rupture, tolérance aux dommages)
- Conférences industrielle et scientifique
- Bureaux d'études applicatifs (expérimental, expertise, simulation numérique) notés

EVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- Une note globale de BE (50%)
- Une note d'examen écrit (50%)

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

CALCUL DE STRUCTURES PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS

Computational Structural Mechanics

Responsable : M. MAHE

Co-Responsable : A. BRUGNOLI

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'Etude 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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

INTRODUCTION AUX CHARGES ET STRUCTURES DES AÉRONEFS

Introduction to loads and aircraft structures

Responsable : L. RISSE / O. REGIS

Co-Responsable : Éric PAROISSIEN

OBJECTIF

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 définit 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)** : ce cours est très orienté sur la compréhension du rôle des différents éléments et le mode de chargement.

PROGRAMME

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

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)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES COMPOSITES

Composites structures

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DYNAMIQUE DES STRUCTURES

Advanced structural dynamics

Responsable : E. CAVRO

Co-Responsable : M. 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.

PROGRAMME

- Introduction Généralités Techniques d'analyse linéaire
- 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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX COMPOSITES

Numerical modeling of complex behavior of composite materials

Responsable: Frédéric LACHAUD / Laurent 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

- 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

PROGRAMME

- Généralités composites et modes de comportement
- Rappels dimensionnement des structures composites

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

OPTIMISATION DE STRUCTURES ET MULTIDISCIPLINAIRE

Structural and multidisciplinary optimisation

Responsable: Joseph MORLIER

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

VULNÉRABILITÉ DES STRUCTURES EN DYNAMIQUE TRANSITOIRE NON LINÉAIRE

Transient nonlinear simulation

Responsable : C. ESPINOSA

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DURABILITÉ DES MATÉRIAUX

Durability and fatigue

Responsable: Catherine MABRU

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
- Vieillissement CMO / Cpt dégradé
- Fluage métalliques : physique + dimensionnement
- Fluage plastiques + CMO : physique + dimensionnement

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PROCÉDÉS DE FABRICATION AVANCÉS

Advanced manufacturing processes

Responsable : Anis HOR

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

MATÉRIAUX SPÉCIAUX ET THERMIQUES

Thermal materials

Responsable : L. FERRER

Co-Responsable : C. MABRU

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'AÉRONEFS

Detailed sizing of Aircraft structures

Responsable : M. FRESSINET / A. STAUB

Co-Responsable : E. PAROISSIEN

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

- Réglementation (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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

STRUCTURE DES SATELLITES

Satellites structures

Responsable : S. VENDEVELDE

Co-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 ?

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PROJET DE CONCEPTION

Design project

Responsable : J. DURAND

Co-Responsable : Éric PAROISSIEN

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

SCIENCES DE LA DÉCISION (SD)

Decision sciences

Responsable: E. RACHELSON

Responsable parcours : E. RACHELSON (SSD) / Z. KRUGG (GI) / L. GERMAIN (IF)

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

FONDEMENTS THÉORIQUES DE LA DÉCISION

Foundations of decision making

Responsables : X. THIRIOUX / X. GENDRE / C. GARION / E. VAREILLES / D. WILSON

Co-Responsable : X. THIRIOUX

OBJECTIFS

Ce module de tronc commun se divise en cinq parties, portant sur la Théorie de la Décision, l'Optimisation Combinatoire et Stochastique 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 multi-critères ou de décision multi-agents (choix col-lectif, partage équitable, théorie des jeux).

Partie Optimisation combinatoire : les méthodes d'optimisation combinatoire 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 la Programmation par Contraintes (théorie et prise en main d'un outil libre et opensource Choco Solver).

Partie Optimisation stochastique : ce cours couvre les méthodes stochastiques d'optimisation, principalement le recuit simulé, les stratégies évolutionnaires et les algorithmes génétiques. Nous couvrons la théorie de l'application de ces méthodes à des problèmes simples et des fonctions de référence d'optimisation continue et dans un projet final nous couvrons les applications réelles des algorithmes évolutionnaires. L'objectif de ce cours est d'avoir une vision large des méthodes stochastiques et de leur utilisation.

Partie Optimisation stochastique : l'objectif de cette partie du cours est de présenter les graphes comme outil de modélisation de problèmes classiques d'optimisation et les algorithmes de résolution associés. On se concentrera sur les problèmes de plus court chemin, le problème d'arbre couvrant minimal et le problème du voyageur de commerce. Les notions abordées en cours seront mis en œuvre durant des TP à travers le langage Python et son API networkx.

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.

This module is divided in five parts, dedicated to Decision Theory, Combinatorial and Stochastic Optimization and Statistics, which are the basic common knowledge of a syllabus in Decision Science.

Decision theory : introduction to models of game theory, in relation to decision problems, with uncertainties, involving many agents or many criteria.

Combinatorial Optimization : combinatorial optimization methods are pervasively used in many operational contexts : action planning, failure diagnosis, task scheduling, resource allocation, system design, etc. This course introduces some notions of complexity in decision problem solving, then focuses on Constraint Programming (theory and practical application with an open-source software : ChocoSolver).

Stochastic Optimization : this course covers stochastic optimization methods, mainly simulated annealing, evolutionary strategies and genetic algorithms. We apply these methods to simple problems and standard continuous optimization functions. Also, in a final project, we address real-life applications of evolutionary algorithms. The objective is to acquire a broad view of stochastic methods and their applications.

Optimization and Graph theory : the objective of this part is to introduce graphs as a modelling tool for classic discrete optimization problems as well as their related resolution algorithms. We specifically focus on the shortest path problem, the minimal spanning tree problem and the travelling salesman problem. All presented notions will be illustrated during computing labs with the Python language and its API networkx.

Statistics : this part aims at providing a deep understanding of the underlying principles of descriptive, exploratory and inferential statistics, notably through practical training with the R language and associated tools.

PROGRAMME

Programme Théorie de la Décision : 10h

- ➔ bases de la théorie des jeux
- ➔ décision sous incertitude, multi-critère
- ➔ dilemme du prisonnier, équilibre de Nash

Programme Optimisation Combinatoire : 10h

- ➔ Complexité : notions de base
- ➔ Programmation par Contraintes
 - Techniques de propagation de contraintes
 - Recherche arborescente avec backtrack

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

FONDEMENTS THÉORIQUES DE LA DÉCISION (suite)

Foundations of decision making

Responsables : X. THIRIOUX / X. GENDRE / C. GARION / E. VAREILLES / D. WILSON

Co-Responsable : X. THIRIOUX

- Recherche locale et programmation par contraintes
- Modélisation en programmation par contraintes

Programme Optimisation Stochastique : 10h

- recherche aléatoire, recuit simulé
- algorithmes basés population, stratégies évolutionnaires, CMA-ES
- algorithme génétique, optimisation multi-objectif
- projet d'application

Programme Optimisation dans les graphes : 10h

- cours et TD sur les problèmes de plus court chemin : 3h
- TP de mise en œuvre des algorithmes de Dijkstra et A* sur des problèmes de plus court chemin sur le réseau métropolitain parisien : 2h
- cours et TD sur les problèmes d'arbre couvrant minimal et du voyageur de commerce : 3h

- TP noté sur la mise en œuvre d'un des algorithmes présentés lors du deuxième cours : 2h

Programme Statistique : 20h

- Statistique exploratoire (8h) : visualisation de données, analyse en composantes principales, analyse factorielle et classification
- Statistique inférentielle (4h) : estimation paramétrique, intervalles de confiance et tests statistiques
- Applications avec R (8h) : introduction au langage R et mise en pratique des concepts vus en cours

ÉVALUATION

Les cinq parties du module sont évaluées indépendamment. L'évaluation de chaque partie prend la forme de BE et/ou d'examens selon les choix des enseignants. La note finale du module est une moyenne de toutes les notes individuelles pour chaque partie.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....4

PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....6

DOMAINES D'APPLICATION.....8

FILIÈRES D'EXPERTISE.....48

STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ALGORITHMS IN MACHINE LEARNING

Algorithms in Machine Learning

Responsable : E. RACHELSON et L. RISSER

Co-Responsable : E. RACHELSON

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

OUTILS DU BIG DATA

Big Data

Responsable: D. WILSON

OBJECTIFS

Le "Big Data" s'est imposé comme un mot-clé essentiel dans l'économie numérique moderne. Il recouvre l'ensemble des pratiques liées aux traitements 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉCONOMIE NUMÉRIQUE ET UTILISATION DES DONNÉES

Data Management and Data Business Models

Responsable : D. WILSON

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

HACKATHON

Hackathon

Responsable : D. WILSON

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Supply Chain Management

Responsables: E. VAREILLES, A. HAÏT (A définir)

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.

- Gestion des risques dans la Supply Chain
- Gestion des approvisionnements (relations fournisseurs, sélection...)
- Relations clients-fournisseurs
- Logistique et transport international

PROGRAMME

- Introduction, Stratégie Supply Chain, Effet bull whip vécu dans l'industrie aéronautique (1993-1994, 2002-2003, 2009-2010)

ÉVALUATION

- Examen et BE

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

PRODUCTION

Production engineering

Responsable: R. COLIN / B. BARANGER

Co-Responsable : E. VAREILLES

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 (nervosité, manque de réalisme...)
 - schéma général MRPII, pour répondre (en partie) aux lacunes de MRP
 - stratégie de l'entreprise (produits, technos, 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 produit - 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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

MODÉLISATION ET SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Modeling and simulation of production systems

Responsable : C. CHABRIAC

 Co-Responsable : E. VAREILLES

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

QUALITÉ ET SYSTÈME D'INFORMATION

Quality and information systems

Responsable : F. BERGERET / C. GASQUET

Co-Responsable : E. VAREILLES

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

FINANCE

Finance

Responsable : R. HUC
 Co-Responsable : L. GERMAIN

OBJECTIFS

Ce cours se divise en trois séquences :

- Principles 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;
- Principles 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 selection adverse
- Définition de l'aléa Moral

Bibliographie

Principles 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,

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

MATHÉMATIQUES FINANCIÈRES

Financial Mathematics

Responsable: LA. REVEILLAC / H. BOCO

Co-Responsable : L. GERMAIN

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

FINANCE ET MARCHÉS

Financial Markets

Responsable: H. BOCO / L. GERMAIN

Co-Responsable : L. GERMAIN

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 (Vasicèk, 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

FINANCE ET MARCHÉS (suite)

Financial Markets

Responsable : H. BOCO / L. GERMAIN

Co-Responsable : L. GERMAIN

- 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

ÉVALUATION

- ➔ Econométrie 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.

BIBLIOGRAPHIE

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

Site : www.vernimmen.net

TRONC COMMUN HUMANITÉS..... 4

PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE..... 6

DOMAINES D'APPLICATION..... 8

FILIÈRES D'EXPERTISE..... 48

STAGE DE FIN D'ÉTUDES..... 129

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

DYNAMIQUE DES FLUIDES (DF)

Fluid Dynamics

Responsable: G. DUFOUR

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	
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Dynamique des fluides avancée et multiphysique ➔ Turbulence et simulation numérique 	
Parcours aérodynamique externe (AE)	Parcours turbomachines et combustion (TC)
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Aérodynamique des avions, des missiles et des lanceurs ➔ Aérodynamique des rotors ➔ Analyse des écoulements complexes et optimisation aérodynamique 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Aérodynamique des turbomachines et combustion ➔ Combustion et écoulements diphasiques ➔ Étude de cas en conception

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DYNAMIQUE DES FLUIDES AVANCÉE ET MULTI-PHYSIQUE

Advanced Fluid Dynamics and Multiphysics

Responsable: Jérémie GRESSIER

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de présenter des notions avancées de mécanique des fluides. Après une revue des modèles en compressible, une attention particulière sera portée sur les écoulements stationnaires supersoniques, les écoulements de couche limite compressibles et 3D, les écoulements instationnaires 1D. On abordera ensuite des domaines de couplage aérodynamique instationnaire avec l'aéroélasticité et l'aéroacoustique (génération et la propagation du bruit dans les écoulements).

PROGRAMME

- aérodynamique compressible et supersonique (14h de cours et TD/BE)
- couche limite 3D compressible (4h de cours + 3h TD)

- aérodynamique instationnaire (2h de cours + 3h TD/BEs)
- aéroacoustique (22h de cours et TD)
- aéroélasticité (12h de cours et TD)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par plusieurs notes :

- Pour la 1ère partie Dynamique des Fluides avancée :
 - Une note de test écrit de 2h00
- Pour la 2ème partie Multiphysique:
 - Une note de BE (aéroélasticité)
 - Une note d'oral (aéroacoustique)

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

SIMULATION NUMÉRIQUE ET TURBULENCE

Computational fluid dynamics and turbulence

Responsable: J. FONTANE

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 (6 h de cours, 2 h BE)
- Transition (4 h de cours)
- Physique de la turbulence (5h de cours, 1h TD, 3h BE)
- Modèles de turbulence RANS et LES (7h de cours, 2h TD, 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

AÉRODYNAMIQUE DES AVIONS, DES MISSILES ET DES LANCEURS

Aerodynamics of aircraft, rockets and launchers

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 aéro-nefs 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 6 h BE)

- Cycle de conférences sur les avions de transport et de combat (9 h)
- Missiles et lanceurs: missions, stabilité et manœuvrabilité (7 h de cours)
- Aérodynamique et propulsion des missiles (3 h de cours et 6 h BE)
- Aérodynamique et propulsion des lanceurs (3 h de cours et 6 h BE)
- Hypersonique (3 h de cours et 2 h BE)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- Une note de BE
- Une note d'oral

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

AÉRODYNAMIQUE DES ROTORS

Aerodynamics of rotors

Responsable: Y. 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 (5 h de cours, 3 h de BE, 2 h de conférence)
- Aérodynamique des rotors d'éoliennes (3 h de cours)
- Aérodynamique des voilures tournantes (6 h de cours, 4 h de conférence)
- 1 BE CFD Exa (3 h)
- Examen écrit (2 h)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

ANALYSE DES ÉCOULEMENTS COMPLEXES ET OPTIMISATION AÉRODYNAMIQUE

Analysis of complex flows and aerodynamics optimization

Responsable: N. 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 (10 h de cours/BE intégrés)
- Optimisation de forme (2 h de cours, 6 h de TD/BE)
- Analyse bibliographique (3 h)
- Bureau d'étude aérodynamique (11 h BE)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

AÉRODYNAMIQUE DES TURBOMACHINES

Aerodynamics of turbomachinery

Responsable: N. 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 COMPÉTENCES

- 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 (25 h)

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

Aérodynamique des compresseurs et turbines aéronautiques (18 h)

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

Ouverture - Conférences applications turbomachine (4 h)

PREREQUIS ET REMISE A NIVEAU

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

ÉVALUATIONS

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

COMBUSTION ET ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES

Multiphase flows and combustion

Responsable: N. GARCÍA ROSA

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)

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ÉTUDE DE CAS EN CONCEPTION

Design Case study

Responsable: Y. 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 OD 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)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par trois notes :

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

SIGNAUX ET SYSTÈMES (SISY)

Signals and Systems

Responsable: C. BÉRARD

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 ;
- concevoir, mettre en œuvre les capteurs et chaînes d'acquisition d'images, et maîtriser le traitement associé.

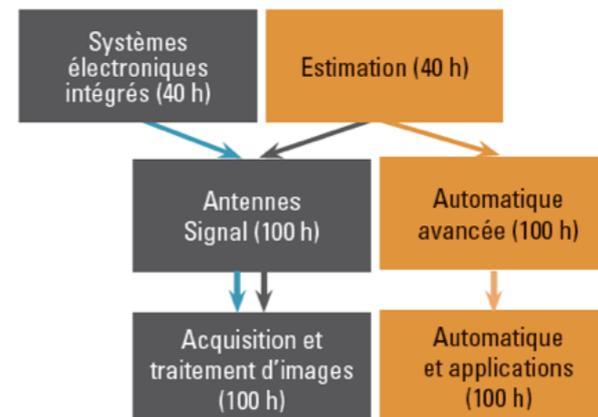
DEROULEMENT DE LA FILIERE

Le parcours de cette filière se construit en choisissant 1 module sur chacune des 3 séquences. Les différents modules sont construits pour être indépendants et offrir un large choix de parcours possibles. Ceci étant, certains parcours « classiques » ont été clairement identifiés (voir ci-dessous).

Organisation de la filière

Quelques parcours identifiés :

- ➔ parcours Electronique
- ➔ parcours Signal et Image
- ➔ parcours Automatique



Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

ESTIMATION

Estimation

Responsable: É. CHAUMETTE

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 oeuvre les outils les mieux adaptés à la résolution d'un problème.

PROGRAMME ESTIMATION

- Estimation « bloc » (25 h)
 - 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
- Estimation réursive: (15 h)
 - Estimation bayésienne réursive Moindres carrés réursifs, filtre de Kalman
 - Filtrage particulière

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES INTÉGRÉS

Integrated circuits and systems

Responsable : V. GOIFFON

OBJECTIFS

L'objectif de ce module est d'initier les étudiants aux techniques de conception et de réalisation des circuits électroniques intégrés sur puce, aussi appelé ASIC (Application Specific Integrated Circuits), et de leur présenter les enjeux et l'industrie microélectronique moderne.

PROGRAMME

- Introduction et fondamentaux (~10h)
 - Harmonisation en électronique
 - Physique des dispositifs semi-conducteurs
 - Conception de fonctions électroniques intégrées élémentaires

- Projet de conception de circuit intégré sur environnement CAO (~10h)
- Projet de caractérisation d'un circuit intégré (puce réalisée en technologie CMOS) (~10h)
- Cours/conférences sur enjeux de l'industrie microélectronique (~10h)

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par plusieurs notes :

- Deux notes de compte rendu de projet (partie conception et partie caractérisation)
- Une note de test écrit ou de type QCM

PARCOURS ANTENNE-SIGNAL

Antenna - 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 perfor-

mances 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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

CIRCUITS ET ANTENNES MICRO-ONDES

Microwave circuits and antennas

Responsable : R. PASCAUD

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

- Devoirs maisons.
- Présentation orale (mini-projet de recherche)..

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRAITEMENT D'ANTENNES

Array processing

Responsable : F. VINCENT

DESCRIPTION

- Le module Traitement d'antennes concerne le traitement de signaux reçus sur un réseau d'antennes à des fins de filtrage spatial, localisation ou détection de sources. Il se décompose en deux cours :
- Un cours de traitement d'antennes qui se concentre sur la formation de faisceaux (conventionnelle, adaptative, robuste) ou l'estimation des directions d'arrivée. Ce cours comprend une partie

théorique et une partie projet sur une maquette radar fournissant des signaux réels.

- Un cours de détection qui concerne les techniques (test de vraisemblance et test de vraisemblance généralisé) pour détecter la présence d'un signal utile noyé dans un bruit dont les statistiques peuvent être inconnues. Le cours intègre l'étude d'un article et des tests sur signaux réels.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

FILIÈRE SISY

PARCOURS AUTOMATIQUE AVANCÉE

PARCOURS AUTOMATIQUE AVANCÉE

Advanced Control Engineering

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 H_{∞} et H_2 . 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).

F-SI321

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

REPRÉSENTATION ET ANALYSE DES SYSTÈMES DYNAMIQUES

Representation and Analysis of Dynamics Systems

Responsable: D. ALAZARD

PROGRAMME

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.

PROGRAMME

- Introduction. Représentation MIMO
- Valeurs singulières, grammiens
- 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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

- Une note de compte rendu de bureau d'études
- Une note de QCM

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

MODÉLISATION SIGNAUX ET SYSTÈMES DYNAMIQUES

Signals and dynamic systems modeling

Responsable : Y. BRIÈRE

PROGRAMME

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).

PROGRAMME

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

ÉVALUATIONS

Une note de compte rendu de bureau d'études

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

COMMANDE DES SYSTÈMES

Advanced control

Responsable : Joël BORDENEUVE-GUIBÉ

PROGRAMME

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 H_∞ et H_2 . 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 propres. Enfin, les techniques de synthèse de lois de commande propres aux systèmes non-linéaires seront détaillées.

PROGRAMME

- Introduction
- Commande modale, LQ/LQG, LTR
- Trajectoires optimales
- Commande H_{∞} , H_2 , H_2/H_{∞} , multi-objectifs. Comparaison des approches

- Commande des systèmes non-linéaires : anti-windup et inversion de la dynamique

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par quatre notes :

- Deux notes de compte rendu de bureau d'études
- Deux notes de QCM

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE SISY

PARCOURS ACQUISITION
ET TRAITEMENT D'IMAGES

PARCOURS ACQUISITION ET TRAITEMENT D'IMAGES

Digital image processing

OBJECTIFS

Les images numériques sont devenues omniprésentes dans notre quotidien, et elles sont au cœur des grands défis actuels, concernant aussi bien la connaissance scientifique (astronomie, observation de la Terre, microscopie), la santé (imagerie médicale), la robotique ou l'intelligence artificielle (véhicules autonomes). L'objectif de ce parcours est de former des ingénieurs spécialisés dans l'imagerie, et maîtrisant toute la chaîne depuis l'acquisition jusqu'à l'exploitation des images.

Le parcours est découpé en trois parties : une première partie centrée sur les capteurs et l'acquisition ; une seconde partie centrée sur le traitement des images numériques ; et une dernière partie consacrée à leur exploitation, au moyen notamment d'algorithmes d'apprentissage automatique.

Sans que ce soit des pré-requis indispensables, on s'appuiera sur des notions d'électronique et de traitement du signal vues dans les parcours « estimation » et « antennes signal ».

ÉVALUATION

Ce parcours est évalué par trois notes :

- ➔ Une note sur les BE effectués en classe,
- ➔ Une note d'examen écrit,
- ➔ Une note de lecture d'articles.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

TRAITEMENT D'IMAGES

Image Processing

Responsable: T. OBERLIN

OBJECTIFS

Ce cours est dédié au traitement et à l'analyse des images numériques. On commencera par explorer les caractéristiques des images (résolution, contraste, couleurs) et leur lien avec la vision humaine. On présentera ensuite les principales tâches de traitement d'images, comme le débruitage, la segmentation, la détection de contours, la compression... Pour chacune d'elles, on étudiera les principaux algorithmes de traitement, que l'on implémentera et testera immédiatement en Matlab. En parallèle, on étudiera les outils mathématiques utiles pour le traitement d'images, comme la transformée de Fourier 2D, l'estimation ou les champs de Markov.

Sans viser l'exhaustivité, le cours vise donc à présenter les principales techniques de traitement des images, et à donner aux étudiants les outils mathématiques et algorithmiques pour savoir développer une solution de traitement en réponse à une problématique donnée.

PROGRAMME

- Image numérique, image couleurs, traitements globaux
- Morphologie mathématique
- Transformée de Fourier des images et applications
- Restauration : débruitage, déconvolution
- Représentations, approximation, ondelettes
- Compression d'images
- Mise en correspondance et suivi
- Problèmes inverses
- Processus aléatoires

ÉVALUATIONS

Examen écrit et BEs en classe

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

DEEP LEARNING POUR L'IMAGE

Deep Learning for image processing

Responsable : T. OBERLIN

OBJECTIFS

Ce cours est dédié à l'étude des techniques d'apprentissage automatique (machine learning) et d'apprentissage profond (deep learning), dans le contexte de l'imagerie. Cela concerne d'abord l'exploitation des images, comme la reconnaissance d'objets (apprentissage supervisé) ou la segmentation voire le démixage d'images multi- ou hyper-spectrales (apprentissage non-supervisé). Mais une partie du cours présente aussi des méthodes de traitement d'images par réseaux de neurones profonds, un domaine récent qui se développe rapidement. Les BEs permettront de se former à l'utilisation de deux bibliothèques Python extrêmement utilisées : Scikit-learn pour le machine learning, et PyTorch pour le deep learning.

PROGRAMME

- Apprentissage non-supervisé : clustering, réduction de dimension, démixage
- Apprentissage supervisé (classification) : KNN, random forests, SVM
- Introduction aux deep learning : réseaux de neurones, architectures, backpropagation
- Réseaux convolutionnels
- Détection et segmentation
- Réseaux génératifs : GANs et VAEs

ÉVALUATIONS

3 BEs notés

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

SYSTÈMES DE CAPTURE D'IMAGES

Image sensing and Acquisition

Responsable : A. Le-Roch

OBJECTIFS

Ce cours a pour objectif d'introduire la physique de l'acquisition des images, en parcourant différentes plages du spectre électromagnétique (rayons X, UV, visible, infrarouge, etc).

PROGRAMME

- Introduction et généralités sur l'imagerie : origine du rayonnement, bilan radiométrique, bandes spectrales
- Capteurs : photo-détecteurs, silicium, Beer-Lambert, capteurs CCD, bruit, échantillonnage, prise de vue, couleurs, capteurs CMOS APS, intégration
- Panorama de quelques modalités d'imagerie : capteurs infrarouges et dimensionnement, imagerie LIDAR, caméras événementielles, imagerie HDR
- Aspects géométriques, imagerie stéréo, corrections géométriques et calibration en imagerie satellite.

ÉVALUATION

1 BE noté

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

FILIÈRE SISY

PARCOURS AUTOMATIQUE

 ET APPLICATIONS

PARCOURS AUTOMATIQUE ET APPLICATIONS

Control applications

OBJECTIFS

L'objectif de ce parcours est de donner aux étudiants des outils et des exemples permettant d'appréhender la mise en oeuvre 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 com-

mande : 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 oeuvre des lois de commande pour les systèmes aérospatiaux.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

SYSTÈMES DE DÉCISION ET PRÉDICTION

Decisional Systems

Responsable: C. TESSIER / N. DROUGARD
Co-Responsable : Y. brière

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

IMPLANTATION DES LOIS DE COMMANDE

Real-time control

Responsable: Y. BRIÈRE

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

APPLICATIONS ET ÉTUDE DE CAS

Case Study and Applications

Responsable : C. BÉRARD / J.-M. BIANNIC

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 oeuvre 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

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

INFORMATIQUE, TÉLÉCOMMUNICATION ET RÉSEAUX (ITR)

Computer science, Telecommunications and Networks

Responsable : José RADZIK

Responsables parcours : F. FRANCES (informatique) / J. RADZIK (télécommunications et réseaux)

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.

ITR specialization syllabus trains engineers to the implementation of digital techniques to the aeronautics and space domains. Depending on the chosen path, the students move towards a profile of either an architect of critical computer systems or a designer of space telecommunication systems. The training is based on a set of theoretical and practical courses covering scientific, technological and industrial issues in these fields, led by researchers and recognized industry engineers.

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 à la cybersécurité doit permettre de comprendre son 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	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Architecture des réseaux ➤ Cybersécurité 	
Parcours Informatique <ul style="list-style-type: none"> ➤ Systèmes temps réel ➤ Vérification et validation formelles ➤ Modèles de programmation concurrente et distribuée ➤ Ingénierie basée modèles (MBSE) 	Parcours Télécommunication et réseau <ul style="list-style-type: none"> ➤ Techniques de transmission sans fil ➤ Systèmes spatiaux ➤ Techniques d'apprentissage (machine learning) pour les systèmes communicants ➤ Réseaux et services par satellites ➤ Constellations et services mobiles ➤ Radio logicielle : interception et génération de signaux réels

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

ARCHITECTURE DES RÉSEAUX

Network Architecture

Responsable : O. HOTESCU

OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants une compréhension des réseaux basés sur la pile protocolaire TCP/IP.

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'ou-tils du domaine public ainsi qu'une étude détaillée de l'interface de programmation socket.

The objective of this course is to provide students with an understanding of the basics of operating systems, and TCP / IP based networks respectively.

PROGRAMME

- Principe des réseaux de télécommunication
- La pile protocolaire TCP/IP

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

CYBERSÉCURITÉ

Cybersecurity

Responsable: M. DEHEZ

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.

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
- 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

SYSTÈMES TEMPS RÉEL

Real-time Systems

Responsable : A. MIFDAOUI

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'ordonnancement 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
- Ordonnancement mono-processeur: tâches périodiques indépendantes, tâches hétérogènes (périodiques et aperiodiques) et tâches dépendantes (précédence et partage de ressources)

- Ordonnancement 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).

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

VÉRIFICATION ET VALIDATION FORMELLES

Formal Verification & Validation

Responsable: C. GARION

OBJECTIFS

The objective of this course is the study of formal approaches to modeling, specification and proofs of software or discrete systems in a broad sense. The course is split into two independent parts.

The first part of the course studies the notion of transitions systems as a mean of modelling the behaviors of such programs and systems. We detail some general purpose properties before tackling the problem of specifying these transitions systems. Linear Temporal Logic is proposed to fulfill our specification needs, and with it the essential notions of safety, liveness and fairness. Model-checking algorithmics is also introduced to decide whether a given system fulfills its specification or provide a counter-example otherwise. These notions are applied to classic toy-problems (prisoner problem, etc) and also to computer science problems (readers-writers problem, mutual exclusion, dining philosophers, etc), using the TLA+ language and development framework.

The second part of the course presents several software formal verification techniques. Verification consists in verifying that software satisfies its specification. This could of course be done with testing, but for complex and critical systems formal methods can now be used. Formal methods are a set of mathematical theories and practical tools allowing to reason on software correctness. The goal of this part of the course is to present two different methods:

- Deductive methods are presented either through the C programming language, the ACSL specification language and the Frama-C platform, or through the SPARK language. Automatic theorem provers like Alt-Ergo, CVC4 or Z3 are used to automatically proved the programs the students will implement.
- Abstract interpretation is a theory to approximate the behaviour of a program and can be used to prove properties on complex software (e.g. using numerical computations).

A general introduction to these approaches will be given in the first session of the lecture. The students then have to choose a specializing

track corresponding to a particular method during which they will be coached by specialist. Each track will present its method both on the theoretical and the practical points of view. A case study will be done by the students and they have to present their work and conclusions about the formal method they have used during a mini-workshop.

PROGRAMME

The first part of the course is organized as follows:

- Transitions systems: definitions
- The TLA+ language
- BE: missionaries and cannibals
- Linear Temporal Logic (LTL)
- LTL specification in TLA+
- BE: Peterson's algorithm
- BE: token circulating on a ring

The second part is organized as follows:

- Formal methods presentation, industrial successes, tracks presentation
- Work in each track (practical work and project)
- Project defense

An industrial feedback on formal methods adoption in industry, particularly in aerospace industry, will be done at the end on the course.

ÉVALUATIONS

The first part of the course is graded by a two-person project (50% of the final grade). The second part of the course is graded by individual work during lab sessions (10% of the final grade), project (25% of the final grade) and final presentation (15% of the final grade).

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

MODÈLES DE PROGRAMMATION CONCURRENTE ET DISTRIBUÉE

Concurrent and Distributed Programming

Responsable : X. THIRIOUX

OBJECTIFS

Ce module présente différents modèles de programmation classiques, depuis la programmation concurrente à base de « threads » systèmes jusqu'à la programmation distribuée, en passant par l'alternative que constitue la programmation synchrone, très utilisée dans les systèmes embarqués, à travers le langage Lustre. La distribution sera abordée dans une perspective pratique d'étude des problématiques du « High Performance Computing » et du « Big Data ». Une dernière partie sera consacrée à des séminaires permettant une ouverture vers le monde industriel, par exemple la présentation de l'atelier SCADE, un langage inspiré par Lustre et un environnement de développement de systèmes critiques, utilisé notamment chez Airbus.

This module presents several pervasive programming models, from concurrent programming with system threads to distributed programming, through the alternative synchronous programming model exemplified with the language Lustre. Distributed programming focuses on practical modern topics such as High Performance Computing and Big Data. The last part is dedicated to invited conferences from the industrial world. As an example, we plan a presentation of the Lustre inspired language and development framework SCADE, used in the critical systems development teams, as found at Airbus.

PROGRAMME

- OS, processeur et architecture mémoire
- Programmation concurrente : POSIX
- Patrons de conception pour la concurrence
- Bases du langage Lustre
- Horloges et échantillonnage
- Spécification et vérification par observateur
- Sémantique formelle
- Introduction au HPC et Big Data
- BE HPC avec MPI
- BE Big Data avec Python/Dask

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

INGÉNIERIE BASÉE MODÈLES

Model Based Systems Engineering

Responsable : P. DE SAQUI SANNES

OBJECTIFS

Ce module prépare les futur-e-s élèves ingénieur-e-s à appréhender la mise en œuvre d'une démarche MBSE (Model-Based Systems Engineering). Norme internationale et utilisé dans l'industrie, SysML (Systems Modeling Language) sert de langage support à l'apprentissage de la modélisation système. L'on ne se limite pas à du dessin industriel sous forme de diagrammes : en effet, les modèles SysML sont débogués et confrontés aux exigences par utilisation combinée de techniques de simulation et vérification formelle. Le logiciel libre TTool sert de support aux exercices d'application du cours et au projet.

PROGRAMME

- Vous avez dit "MBSE"
- Expression des besoins
- Recueil des exigences
- Analyse guidée par les cas d'utilisation
- Conception : architecture et comportements
- Simulation de modèles
- Verification formelle de modèles
- Etudes de cas
- Projet

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes :

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

TECHNIQUES DE TRANSMISSION SANS FIL

Wireless transmission techniques

Responsable : D. ROQUE

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 1er 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 2e 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 oeuvre de ces algorithmes d'estimation et de correction sur des récepteurs de radio logicielle.

Le 3e 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.

This module aims to provide students with all the skills necessary to understand and design a complete digital communication chain. Students must be able to mobilize analysis tools and choose the most relevant channel / modulation / coding associations in real communication systems. Practical work and illustrations based on a software radio platform make it possible to compare theoretical analysis with real signals.

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.

ÉVALUATION

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

SYSTÈMES SPATIAUX

Space Systems

Responsable: J. RADZIK

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)
- Equipements 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%).

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TECHNIQUES D'APPRENTISSAGE (MACHINE LEARNING) POUR LES SYSTÈMES COMMUNICANTS

Machine Learning-based communication systems

Responsable: M. BENAMMAR

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

RÉSEAUX ET SERVICES PAR SATELLITES

Satellite networks and services

Responsable : J. 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.

PROGRAMME

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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

CONSTELLATIONS ET SERVICES MOBILES

Satellite constellations and mobile services

Responsable: J. RADZIK

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
 Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

RADIO LOGICIELLE, INTERCEPTION ET GÉNÉRATION DE SIGNAUX RÉELS

Software radio

Responsable : D. ROQUE

OBJECTIFS

- Énumérer les principales architectures d'émetteurs-récepteurs de radio logicielle ; cerner leur avantages et leurs limites.
- Découvrir un environnement de développement orienté temps-réel (Matlab ou GNU Radio).
- Transposer une chaîne de transmission complète dans le domaine numérique pour une exécution orientée temps-réel (ex. : traitements multicausalité, compromis performance/complexité).
- Justifier expérimentalement le réglage des principaux paramètres d'un récepteur (ex. : gains de boucles de synchronisation, facteur de suréchantillonnage).
- Identifier des imperfections radio-fréquence et mettre en place des techniques de compensation dans le domaine numérique (ex. : DC offset, IQ imbalance).

OBJECTIVES

- Cite the main SDR transceiver architectures; identify their benefits and limitations.
- Get acquainted with a real-time oriented development environment (Matlab or GNU Radio).

- Implement a complete discrete-time transmission path in view of real-time execution (e.g., multirate processing, performance/complexity trade-off).
- Set experimentally the main parameters of a receiver (e.g., synchronization loops gains, oversampling factor).
- Identify the main radiofrequency impairments and deploy digital mitigation techniques (e.g., DC offset, IQ imbalance).

PROGRAMME

- Cours introductif sur l'architecture SDR (3h);
- TP sur la réception de modulations analogiques (radiodiffusion FM et VHF Aero sous Matlab ou GNU Radio) [6h];
- TP sur la chaîne de transmission numérique (QPSK over-the-air sous Matlab ou GNU Radio) [6h];
- TP libre où les étudiants proposent des améliorations de leur chaîne de transmission et présentent leurs résultats oralement [6h].

ÉVALUATIONS

Ce module est évalué par deux notes : compte rendu de travaux pratiques et présentation orale des résultats

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

FILIÈRE

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

Space Science & Earth Observation

Responsable : D. MIMOUN

Responsables parcours : L. FERRO-FAMIL (OT) - D. MIMOUN (SU)

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.

<p>Tronc commun</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Physique de la mesure et instrumentation associée ➤ Analyse et traitement des mesures ➤ Architecture des missions scientifiques spatiales ➤ Planétologie et gravimétrie 	
<p>Parcours Sciences de l'Univers (SU)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Astrophysique ➤ Mécanique céleste avancée ➤ Gravitation 	<p>Parcours Science de la Terre et Environnement (STE)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ingénierie de l'observation ➤ Fondamentaux des Sciences de la Terre

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

PHYSIQUE DE LA MESURE ET INSTRUMENTATION ASSOCIÉE

Remote sensing & sensors

Responsable : K. ADELIN / J.-P. GASTELLU ETCHEGORRY

Co-Responsable : L. FERRO-FAMIL

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

ANALYSE ET TRAITEMENT DES MESURES

Data Processing

Responsable: E. ZENOU

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.

PROGRAMME

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

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par deux notes:

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

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

MISSIONS SCIENTIFIQUES

Space Science Missions Systems Engineering

Responsable: D. 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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

BASES DE DONNÉE ET APPRENTISSAGE PROFOND

Big Data and Cloud

Responsable : T. OBERLIN

OBJECTIFS

Les données d'observation de la Terre forment de très gros volumes de données, acquis en continu. Comme dans d'autres domaines similaires, le traitement, stockage et l'exploitation de ces données se fait essentiellement dans le cloud. Ce cours est une introduction au cloud computing, ainsi qu'une première formation aux techniques d'apprentissage profond (deep learning).

PROGRAMME

- Introduction au cloud computing, premiers pas sur Google Cloud Platform (GCP)
- Introduction au deep learning, premiers pas avec la librairie PyTorch
- Sensibilisation au big data, data analytics, BE avec dask
- Focus sur deux modèles de deep learning pour deux problématiques communes en observation de la Terre : la segmentation d'images et la détection d'anomalies.

ÉVALUATIONS

Le module est évalué par une note de QCM et un BE noté.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

ASTROPHYSIQUE

Astrophysics

Responsable: D. MIMOUN

→ 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

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

MÉCANIQUE CÉLESTE AVANCÉE

Advanced Celestial Mechanics

Responsable: D. MIMOUN

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année

Semestre S5

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

GRAVITATION

Gravitation

Responsable : B. LAMINE

Co-responsable : D. MIMOUN

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.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

INGÉNIERIE DE L'OBSERVATION
Observation engineering

Responsable : L. FERRO-FAMIL

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	6
DOMAINES D'APPLICATION	8
FILIÈRES D'EXPERTISE	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES	129

Ingénieur ISAE-SUPAERO
Programme

3^e année
Semestre S5

FONDAMENTAUX DES SCIENCES DE LA TERRE APPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES

Earth Sciences

Responsable: L. FERRO-FAMIL

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.

TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	4
PROJET INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	6
DOMAINES D'APPLICATION.....	8
FILIÈRES D'EXPERTISE.....	48
STAGE DE FIN D'ÉTUDES.....	129

STAGE DE FIN D'ÉTUDES

End-of-study project

Responsable: un par filière.

SFE

3^e année
Semestre 6

30
ECTS
5 mois
(mini)

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.





ISAE
NOM DE L'ÉTABLISSEMENT
SUPAERO



ISAE-SUPAERO
10, avenue É. Belin
BP 54032
31055 Toulouse Cedex 4
France

 **33 (0)5 61 33 80 80**
www.isae-supero.fr

-  ISAE Supaero
-  @ISAE_officiel
-  @isae-supero
-  ISAEcom
-  ISAE-SUPAERO