

# **PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT 2010-2011**

## **FORMATION SUPAERO**



## Table des matières

1ère année formation SUPAERO.....	5
Présentation.....	5
Conditions de validation.....	6
Harmonisation.....	10
Tronc commun scientifique.....	11
Tronc commun non scientifique.....	17
Option astrophysique.....	20
Option mathématique de la décision économique.....	22
Option dynamique du vol.....	24
Option intelligence artificielle et informatique fondamentale.....	26
Option nanosciences.....	28
Matières facultatives.....	30
2ème année formation SUPAERO.....	35
Présentation.....	35
Conditions de validation.....	36
Harmonisation et découverte de l'entreprise.....	41
Tronc commun scientifique.....	43
Tronc commun non scientifique.....	47
Projet de deuxième année.....	50
Majeure aérodynamique.....	51
Majeure automatique.....	52
Majeure énergétique et propulsion.....	54
Majeure informatique.....	55
Majeure matériaux et structures.....	56
Majeure méthodes et modèles mathématiques.....	57
Majeure modélisation et maîtrise de l'incertitude.....	59
Majeure ondes et signaux.....	61
Majeure physique et observation de la terre.....	62
Matières facultatives.....	63
3ème année formation SUPAERO.....	68
Présentation.....	68
Conditions de validation.....	73
Harmonisation.....	82
Tronc commun.....	83
Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE).....	85
Domaine Systèmes embarqués (SEM).....	88
Domaine Systèmes Energétiques (SEN).....	91
Domaine Système d'Information et de Décision (SID).....	94
Domaine Systèmes Spatiaux (SSP).....	97
Approfondissement Aérodynamique (AE).....	100
Approfondissement architecture mécanique et thermique des véhicules spatiaux (AS).....	104
Approfondissement Automatique (AU).....	107
Approfondissement génie industriel (GI).....	112
Approfondissement Ingénierie Financière (IF).....	115
Approfondissement Imagerie (IM).....	118
Approfondissement Systèmes Informatiques (IN).....	121
Approfondissement Propulsion (PR).....	125
Approfondissement Physique Spatiale (PS).....	128
Approfondissement Structures (ST).....	131
Approfondissement Télécommunications, Navigation (TN).....	134

Modules facultatifs.....138

# 1ère année formation SUPAERO

Responsable de programmes : Christophe GARION

Inspecteur d'étude : Nicole PEYBERNARD

## Présentation

---

La majeure partie du programme de 1ère année consiste en un important tronc commun de sciences fondamentales (de septembre à avril) :

- mathématiques (analyse vectorielle, analyse complexe, analyse fonctionnelle, analyse hilbertienne, analyse harmonique, équations aux dérivées partielles, probabilités),
- physique (propagation des ondes électromagnétiques, physique du laser, mécanique quantique, électronique),
- mécanique et thermodynamique (thermodynamique et énergétique, mécanique des milieux continus, élasticité linéaire, mécanique générale, mécanique spatiale, mécanique des fluides et aérodynamique, dynamique du vol),
- informatique (accès système, algorithme et programmation).

C'est également pendant le tronc commun que prennent place deux modules encadrés de travaux expérimentaux (TrEx) en binôme, réalisés le plus souvent dans les laboratoires de l'École.

L'ensemble des modules décrits ci-dessus constitue le « tronc commun scientifique ».

Pour tenir compte des différences sensibles entre les programmes des filières de classes préparatoires, une phase d'harmonisation multi-disciplinaire est programmée au début du tronc commun.

Le tronc commun comprend aussi un volume important de disciplines non- scientifiques, également indispensables à la formation d'un ingénieur :

- économie - gestion (jeu de simulation d'entreprise, économie d'entreprise),
- séminaires de culture générale (un à choisir parmi neuf),
- une initiation de l'histoire des sciences,
- des cours obligatoires d'anglais et d'une autre langue vivante (choisie parmi neuf),
- une formation à la recherche bibliographique,
- une préparation à la vie professionnelle,
- trois disciplines sportives au choix, occupant chacune un trimestre.

L'année se termine par deux mois d'enseignements électifs (fin avril - fin juin). Les étudiants ont le choix entre cinq options (80 heures) :

- dynamique du vol,
- intelligence artificielle et informatique fondamentale,
- mathématiques de la décision économique,
- astrophysique
- nanosciences

Indépendamment du choix de leur majeure, les étudiants doivent également réaliser un projet personnel. Réalisés individuellement ou en binôme les projets de 1ère année sont répartis par unités de formation. Les sujets sont habituellement proposés par les élèves, après acceptation par un enseignant responsable d'unité de formation, qui oriente et valide le choix du sujet et de l'encadrant.

Tous les étudiants réalisent un vol découverte sur TB20 et ont accès à une formation basique au pilotage ; les élèves sélectionnés peuvent suivre une formation plus poussée les menant, dans la grande majorité des cas, jusqu'au brevet de pilote privé.

Par ailleurs, outre l'apprentissage d'une troisième, voire d'une quatrième langue vivante, de nombreuses matières facultatives sont proposées au cours des deux premières années, allant d'une formation au secourisme jusqu'à un atelier d'arts plastiques en passant par des initiations aux outils bureautiques de l'ingénieur.

Enfin, entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> année, les étudiants font un stage de découverte de l'entreprise durant lequel ils doivent effectuer des travaux au niveau exécutant.

## Conditions de validation

---

Les critères de suffisance portent sur les notes attribuées après rattrapage. Ils restent valables après examen de rappel éventuel. Ces notes sont attribuées en prenant en compte un ou plusieurs des modes d'évaluation classiques : test écrit, rapport, soutenance orale, bureau d'études, contrôle continu.

Les critères de suffisance conduisant à la validation de la 1<sup>ère</sup> année d'études sont les suivants :

- aucune note R (refus de noter) ;
- aucune note de module inférieure à la « barre minimale » de 7/20 (ce critère démontre l'absence de lacune rédhibitoire dans l'une des matières du cursus), barre servant également de seuil pour les crédits ECTS. En ce qui concerne les langues vivantes, le seuil est fixé à 10/20 ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières scientifiques du tronc commun, ce critère démontre le niveau scientifique global de l'étudiant ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières non scientifiques du tronc commun, ce critère démontre le niveau de l'étudiant dans les autres disciplines ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières de l'option.

## Harmonisation

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
ET121	Harmonisation en électronique (PC)	3.75	0
MA121	Topologie (PC)	10	0
MA122	Topologie (PSI)	5	0
MA123	Algèbre et topologie (PT, TSI, L3)	22.5	0
SM121	Harmonisation en mécanique générale (MPI, PC)	12.5	0

## Tronc commun scientifique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE101	Mécanique des fluides et aérodynamique	46.25	3
DV101	Dynamique du vol	22.5	1.5
DV102	Vol découverte	2,5 h par élève	0
ET101	Électronique	30	2
IN102	Algorithmique et programmation	43	3
IS101	Mécanique spatiale	12.5	0.5
MA101	Introduction à la simulation numérique	10	1
MA102	Introduction à l'optimisation	16.25	1
MA103	Analyse hilbertienne, Analyse fonctionnelle,	25	2
MA104	Variable complexe	11.25	1
MA105	Probabilités : de la théorie au calcul	30	2
MA106	Analyse harmonique	20	1.5
MA107	Initiation au logiciel Matlab	2.5	0
PE101	Thermodynamique générale	20	1.5
PH101	Mécanique quantique	20	1.5
PH102	Propagation des ondes électromagnétiques	21.25	1.5
PH103	Physique du laser	25	2
SM101	Mécanique des milieux continus	17.5	1.25
SM102	Mécanique des solides déformables	12.5	1.25
SM103	Mécanique générale	20	1.5
SM104	Statique de poutre	20	1.5
XX101	Travaux Expérimentaux	40	2.5

## Tronc commun non scientifique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AC101	Histoire des sciences	16.25	0
AC102	Arts et culture	30	2.5
EG101	Jeu de simulation d'entreprise	20	1
EG102	Économie d'entreprise	18.75	1
EG103	Préparation à la vie professionnelle	25	1
IN101	Accès système informatique	7.5	0
LV100	Langue vivante 1 : anglais	65	4
LV101-109	Langue vivante 2	46.25	3
SP101	Sport	40.5	2.5
XX102	Projet	122,5	6

## Option astrophysique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
PH110	Physique statistique	28	2
PH111	Relativité restreinte/générale	20	1.5
PH112	Astrophysique générale : comprendre et observer l'univers	10	1
PH117	Physique du système solaire	22	1.5

## Option mathématique de la décision économique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
MA110	Systèmes dynamiques non linéaires	20	1.5
MA111	Méthodes mathématiques d'optimisation	20	1.5
MA112	Applications économiques de l'optimisation statique et dynamique	20	1.5
MA113	Théorie des jeux	20	1.5

## Option dynamique du vol

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE110	Aérodynamique de l'Avion	26.25	2
DV110	Modélisation des efforts de propulsion	8.75	1
DV111	Modélisation des masses de structure	22.5	1.5
DV112	Les performances	22.5	1.5

## Option intelligence artificielle et informatique fondamentale

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
IN110	Langage et compilation	20	1.5
IN111	Programmation fonctionnelle et introduction à la théorie des types	20	1.5
IN112	Logique mathématique	20	1.5
IN113	Intelligence artificielle : une introduction	20	1.5

## Option nanosciences

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
PH113	Microscopies	17.5	1
PH114	Physique du solide et opto électronique	16.25	1.5
PH115	Physique mésoscopique	18.75	1.5
PH116	Ressources quantiques	27.5	2

## Matières facultatives

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AC902	Atelier du regard	30	1.5
AC903	Atelier d'arts plastiques	60	1.5
AC904	Bistrot littéraire : atelier d'écriture	60	1.5
AC905	Atelier théâtre	50	1.5
AC906	Atelier des arts du cirque	60	1.5
AC907	Atelier musique	60	1.5
AE901	Atelier aéromodélisme et micro-drone	0	1
DV901	Formation au pilotage	13.75 et 52.5h pour les étudiants sélectionnés	1.5
EG903	Introduction au droit de l'entreprise	5	0.5
IN901	Les outils bureautiques de l'ingénieur	10	1
LV910	Toefl	0	0
LV900-LV909	Langue vivante 3 et 4	50	1.5
SM901	Concevoir et produire	24	1.5
SM902	Initiation au logiciel CATIA	10	1
XX901	Formation aux premiers secours	15	0

# Harmonisation

---

## Harmonisation en électronique (PC) ET121

**Responsable du module :** Pierre MAGNAN **Volume horaire:** 3.75

**Correspondant ISAE :** Pierre MAGNAN **Ects:** 0

### Descriptif

---

## Topologie (PC) MA121

**Responsable du module :** X. BUFF **Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Denis MATIGNON **Ects:** 0

### Descriptif

Harmonisation d'analyse mathématique essentiellement destinée à préparer le cours d'analyse fonctionnelle du tronc commun MA103. Les notions de limites, de suite de Cauchy, d'espaces vectoriels normés, des différents types de convergence pour les suites de fonctions seront entre autres abordées.

---

## Topologie (PSI) MA122

**Responsable du module :** Xavier CLAEYS **Volume horaire:** 5

**Correspondant ISAE :** Denis MATIGNON **Ects:** 0

### Descriptif

Harmonisation d'analyse mathématique essentiellement destinée à préparer le cours d'analyse fonctionnelle du tronc commun MA103. Les notions de limites, de suite de Cauchy, d'espaces vectoriels normés, des différents types de convergence pour les suites de fonctions seront entre autres abordées.

---

## Algèbre et topologie (PT, TSI, L3) MA123

**Responsable du module :** Jean-louis PAC **Volume horaire:** 22.5

**Correspondant ISAE :** Denis MATIGNON **Ects:** 0

### Descriptif

Harmonisation en mathématique destinée à préparer les étudiants issus de la filière PT ou d'une licence universitaire aux différents enseignements du tronc commun de première année du cursus SUPAERO. Les notions d'algèbre vectorielle (dimension finie) sont traitées, comme les structures d'espace vectoriel et de sous-espace vectoriel, les applications linéaires et la réduction (diagonalisation) des endomorphismes. Ensuite, des rappels et des compléments d'analyse sont enseignés comme : les suites, les séries, les suites de fonctions avec les différents types de convergence, les suites de Cauchy et les espaces vectoriels normés de dimension infinie (pour préparer l'analyse hilbertienne et l'analyse fonctionnelle, module MA103 du tronc commun de première année).

---

## Harmonisation en mécanique générale (MPI, PC) SM121

**Responsable du module :** Miguel CHARLOTTE **Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Miguel CHARLOTTE **Ects:** 0

### Descriptif

Les grands chapitres de la mécanique newtonienne sont abordés afin de maîtriser la modélisation des systèmes ainsi que la description des mouvements et leurs causes. La modélisation des actions mécaniques, la cinématique du solide, la cinétique et dynamique du solide sont illustrées théoriquement ainsi qu'au travers d'applications aéronautiques.

# Tronc commun scientifique

## Mécanique des fluides et aérodynamique

AE101

Responsable du module : Allan BONNET

Volume horaire: 46.25

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 3

### Descriptif

L'enseignement de Mécanique des fluides et Aérodynamique de 1ère année vise à donner les bases de cette discipline qui s'appuie sur les cours de Mécanique des Milieux Continus SM 101, tout en l'appliquant à l'aérodynamique. Les cours sont complétés par des exercices, dont un grand nombre comporte des démonstrations en soufflerie. Nous présentons tout d'abord la hiérarchie des modèles disponibles pour traiter des écoulements fluides dans le cadre des milieux continus, en allant des équations de Navier-Stokes jusqu'aux équations à potentiel des vitesses linéarisé. Le cours s'articule ensuite autour de trois thèmes : effets de la compressibilité ou du nombre de Mach  $M$ , effets de la viscosité ou du nombre de Reynolds  $Re$  et effets de la tridimensionnalité des écoulements ou de l'allongement  $l$ .

## Dynamique du vol

DV101

Responsable du module : Jean-luc BOIFFIER

Volume horaire: 22.5

Correspondant ISAE : Jean-luc BOIFFIER

Ects: 1.5

### Descriptif

La dynamique du vol en première année concerne l'étude des équilibres de l'avion. L'équilibre longitudinal qui régit le vol dans un plan vertical, en particulier la pente et la vitesse, et l'équilibre latéral qui traite le cas du virage et du vol rectiligne dérapé. Ce dernier se rencontre lors d'un atterrissage par vent de travers ou en cas de panne moteur.

Avant d'aborder l'équilibre proprement dit, l'enseignement débute par une présentation générale de la dynamique du vol, de sorte que le premier contact avec cette matière permette d'introduire le vocabulaire et les méthodes de travail que l'on retrouvera en deuxième année où les qualités de vol d'un avion seront traitées. Les performances qui traduisent l'équilibre dans des conditions aux limites seront, quant à elles, traitées au cours de la majeure de Dynamique du Vol de première année. Cette majeure constitue une introduction à la conception avion qui sera développée grâce aux projets de deuxième année.

Objectifs de l'enseignement : Cet enseignement devrait rendre l'étudiant apte à comprendre et quantifier les phénomènes en jeu lors d'un vol équilibré d'un avion, c'est-à-dire pendant la plus grande partie du vol. Il pourra répondre aux questions du type : comment faire monter ou descendre l'avion? comment modifier la vitesse d'un avion? quels sont les efforts impliqués dans l'équilibre du virage? Outre l'explication de ces comportements, il pourra calculer les valeurs des paramètres de ces équilibres. Comprendre les phénomènes c'est aussi comprendre pourquoi les avions ressemblent à ce qu'ils sont. Ainsi l'étudiant pourra justifier le rôle de l'empennage horizontal, de la dérive, etc... Le second objectif concerne l'acquisition d'une culture aéronautique qui permettra à l'étudiant de comprendre les discours généraux sur les avions, leur conception, leurs performances et aussi sur la plupart des accidents. Cette culture se construira non seulement sur le vocabulaire, les méthodes et la technique mais aussi grâce aux anecdotes aéronautiques.

## Vol découverte

DV102

Responsable du module : Daniel VACHER

Volume horaire: 2,5 h par élève

Correspondant ISAE : Christian COLONGO

Ects: 0

### Descriptif

L'objectif est de faire découvrir le milieu aérien aux étudiants de première année et aux admis sur titre de deuxième année.

Pour un certain nombre d'entre eux il s'agit en effet de leur premier vol en avion.

Ce vol consiste en un aller-retour Toulouse Albi.

Les principes généraux de pilotage d'un avion et les méthodes de navigation sont succinctement abordés.

Les vols sont réalisés sur le SOCATA TB 20 ou sur des ROBIN DR 400.

## Électronique

ET101

**Responsable du module :** Pierre MAGNAN, Vincent CALMETTES

**Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Pierre MAGNAN

**Ects:** 2

### Descriptif

#### Partie 1

L'objectif de ce cours est d'apporter aux étudiants une connaissance des techniques leur permettant de comprendre, d'analyser, de concevoir, de simuler et de réaliser des fonctions d'électronique numérique. Ce cours se termine par un bureau d'étude durant lequel ils appliqueront les notions développées en réalisant une fonction complexe utilisant une architecture matérielle construite autour d'un circuit numérique programmable.

Ce cours commence par une présentation des systèmes de numération. Cette partie est nécessaire à la compréhension des représentations utilisées dans les systèmes de traitement numérique (filtrage numérique, traitement linéaire, codage) qui représentent une part importante de l'électronique numérique. Il aborde ensuite les techniques d'électronique combinatoire. L'effort porte sur les méthodes de spécification et les techniques de simplification. Cette partie est suivie d'un cours d'électronique séquentielle qui décrit les méthodes de synthèse des compteurs synchrones et asynchrones et les fonctions séquentielles simples que constituent les systèmes à décalage. Enfin sont introduites les méthodes de description et de synthèse de systèmes synchrones qui sont appliquées à la conception de machine à états finis.

#### Partie 2

Cet enseignement vise à donner aux étudiants les compétences nécessaires leur permettant de comprendre, d'analyser, de concevoir, de simuler et de réaliser des fonctions électroniques analogiques et numériques des systèmes de traitement des signaux (souvent issus de capteurs de grandeurs physiques) et à introduire les notions de base du traitement du signal et du bruit. La partie numérique du cours commence par une étude des représentations (systèmes de numération) utilisées dans les systèmes de traitement numérique avant d'aborder les techniques d'électronique combinatoire (spécification et simplification), les méthodes de synthèse des compteurs synchrones et asynchrones, les systèmes à décalage et les méthodes de description et de synthèse de systèmes synchrones des machines à états finis.

Il se termine par deux bureaux d'étude, l'un axé sur l'utilisation des outils de simulation électronique pour la conception des circuits analogiques, l'autre durant lequel ils appliqueront les notions développées en réalisant une fonction numérique complexe utilisant une architecture matérielle construite autour d'un circuit numérique programmable.

## Algorithmique et programmation

IN102

**Responsable du module :** Pierre SIRON

**Volume horaire:** 43

**Correspondant ISAE :** Pierre SIRON

**Ects:** 3

### Descriptif

La notion d'algorithme est introduite avec un langage algorithmique simple et des exemples. Deux méthodes de conception sont présentées : descendante et ascendante basée sur les types de données abstraites.

Le langage de programmation C est enseigné car ce langage est largement répandu, qu'il permet une bonne modularité et la mise en oeuvre de structures de données complexes et dynamiques. Enfin, il permettra d'aborder des langages de programmation objet en deuxième année.

## Mécanique spatiale

IS101

**Responsable du module :** David MIMOUN

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN

**Ects:** 0.5

### Descriptif

Ce module vise à présenter dès la première année du cursus SUPAERO une introduction à la mécanique spatiale. S'appuyant sur les acquis du cours de mécanique générale, ce cours présentera une introduction à la mécanique spatiale, en revisitant les équations du mouvement à deux corps, puis en parcourant les équations du mouvement à trois corps dans les cas restreints usuels (on abordera ainsi les notions de sphère d'influence). On présentera les intégrales de Jacobi, la relation de Tisserant, les équations de Hill ainsi que les points de Lagrange. Une première approche de la stabilité des points de Lagrange sera présentée, ainsi que des trajectoires au voisinage de ces points.

Les concepts de résonance entre orbites seront abordés, ainsi que la transition vers les comportements chaotiques (rotation d'Hypériorion)

De nombreuses applications tirées de la mécanique céleste seront présentées.

<b>Introduction à la simulation numérique</b>	<b>MA101</b>
<b>Responsable du module :</b> Denis MATIGNON	<b>Volume horaire:</b> 10
<b>Correspondant ISAE :</b> Denis MATIGNON	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Ce cours est décomposé en deux parties. La première partie consiste en un enseignement sur les moindres carrés, la pseudo-inverse et la décomposition en valeurs singulières, suivi par un bureau d'étude (exercices de régression puis d'interpolation). La seconde partie consiste en un enseignement sur les techniques classiques de simulation d'équations différentielles ordinaires, suivi d'un bureau d'étude.	
<b>Introduction à l'optimisation</b>	<b>MA102</b>
<b>Responsable du module :</b> Alain HAIT, Emmanuel ZENOU	<b>Volume horaire:</b> 16.25
<b>Correspondant ISAE :</b> Emmanuel ZENOU	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
<b>Analyse hilbertienne, Analyse fonctionnelle,</b>	<b>MA103</b>
<b>Responsable du module :</b> Grégoire CASALIS, A. ANTIBI	<b>Volume horaire:</b> 25
<b>Correspondant ISAE :</b> Denis MATIGNON	<b>Ects:</b> 2
<b>Descriptif</b>	
Le but de ce cours est de permettre aux étudiants de première année d'acquérir les connaissances de base en analyse hilbertienne et en analyse fonctionnelle. Les principales notions abordées sont les espaces de Hilbert (théorèmes de projection, théorème de Riesz, base hilbertienne et convergence faible), la théorie de la mesure, la construction des espaces fonctionnels classiques (L1 et L2 notamment), les mesures bornées, la dualité et la convergence faible. Les notions abordées dans ce module servent notamment pour les équations aux dérivées partielles (MA 201), l'analyse harmonique (MA106), la mécanique quantique et en théorie du signal.	
<b>Variable complexe</b>	<b>MA104</b>
<b>Responsable du module :</b> A. ANTIBI	<b>Volume horaire:</b> 11.25
<b>Correspondant ISAE :</b> Denis MATIGNON	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Le but du cours est de présenter les grands résultats d'analyse complexe, qui utilisent notamment les notions sur les séries entières vues en classes préparatoires. Une large place est faite aux applications de l'analyse complexe en automatique et en mécanique des fluides.	
<b>Probabilités : de la théorie au calcul</b>	<b>MA105</b>
<b>Responsable du module :</b> Manuel SAMUELIDES, P. HENRY	<b>Volume horaire:</b> 30
<b>Correspondant ISAE :</b> Manuel SAMUELIDES	<b>Ects:</b> 2
<b>Descriptif</b>	
Le cours a pour but de donner les bases du calcul des probabilités. Son objectif est donc limité à l'acquisition des techniques élémentaires de calculs de lois, l'accoutumance au langage probabiliste employé dans les cours techniques de théorie du signal et d'automatique et la connaissance des résultats utilisés par ces cours, notamment les propriétés des lois gaussiennes multidimensionnelles et d'approximation d'une loi multidimensionnelle par régression linéaire ou conditionnelle.	
Les bases mathématiques du cours sont enseignées en Analyse fonctionnelle (définition d'une mesure et convergence faible) et en Analyse harmonique (transformation de Fourier, convolution).	
<b>Analyse harmonique</b>	<b>MA106</b>
<b>Responsable du module :</b> Denis MATIGNON	<b>Volume horaire:</b> 20
<b>Correspondant ISAE :</b> Denis MATIGNON	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	
Le but de ce cours est de permettre aux étudiants de première année d'acquérir les connaissances de base en analyse de Fourier. Les points abordés essentiels sont la convolution, les transformations de Fourier en discret ou en continu, le théorème de Plancherel-Parceval, une introduction aux espaces de Sobolev, ainsi que la transformée de Laplace et la	

transformée en  $z$  à valeur dans des espaces de Hardy.

Les notions abordées dans ce module sont appliquées à la résolution des équations aux différences et aux équations différentielles, dans un cadre tempéré d'espace ou causal en temps ; elles servent notamment pour les équations aux dérivées partielles, en électronique, en théorie du signal et en automatique.

---

### Initiation au logiciel Matlab

MA107

Responsable du module : Emmanuel ZENOU

Volume horaire: 2.5

Correspondant ISAE : Emmanuel ZENOU

Ects: 0

#### Descriptif

---

### Thermodynamique générale

PE101

Responsable du module : Alain CARRERE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

#### Descriptif

Science fondamentale de l'ingénieur dans un contexte d'énergie à optimiser la thermodynamique et la thermique enseignées ici donnent les bases pour les applications à l'aéronautique (aérodynamique et propulsion) et à l'énergétique.

---

### Mécanique quantique

PH101

Responsable du module : C. TEICHTEIL, C. JOACHIM

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 1.5

#### Descriptif

L'objectif du cours de Mécanique Quantique est de donner à l'élève ingénieur la culture scientifique indispensable à la compréhension de la physique moderne et d'un certain nombre de technologies actuelles et à venir (lasers, stockage de données, nano composants et nanotechnologies en général, cryptage quantique, ordinateurs, etc ...). En ce qui concerne plus particulièrement SUPAERO, ce cours précède l'enseignement de physique des lasers pour lequel il permet la compréhension des phénomènes d'émission des milieux actifs des lasers, et il est la base incontournable pour pouvoir suivre l'enseignement de la Majeure Nanosciences dispensé en fin de première année. Une attention particulière est apportée à la pédagogie en raison de la difficulté intrinsèque de la théorie quantique qui doit être assimilée en un nombre très limité d'heures. D'une part de nombreux supports écrits (livre et photocopiés) sont distribués aux élèves. D'autre part on s'attache à une présentation progressive des difficultés (aussi bien en cours qu'en Petites Classes) permettant d'insister sur les aspects physiques de la théorie et de ne pas rebuter au départ les élèves par une "mathématisation" excessive. C'est cependant une présentation moderne de la Mécanique Quantique qui est donnée, afin de permettre des approfondissements par la lecture des articles et des ouvrages modernes.

---

### Propagation des ondes électromagnétiques

PH102

Responsable du module : Jean-claude MOLLIER

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 1.5

#### Descriptif

Conforter les connaissances acquises en classes préparatoires sur les ondes E.M. en illustrant les présentations théoriques par une grande diversité d'exemples d'applications concrètes des micro-ondes à l'optique : transmission de signaux par fibre optique, télémétrie, vélocimétrie radar, instrumentation microonde, radiométrie. Le programme du module étant relativement étendu, il s'appuiera sur un photocopié, les amphis étant plutôt destinés à des cours synthétiques.

---

### Physique du laser

PH103

Responsable du module : Angélique RISSONS, Sébastien MASSENOT

Volume horaire: 25

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 2

#### Descriptif

Ce module comporte deux parties distinctes.

La première partie consistera en la présentation des principes généraux de fonctionnement des lasers : processus d'interaction matière/rayonnement, propriétés des résonateurs optiques et de l'onde laser, dynamique de l'oscillation laser en régime continu. La seconde partie abordera plus précisément les lasers à semi conducteurs qui sont les

sources les plus utilisées dans le grand public et les télécommunications. Après une introduction à la physique des semi conducteurs, le fonctionnement et les différentes structures de diodes lasers seront présentés ainsi que le comportement en présence d'une modulation.

---

## Mécanique des milieux continus

SM101

**Responsable du module :** Grégoire CASALIS

**Volume horaire:** 17.5

**Correspondant ISAE :** Christophe BOUVET

**Ects:** 1.25

### Descriptif

Le cours sert d'introduction pour les cours d'élasticité et ceux de mécanique des fluides.

Après un bref descriptif des tenseurs, la notion de milieu continu déformable est abordée aussi bien sur le plan statique que cinématique. Les équations générales de la mécanique sont obtenues par la méthode des puissances virtuelles présentée comme un outil de modélisation. Enfin, l'étude du tenseur des contraintes permet de revenir à la physique du milieu continu traité.

---

## Mécanique des solides déformables

SM102

**Responsable du module :** Christophe BOUVET

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Christophe BOUVET

**Ects:** 1.25

### Descriptif

Ce module présente le formalisme de la mécanique des solides déformables, concept de base à tout ingénieur. Les applications ont pour cadre les matériaux élastiques linéaires homogènes isotropes et ont pour objectif le dimensionnement des structures étudiées.

---

## Mécanique générale

SM103

**Responsable du module :** Miguel CHARLOTTE

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Miguel CHARLOTTE

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Ce cours permet aux élèves d'acquérir les connaissances nécessaires pour aborder les enseignements ultérieurs de mécanique appliquée : aérodynamique, mécanique des structures, dynamique du vol, mécanique spatiale, moteurs. Une large part du module est consacrée à l'approche analytique basée sur le principe des puissances virtuelles et son extension à l'étude des vibrations de systèmes discrets.

---

## Statique de poutre

SM104

**Responsable du module :** Yves GOURINAT

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Rappels d'Élastostatique - Linéarité - Théorèmes de l'Énergie - Visseur de Poutre

Effort Normal - Barres - Treillis Isostatiques et Hyperstatiques

Visseur de poutre droite - Arche sous Double Charge

Train d'atterrissage Mirage

Flexion Linéaire - Portiques

Maille Hyperstatique

Flux de Cisaillement - Effort Tranchant - Profilés Minces

Flexion Hyperstatique sur Appuis Souples

Torsion - Profils Fermés - Sollicitations Linéaires Combinées

Cisaillements Combinés de Profilés en  $\square$ C"

Torsion d'un Bi-Caisson

Flambage des Poutres - Bifurcation - Modes Statiques

Portique 3D - Cadre Hyperstatique

Flambage avec Rigidité Latérale - Déversement

## **Travaux Expérimentaux**

**XX101**

**Responsable du module :** Damienne BAJON

**Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Damienne BAJON

**Ects:** 2.5

### **Descriptif**

Série de 7 séances expérimentales de 2h30 autour d'un thème scientifique donné choisi parmi une liste de sujets associés aux sciences de l'ingénieur aéronautique. L'accent est mis sur la dextérité expérimentale, la capacité d'analyse des mesures et la capacité écrite et orale de synthétiser les résultats obtenus.

# Tronc commun non scientifique

## Histoire des sciences

AC101

Responsable du module : Grégoire CASALIS

Volume horaire: 16.25

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 0

### Descriptif

Le cours est une série de conférences visant à donner aux élèves des éléments de perspective historique aussi bien sur l'histoire de l'aéronautique et l'histoire de la conquête de l'espace que sur l'histoire de la physique et celle des mathématiques. Des premières notions d'aérodynamique sont données avec les mains, mais l'essentiel du premier cours consiste en des extraits filmés illustrant la rapide évolution de l'aéronautique tout au long du XXe siècles. Le second montre en particulier la conquête de la lune sur fond de compétition entre les russes et les américains. Le troisième cours constitue une sorte de panorama du programme de la physique depuis la mécanique quantique, les nanotechnologies jusqu'à la relativité générale. Enfin un rapide survol de 2500 ans d'histoire des mathématiques part de Thalès et s'achève sur Kantor, Gödel et Poincaré.

## Arts et culture

AC102

Responsable du module : Yves CHARNET

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Yves CHARNET

Ects: 2.5

### Descriptif

Une brochure présentant dans le détail l'ensemble des enseignements et activités en culture générale est remise à chaque élève aux amphithéâtres de présentation.

L'étudiant choisit un séminaire parmi la liste proposée en début d'année.

Les séminaires 2007-2008 :

Y. Charnet - Spectacles du désir : Racine entre fureur et tendresse.

P. Fauré - Europa : zone étrange.

X. Daverat - Le western en temps de crise.

A.Goubron - Famillonaire : ou comment retrouver le bonheur quand on est plus l'ami de Vincent - et quand il est parti avec les croquenots.

M. Caille - Introduction aux religions monothéistes, orientales & africaines.

J.-P. Petit-Gras - Les autres Amériques.

P. Baboulet-Flourens - Comment se construit l'identité d'élève dans une Ecole supérieure ?

B. Thomas et F. Demay- Informer par les techniques d'écritures et de mise en page journalistiques.

G. Portelli - Droit, Justice et Citoyen.

## Jeu de simulation d'entreprise

EG101

Responsable du module : D. TIXIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre JEANBLANC

Ects: 1

### Descriptif

L'objet de ce cours consiste à mettre l'élève en situation de décision et de gestion opérationnelle de ses choix stratégiques. Les élèves se mettront par groupes de 4 ou 5. Chaque groupe constituera une entreprise qui elle-même évoluera dans un Univers correspondant à son champ concurrentiel. Ils prendront et mettront en oeuvre un ensemble de décisions qui permettront la réalisation de leurs objectifs et qui leur permettront de se démarquer de leurs concurrents dans l'Univers dans lequel ils évolueront.

L'intérêt d'un tel outil pédagogique est de favoriser une approche inductive des problèmes de gestion d'une entreprise qui justifie, de fait, la nécessité d'avoir recours à tout un ensemble de méthodes et d'outils pour en permettre la résolution.

Des conférences seront organisées durant le jeu pour donner à l'élève tout un ensemble de techniques de gestion - qu'il doit absolument connaître, sinon maîtriser - qu'il mettra en application instantanément pour formuler ses choix stratégiques et les mettre en oeuvre.

A la fin du jeu, l'élève aura intégré:

- la logique décisionnelle de la firme
- la nécessité d'adapter l'entreprise à son environnement
- la nécessité d'appliquer un certain nombre d'outils pour savoir comment contrôler et améliorer le niveau de performance de l'entreprise
- les bases de la stratégie, de la gestion financière, de marketing, de gestion des ressources humaines, du contrôle de gestion, de la négociation
- la complexité de prendre des décisions en groupe.

---

## Économie d'entreprise

EG102

**Responsable du module :** Philippe ROUSSELOT

**Volume horaire:** 18.75

**Correspondant ISAE :** Pierre JEANBLANC

**Ects:** 1

### Descriptif

Ce cours permettra aux élèves d'avoir une vision claire de la mission d'une entreprise dans une économie de marché et des différents modes de gestion qu'elle doit assurer pour permettre le maintien de sa compétitivité dans une industrie. Cet enseignement sera dans un premier temps, consacré à l'étude du circuit économique, c'est-à-dire, la définition des principaux acteurs économiques et l'étude de leurs relations au travers des différents marchés.

Ce cours traitera ensuite du rôle de l'entreprise dans son contexte économique et des modes de gestion des divers facteurs de production nécessaires à la production de son offre et de sa mise en place sur un marché autour des thèmes suivants :

- L'entreprise comme système ouvert organisé. De la stratégie à la structure.
- Approche fonctionnelle de la firme, vers une gestion opérationnelle de la stratégie. Gestion financière, Gestion marketing, Gestion des Ressources Humaines, Gestion Industrielle, Gestion de la Technologie.

---

## Préparation à la vie professionnelle

EG103

**Responsable du module :** Dominique SERIO

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Dominique SERIO

**Ects:** 1

### Descriptif

Objectifs

Aider les étudiants à préparer leur projet professionnel, leur donner des pistes de réflexion, accompagner cette réflexion, proposer des méthodes et des outils pour l'élaboration du projet professionnel.

- La vie professionnelle et son environnement
- Les enjeux, les urgences, les responsabilités au coeur des métiers d'ingénieur
- Choisir une ou des orientations, pourquoi et comment construire son projet ?
- se préparer au parcours de la sélection : après avoir identifié ses objectifs, comment solliciter les entreprises, mettre en valeur son parcours scolaire et extra scolaire. Les outils de la communication : CV, lettres de motivation, entretiens.

---

## Accès système informatique

IN101

**Responsable du module :** Jean-pierre KELLER

**Volume horaire:** 7.5

**Correspondant ISAE :** Jean-pierre KELLER

**Ects:** 0

### Descriptif

Ce cours vise à donner aux élèves les compétences nécessaires pour utiliser un système informatique hétérogène organisé en réseau. Il devra présenter l'ensemble des outils présents, les méthodes et les techniques disponibles pour utiliser l'outil informatique dans l'enseignement à l'école.

---

## Langue vivante 1 : anglais

LV100

**Responsable du module :** Jean-claude JACQUES

**Volume horaire:** 65

**Correspondant ISAE :** Jean-claude JACQUES

**Ects:** 4

### Descriptif

Cours d'anglais obligatoire pour tous les élèves de 1<sup>ère</sup> année qui permet de renforcer les connaissances théoriques acquises dans le secondaire et en classes préparatoires. Il vise à pratiquer le plus souvent possible de manière intensive et interactive la langue - outil orale courante qui sera utile dans l'exercice de la profession d'ingénieur (compréhension et expression). La correction de l'expression écrite est aussi visée et des travaux personnels en dehors des cours sont demandés. Civilisation, arts et littérature ne sont pas pour autant négligés. Deux cours à thème semestriels choisis par l'élève (débats, cinéma, jeux de rôles, préparation à des examens internationaux) sont complétés par deux modules obligatoires dans lesquels des éléments essentiels de communication, et d'anglais technique et professionnel sont introduits et mis en pratique. Pour les étudiants étrangers, l'anglais obligatoire est remplacé par le français.

## Langue vivante 2

LV101-109

**Responsable du module :** Jean-claude JACQUES

**Volume horaire:** 46.25

**Correspondant ISAE :** Jean-claude JACQUES

**Ects:** 3

### Descriptif

Cours de Langue Vivante 2 obligatoire destinée à compléter la palette linguistique d'un ingénieur qui sera amené à travailler au niveau international.

Le cours permet aux élèves de renforcer les connaissances théoriques acquises dans le secondaire et en classes préparatoires ou bien de commencer l'apprentissage d'une nouvelle langue. Il vise à pratiquer le plus souvent possible de manière intensive et interactive la langue orale (compréhension et expression).

La correction de l'expression écrite est aussi visée et des travaux personnels en dehors des cours sont demandés. Des aspects essentiels de la civilisation, des arts et de la littérature sont abordés.

Les étudiants ont le choix parmi toutes les langues dispensées à SUPAERO : allemand, arabe, chinois, espagnol, français langue étrangère, italien, japonais, portugais, russe.

## Sport

SP101

**Responsable du module :** Stéphane FROUMENTY

**Volume horaire:** 40.5

**Correspondant ISAE :** Stéphane FROUMENTY

**Ects:** 2.5

### Descriptif

A travers la pratique d'activités physiques et sportives, le module EPS propose aux élèves d'élargir leurs compétences en se confrontant à diverses situations, en vivant des expériences nouvelles, en prenant en main leur pratique. Ce qui est recherché à travers la mise en jeu du corps, c'est un changement, une adaptation du rapport qu'ils entretiennent avec le monde physique, les autres et eux-mêmes. Il s'agit donc, par la nature et la diversité des situations proposées, des émotions qu'elles engendrent et des ressources qu'elles sollicitent, de provoquer l'engagement physique et le plaisir d'agir. C'est à partir de cet investissement que les changements affectifs, cognitifs et moteurs sont espérés. C'est aussi l'occasion de partager, de se confronter et d'organiser activement sa pratique.

Les élèves choisissent 3 activités organisées en 3 cycles de 9 séances consécutives de 1h30. Un large éventail d'activités est proposé afin de solliciter toutes les types de ressources et d'atteindre les objectifs définis. Activités qui privilégient les rapports de collaboration et/ou d'opposition (sports collectifs, arts martiaux, escrime, sports de raquette) qui sollicitent en priorité les ressources bio énergétiques ou bio informationnelles (aviron, athlétisme, natation, musculation, tir à l'arc, golf, yoga, acro-cirque...) ou bien qui nécessitent l'adaptation au milieu et la gestion des risques et des émotions (escalade, plongée)

## Projet

XX102

**Responsable du module :** Christophe GARION, Damienne BAJON

**Volume horaire:** 122,5

**Correspondant ISAE :** Christophe GARION

**Ects:** 6

### Descriptif

Projet de recherche individuel (peut être effectué en binôme) sur un sujet scientifique ou culturel choisi de préférence sur initiative des élèves. L'acceptation du sujet et la mise en oeuvre éventuelle de moyens de laboratoires est soumise à l'accord préalable du responsable d'unité de formation concerné. L'accent est mis sur la capacité de produire, sur un sujet original, un travail de recherche de qualité faisant apparaître l'état de l'art de la question abordée, la définition d'une problématique claire et la mise en place d'une méthodologie rigoureuse et cohérente.

# Option astrophysique

Cette majeure de Physique est constituée des modules suivants :

- physique statistique
- physique du système solaire
- astrophysique générale
- relativité restreinte

L'objectif de cette Majeure de 1<sup>ère</sup> année est triple : donner des bases solides en Astrophysique ( Physique du Système Solaire, Physique Stellaire, Cosmologie), donner les fondements de la Physique Statistique et de ses applications à l'Astrophysique, et présenter un cours de Relativité Restreinte.

La Physique Statistique étudie la structure et les propriétés physiques de la matière condensée ou non, les systèmes en équilibre ou hors équilibre, les transitions de phase entre deux états de la matière, □Elle est particulièrement adaptée à des modélisations utilisées en Astrophysique.

L'ensemble permet en outre de présenter deux des 3 théories les plus puissantes élaborées au début du XX<sup>e</sup> siècle, la troisième étant la physique quantique.

---

## Physique statistique

PH110

Responsable du module : B. DINTRANS

Volume horaire: 28

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 2

### Descriptif

Ce cours a pour but de donner une culture de base en Physique Statistique permettant la lecture d'ouvrages spécialisés et la préparation des enseignements d'Astrophysique et de Physique de la Matière, en vue d'une éventuelle poursuite de type Master Recherche/Thèse dans les domaines concernés. Il est constitué de six cours magistraux (15h), deux bureaux d'études (5h), cinq petites classes (6h) et d'un test final écrit (2h). Nous abordons à la fois les statistiques classique et quantique et de nombreuses applications sont proposées, majoritairement dans le domaine astrophysique (émission d'un corps noir et fonds diffus cosmologique, théorie de la stabilité d'une étoile naine blanche, formation des galaxies, etc...). Les deux bureaux d'études se font sous MATLAB et permettent à l'étudiant de faire des expériences numériques dans le domaine de la physique statistique (échanges de chaleur dans un solide, condensation de Bose - Einstein).

---

## Relativité restreinte/générale

PH111

Responsable du module : C. TEICHTEIL

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif du cours de Relativité Restreinte est triple.

D'abord il vise à satisfaire la demande et la curiosité de nombreux élèves pour cette théorie, mais également de compléter la culture générale en physique pour laquelle cette théorie a joué un rôle extrêmement important dans les développements de la physique du 20<sup>ème</sup> siècle. Ensuite cet enseignement est un pré requis pour l'enseignement de l'option cosmologie. Enfin dans la technologie des systèmes de positionnement GPS, Galileo ou autres, les corrections de Relativité Restreinte (dilatation cinématique du temps) sont des ingrédients indispensables à la mise en oeuvre de ces technologies. On peut également signaler comme application technologique le gyroscope laser largement utilisé pour la navigation aérienne de la flotte commerciale.

Cet enseignement est donc particulièrement indiqué pour le cursus Supaero de l'ISAE qui non seulement possède un enseignement généraliste, mais qui a également pour objectif essentiel de former des ingénieurs pour les technologies de l'aviation et de l'espace.

---

## Astrophysique générale : comprendre et observer l'univers

PH112

Responsable du module : Pascal PETIT

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 1

### Descriptif

Les objets observés dans l'Univers lointain (étoiles, systèmes planétaires, galaxies) et les phénomènes physiques qui leur sont attachés sont présentés, ainsi qu'une description des diverses méthodes d'observation employées aujourd'hui pour progresser dans notre connaissance de l'Univers. Les grandes questions ouvertes de l'astrophysique contemporaine, ainsi que les missions spatiales en service ou en projet, constituent le coeur de cet enseignement.

## **Physique du système solaire**

**PH117**

**Responsable du module :** S. MAURICE

**Volume horaire:** 22

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce cours est une introduction à la physique du système solaire. Il vise à donner aux étudiants de deuxième année de SUPAERO des bases en planétologie et en techniques spatiales.

De nombreuses sciences sont abordées : chimie, mécanique, nucléaire, biologie, aéronomie, géophysique, etc..

# Option mathématique de la décision économique

Cette majeure présente les outils de dynamique des systèmes et d'optimisation et leur application aux théories d'équilibre économique (formation des prix, théorie de la firme) et à la théorie des jeux (oligopole et concurrence, dynamique d'investissement). La formation scientifique de l'étudiant est ainsi enrichie d'un domaine de modélisation qui est nouveau.

---

## Systèmes dynamiques non linéaires

MA110

Responsable du module : Jean-louis PAC

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

### Descriptif

Les systèmes dynamiques, entièrement déterminés par un état initial et une équation d'évolution à temps discret ou continu, modélisent un grand nombre de situations mathématiques, physiques, économiques, etc. Leur évolution pose naturellement le problème de la simulation (comment évaluer au mieux l'état futur du système ?), mais aussi celui de leur comportement qualitatif, (stabilité, divers types de trajectoires), notamment lorsqu'ils sont non-linéaires. Le module fournit les outils méthodologiques de base nécessaires à l'étude générale des systèmes ainsi modélisés : linéarisation, étude des bifurcations, introduction au chaos.

---

## Méthodes mathématiques d'optimisation

MA111

Responsable du module : F PRADEILLES

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

### Descriptif

L'optimisation intervient dans tous les domaines des sciences de l'ingénieur et les méthodes mathématiques mises en oeuvre sont partout présentes aussi bien dans les problèmes de pilotage, que dans les problèmes de conception ou de gestion. Ce cours est une introduction au calcul des variations avec des illustrations prises dans le domaine économique. L'outil mathématique utilisé est le calcul différentiel.

---

## Applications économiques de l'optimisation statique et dynamique

MA112

Responsable du module : J.-C POUDOU

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objet de ce module est de montrer comment la théorie économique arrive à représenter les comportements individuels (comportements des consommateurs ou des entreprises) par des comportements de maximisation sous contraintes, supposés rationnels. A partir d'exemples précis, nous montrerons que cette conception de la rationalité des agents économiques apparaît pertinente pour comprendre et éclairer certains arbitrages faits par l'individu dans ses choix quotidiens (arbitrage consommation - épargne, arbitrage travail - loisir, arbitrage dans ses placements financiers, etc...) pour expliquer les décisions stratégiques de la firme sur différents marchés (comportements de la firme dans un univers concurrentiel, comportements de la firme en situation de monopole, stratégies de lutte ou d'entente sur des marchés oligopolistiques).

---

## Théorie des jeux

MA113

Responsable du module : S. MITRAILLE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

### Descriptif

"Business is a game - the greatest game in the world if you know how to play it"  
(Thomas J. Watson, fondateur d'IBM)

Stratégies d'enchères sur eBay, augmentations tacites de prix des makers du NASDAQ, réputation de férocité de British Airways lors de l'entrée de concurrents sur certaines routes, course aux armements ou crise internationales sont autant

d'exemples de situation dans lesquelles les interactions stratégiques entre les différents agents impliqués sont extrêmement complexe à comprendre et à résoudre. Ce module propose de présenter les concepts clés de la Théorie des Jeux, et de montrer comment ces outils permettent d'expliquer et prédire les résultats d'interaction stratégiques, ou jeux, et les comportements des différents agents, ou joueurs, dont les actions, ou stratégies, utilisées afin de maximiser le profit que chacun retire du jeu, influencent les gains de l'ensemble des participants. Chaque séance traite d'un thème précis, et à chaque thème correspond une application business ou un mini- cas, lié à la finance, à la corporate finance, au marketing, à la stratégie, aux achats.

Organisation de chacune des 5 séances de 3 cours :  $\frac{1}{4}$  introduction,  $\frac{1}{2}$  théorie et exercices,  $\frac{1}{4}$  application

# Option dynamique du vol

Il est courant, même au plus haut niveau, de confondre l'analyse du comportement de l'avion (qualités de vol, performances et conception) avec l'étude de son aérodynamique.

Maintenant, pour faire un avion performant il faut évidemment une bonne aérodynamique, un bon moteur et une masse structure légère.

Le dynamiqueien du vol doit alors faire un bon compromis entre ces trois forces extérieures pour optimiser l'avion et définir les besoins en aérodynamique, propulsion et résistance des matériaux. Ces quatre disciplines sont ainsi abordées à parts égales au cours de cette majeure et nous essayons, autant que possible, de montrer les rôles complémentaires qu'elles jouent pour améliorer les performances de l'avion.

Cette majeure permet aux étudiants attirés par l'aéronautique de compléter, dès la première année, leur formation dans ce domaine en leur donnant des informations rigoureuses mais simples, à même de leur donner une idée des enjeux professionnels qu'ils sont susceptibles de rencontrer s'ils poursuivent dans cette voie. Dans cet esprit plusieurs conférences faites par des industriels les éclaireront : Vincent Rivoire aérodynamicien d'EADS aujourd'hui aux avant-projets présente le rôle de l'aérodynamique dans le processus de conception d'un avion, Alain de Zotti explique le type de problèmes que pose la conception du plus gros avion commercial au monde, l'A380 et enfin Jacques Rosay, le pilote d'essai de cet avion parle des essais en vol et du métier de pilote d'essai.

Quant à la partie structure, elle est enseignée par Frédéric Leclerc, ingénieur spécialiste d'EADS.

Cette majeure est aussi une sorte d'introduction aux cours spécialisés qu'ils auront en deuxième et troisième année et c'est enfin un lieu privilégié où l'on parle des avions. Dans chaque discipline, les enseignants s'attachent à présenter le rôle des résultats fondamentaux dans la conception et les performances de l'avion. Ce produit auquel nous sommes attaché est toujours présent dans nos interventions.

---

## Aérodynamique de l'Avion

AE110

**Responsable du module :** Jean-marc MOSCHETTA

**Volume horaire:** 26.25

**Correspondant ISAE :** Jean-marc MOSCHETTA

**Ects:** 2

### Descriptif

L'aérodynamique de l'avion de transport subsonique est présentée à l'aide de méthodes d'avant-projet d'origine théorique et empirique appliquée à la conception aérodynamique de profils, d'ailes et des interactions aérodynamiques voilure-fuselage. Le cours est illustré de nombreux exemples et conduit l'étudiant, aux cours de séances pratiques, à réaliser l'analyse des performances aérodynamiques d'un avion complet.

---

## Modélisation des efforts de propulsion

DV110

**Responsable du module :** Alain CARRERE

**Volume horaire:** 8.75

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1

### Descriptif

Propulsion des avions par turboréacteur et turbopropulseur avec modélisation de la poussée et la traction en fonction de la vitesse de vol et de l'altitude. Fonctionnement en vol.

---

## Modélisation des masses de structure

DV111

**Responsable du module :** F. LECLERC

**Volume horaire:** 22.5

**Correspondant ISAE :** Jean-Luc BOIFFIER

**Ects:** 1.5

### Descriptif

A partir des connaissances acquises en classes préparatoires en mécanique et d'un Pré requis d'introduction à l'aérodynamique obtenu par la Dynamique du Vol en tronc commun et par l'Aérodynamique dispensée en majeure de Dynamique du Vol, le but est d'acquérir des notions de base élémentaires en Résistance Des Matériaux, afin d'appréhender les grands principes de conception structurale d'une voilure et d'un fuselage avion. L'application pratique de ces notions conduira à l'évaluation des masses voilure fuselage, à partir de modèles analytiques simples. Dans l'esprit de la Dynamique du Vol un équilibre sera maintenu entre la présentation physique des phénomènes et la rigueur avec laquelle le modèle proposé sera présenté; c'est à dire les hypothèses base et la portée des simplifications, avec une ouverture sur les modèles plus sophistiqués. En somme le domaine d'utilisation sera clairement précisé en mettant l'accent sur le fait que les phénomènes fondamentaux sont toutefois bien contenus dans ce modèle et qu'ils mettent en lumière les conséquences de la conception de la voilure sur la conception générale de l'avion.

**Les performances****DV112****Responsable du module :** Jean-Luc BOIFFIER**Volume horaire:** 22.5**Correspondant ISAE :** Jean-Luc BOIFFIER**Ects:** 1.5**Descriptif**

# Option intelligence artificielle et informatique fondamentale

L'informatique est souvent vue par les étudiants non pas comme une science (Computer Science comme disent les anglo-saxons), mais comme une technologie. Ceci est en partie dû au manque de bases scientifiques, en particulier mathématiques, en informatique des élèves. Or, on s'aperçoit actuellement que les entreprises comme les laboratoires de recherche ont besoin d'ingénieurs qualifiés ayant d'excellentes bases théoriques en informatique. Le secteur aéronautique et spatial en particulier propose des problématiques liées à l'informatique très complexes : logiciels temps-réel critiques, réseaux embarqués, preuve de programmes, modélisation haut niveau d'architecture de systèmes complexes, autonomie d'engins « intelligents », optimisation de problèmes difficiles etc. L'accomplissement de ces défis ne se fera pas sans des bases théoriques solides.

La majeure informatique de première année « Intelligence Artificielle et Informatique Fondamentale » propose aux étudiants de découvrir l'informatique en tant que science et outil de façon plus théorique au travers de deux axes :

- un axe Intelligence Artificielle où seront abordés la logique mathématique (modélisation, raisonnement automatique, preuve automatique de théorèmes) et les techniques de résolution de problèmes (méthodes faibles, algorithmes génétiques, programmation des jeux);

- un axe Informatique Fondamentale où seront abordées la programmation fonctionnelle et la théorie des types via le langage CAML et la compilation comme technique de transformation des langages.

Même si de solides notions théoriques seront enseignées, elles seront illustrées dans les cours par des exemples concrets et par l'utilisation de langages dédiés dès que possible.

## Langage et compilation

IN110

Responsable du module : B. D'AUSBOURG

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 1.5

### Descriptif

Lors de ce cours, on introduira le problème de la traduction des langages et les points suivants seront abordés : analyse lexicale, expressions régulières et automates, analyses syntaxiques et grammaires algébriques, analyse sémantique et génération de code et enfin on s'intéressera aux différentes analyses statiques pour l'optimisation des traductions.

## Programmation fonctionnelle et introduction à la théorie des types

IN111

Responsable du module : S. BOUVERET, Pierre-Loïc Garoche

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours est composé de deux parties principales: la première sera consacrée à la présentation du langage de programmation. On y abordera la syntaxe du langage CAML, ses types de base et la définition de fonctions, le polymorphisme, le principe de filtrage et les structures de données. Les exceptions et les aspects impératifs du langage seront également vus. La deuxième partie exposera les principes d'évaluation et du typage. On y abordera la synthèse de types, les règles d'inférence et l'algorithme correspondant. Un typeur élémentaire sera réalisé en TP. Les modules seront également abordés s'il reste du temps.

## Logique mathématique

IN112

Responsable du module : Christophe GARION, Laurence Cholvy

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 1.5

### Descriptif

Le but de ce cours est de présenter la logique formelle (langage, sémantique, systèmes formels) et ses applications. On étudiera successivement la logique des propositions, puis la logique des prédicats en présentant des résultats importants (théorèmes de validité/complétude, décidabilité). On insistera aussi sur l'aspect automatisé du raisonnement en présentant différents types de démonstrateurs ou de systèmes de vérification de preuves : théorème de Herbrand, principe de Résolution, stratégies de Résolution (pour la logique propositionnelle seulement).

Parmi les applications de la logique, on étudiera l'analyse de programmes informatiques, la théorie formelle des nombres et le théorème de Gödel, les liens entre logique et informatique et la programmation logique. Sur ce dernier point, un BE sera effectué par les étudiants avec le langage Prolog.

## **Intelligence artificielle : une introduction**

**IN113**

**Responsable du module :** J.-M. ALLIOT, Nicolas Barnier

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Christophe GARION

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce cours s'efforce de présenter aux élèves les éléments fondamentaux de ce que l'on nomme couramment "l'intelligence artificielle". Il commence par une rapide description de l'histoire de l'informatique, du début du calcul, à la théorisation des années 60/70. On introduit ensuite les domaines suivants: machines de Turing, théorie de la complexité, méthodes faibles (algorithmes de recherche dans les arbres et graphes, algorithmes de type A\*), problèmes de satisfaction de contraintes, théorie de la programmation des jeux (principes minimax et alpha-béta), réseaux de neurones et algorithmes évolutionnaires.

# Option nanosciences

La miniaturisation poussée des dispositifs et des machines (en télécommunication, dans les ordinateurs, dans les instruments de mesures ou dans les systèmes mécaniques) rencontre maintenant les propriétés quantiques inhérentes aux systèmes atomiques et moléculaires. La majeure « nanosciences » de la formation SUPAERO a pour objectif de préparer à la conception et à la réalisation de machines dont les principes de fonctionnement vont devenir quantiques. Cette formation débute par un module consacré aux différents types de microscopies existants jusqu'aux instruments permettant de manipuler atomes et molécules à l'unité. Les rappels nécessaires de physique du solide (électronique, mécanique) permettent d'aborder la physique mésoscopique (nano-électronique, nano-mécanique, nano-optique) en deux modules. Le dernier module est consacré à l'étude des ressources des systèmes quantiques ainsi qu'au contrôle quantique qui est à la base des calculateurs moléculaires (classique ou quantique), de la cryptographie quantique et des robots moléculaires.

---

## Microscopies

PH113

**Responsable du module :** Philippe GIRARD

**Volume horaire:** 17.5

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1

### Descriptif

Ce cours traite des différentes méthodes de microscopie utilisées dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies.

Dans une première partie nous illustrerons, à partir d'exemples concrets, les différences fondamentales entre microscopies dites en « champ lointain » et celles dites en « champ proche ». En particulier, l'origine des critères de résolution des microscopies optiques et électroniques traditionnelles sera examinée à partir des lois bien connues de propagation des phénomènes physiques.

Dans une seconde étape, nous détaillerons les mécanismes physiques qui conditionnent le fonctionnement des microscopes actuels en « champ proche » (appelés également microscopes à sonde locale). En particulier, l'analogie entre effet tunnel électronique et optique sera étudiée de manière approfondie, ainsi que les diverses forces d'interactions en jeu dans ces nouveaux types de microscopes. Le cours sera illustré par de nombreux exercices empruntés à la science des surfaces, l'électromagnétisme ainsi que la physique des interactions atomiques et moléculaires.

---

## Physique du solide et opto électronique

PH114

**Responsable du module :** R. CARLES

**Volume horaire:** 16.25

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Introduction à la physique des systèmes de petites dimensions (agrégats, boîtes, fils, films) et de dimensionnalité réduites (2D, 1D, 0D) à travers de deux approches : "vers le bas" par l'effet de réduction de taille sur les propriétés d'un solide à 3 dimensions, ou "vers le haut" par l'effet d'assemblage d'atomes ou de nanoparticules.

Les effets de confinement quantique, de périodicité (structure de bandes) et de taille finie sur les excitations élémentaires sont analysés au vu de leurs conséquences sur les bandes électroniques, les propriétés de transport de charge et de spin, et les interactions lumière - matière.

Les applications en termes de nouveaux matériaux et dispositifs pour l'optique, le magnétisme ou l'optoélectronique sont également présentées.

---

## Physique mésoscopique

PH115

**Responsable du module :** X. BOUJU

**Volume horaire:** 18.75

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de présenter quelques éléments importants de la physique mésoscopique électronique essentiellement. Pour cela, nous abordons la physique liée aux jonctions dans les semi-conducteurs (jonctions pn, effet transistor, jonctions pnp...) dans le but de présenter la physique du transistor MOS ultime. Les différentes limitations de la loi de Moore sont discutées ainsi que les problèmes liés aux nanoCMOS. Les régimes de transport électronique en dimension réduite sont présentés, en mettant l'accent sur le blocage Coulomb, le transistor à un électron, l'effet Aharonov-Bohm et l'effet Hall quantique.

**Responsable du module :** C. JOACHIM**Volume horaire:** 27.5**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER**Ects:** 2**Descriptif**

Partant de la définition de l'espace des états d'un système quantique, généralisation de la sphère de Bloch pour 2 états, les différents états quantiques sont commentés: états stationnaires, non-stationnaires, cohérents puis états purs, intriqués, statistiques. La non-stationnarité provoque la réponse intrinsèque du système quantique avant décohérence et relaxation. Cette réponse est utilisée pour concevoir une machine à calculer, un système de transmission d'information, une machine mécanique ou un transducteur. La préparation d'états purs non-stationnaires donne des portes logiques ou la transmission d'une information classique ou quantique, les états quantiques intriqués le phénomène de téléportation d'états, la cryptographie quantique et les états statistiques décrivent des machines mécaniques. On peut émuler ces comportements avec des systèmes de taille mésoscopique puis les obtenir avec une seule molécule. Expérimentalement, la fonction quantique d'une seule molécule est atteinte par la mesure avec l'exemple de l'effet tunnel ou de la décohérence d'une molécule - machine mécanique déposée sur une surface

# Matières facultatives

---

## Atelier du regard AC902

**Responsable du module :** GUY DE TOULZA **Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de cet atelier du regard est, en initiant à l'histoire de l'art, de donner aux étudiants les connaissances fondamentales de ce qu'a été la production artistique des siècles passés. Nous restituerons donc les œuvres dans les grandes lignes des civilisations, des conditions économiques, politiques et sociales dont elles constituent un reflet. Plus que l'acquisition de connaissances théoriques, nous apprendrons à voir pour mieux comprendre les conditions de la création de l'œuvre, l'analyser dans sa forme, son iconographie, sa composition, ses couleurs, ses matériaux, ses techniques.

---

## Atelier d'arts plastiques AC903

**Responsable du module :** Sandrine FOLLERE **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'atelier accueille les débutants et les anciens (élèves et personnels de l'École) dans une démarche de sensibilisation à l'art classique, à l'art moderne puis contemporain (documentation de la bibliothèque de l'ISAE et accès à celle de l'École des Beaux-Arts de Toulouse).

---

## Bistrot littéraire : atelier d'écriture AC904

**Responsable du module :** Yves CHARNET **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Il y a les choses à faire, les choses en retard, les choses de la vie, les moments de doute et autres mauvaises passes, les phases de vide (ou de trop plein !) ; et puis il y a des rendez-vous qui ont la gratuité d'un jeu - et comme une couleur d'amitié. Pour celles et ceux d'entre vous qui le désirent, dans l'emploi du temps, le Bistrot littéraire propose un rendez-vous avec la forme la plus simple de l'inconnu. Une manière de percer les murs de ce grand (r)enfermement où chacun(e) est pour soi-même. Une façon de passer de l'autre côté du mur (du miroir ?) ...

---

## Atelier théâtre AC905

**Responsable du module :** Laurence ROY **Volume horaire:** 50

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Un atelier théâtre ouvert à tous. Du débutant au confirmé, du timide au gentil mégalo, de l'intello à l'éternel rigolo, tous sont les bienvenus ! Tous ceux qui ont ce désir enfoui, ce rêve un peu fou de monter sur scène. A tous ceux qui oseront enfin cette année s'exprimer avec leur corps, leur imaginaire, leur voix, leurs mots ou ceux des autres. A tous ceux là qui veulent se surprendre, se découvrir, s'étonner des autres, se livrer aussi, pour mieux se délivrer peut-être.

---

## Atelier des arts du cirque AC906

**Responsable du module :** Stéphane FILLION **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

---

**Atelier musique****AC907****Responsable du module :** Ausias GAMISANS**Volume horaire:** 60**Correspondant ISAE :** Ausias GAMISANS**Ects:** 1.5**Descriptif**

---

**Atelier aéromodélisme et micro-drone****AE901****Responsable du module :** Jean-marc MOSCHETTA**Volume horaire:** 0**Correspondant ISAE :** Jean-marc MOSCHETTA**Ects:** 1**Descriptif**

Atelier pédagogique facultatif destiné à faire découvrir par la voie expérimentale et l'approche modéliste la mise au point et l'analyse des vols de micro drones. Les projets réalisés lors de cet atelier ont vocation à être présentés en vol lors de différentes compétitions de micro drones en France ou à l'étranger. L'atelier est ouvert les jeudis après-midi hors vacances scolaires à raison de 4 heures par séances dans le local micro drones situé au Département Aérodynamique, Énergétique et Propulsion (DAEP) ainsi que le terrain d'essai micro drones situé sur la zone verte (partie nord du campus SUPAERO).

---

**Formation au pilotage****DV901****Responsable du module :** Bruno DUFFAUT, Daniel VACHER  
sélectionnés**Volume horaire:** 13.75 et 52.5h pour les étudiants**Correspondant ISAE :** Christian COLONGO**Ects:** 1.5**Descriptif**

L'école assure, après sélection et sous réserve d'aptitude médicale, une formation au pilotage pour obtenir la licence de pilote privée d'avion (PPL). La sélection s'effectue, parmi les élèves en première année du cycle ingénieur et ceux admis sur titre en deuxième année au début de chaque année scolaire. Une participation financière aux frais de vol est demandée à chaque élève.

Volume de 11.25h et 50h pour les étudiants sélectionnés

---

**Introduction au droit de l'entreprise****EG903****Responsable du module :** Dominique SERIO**Volume horaire:** 5**Correspondant ISAE :** Dominique SERIO**Ects:** 0.5**Descriptif**

La découverte du monde de l'entreprise se fait en particulier grâce à l'expérience associative au sein du cursus des ingénieurs.

Cette introduction au droit de l'entreprise se servira de cette expérience pour découvrir le droit des structures de l'entreprise.

Ce cours permettra d'introduire le droit comme outil stratégique de développement des projets avant de discerner les conséquences de la personnalité morale qui permet de contracter et qui génère également une responsabilité.

---

**Les outils bureautiques de l'ingénieur****IN901****Responsable du module :** Pierre SIRON**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Pierre SIRON**Ects:** 1**Descriptif**

Contenu:

I - Traitement de texte scientifique LaTeX

II - Perfectionnement sur le tableur Excel XP ou OpenOffice.org Calc

III - Création d'un site web.

---

**Toefl** **LV910****Responsable du module** : Jean-claude JACQUES **Volume horaire:** 0**Correspondant ISAE** : Jean-claude JACQUES **Ects:** 0**Descriptif**

Tous les élèves de SUPAERO n'ayant pas de preuve officielle qu'ils ont déjà validé un niveau B2 en anglais passent le TOEFL institutionnel dès la fin de leur deuxième année.

En tout état de cause, ils doivent valider ce niveau B2 en troisième année au plus tard pour obtenir le diplôme.

---

**Langue vivante 3 et 4** **LV900-LV909****Responsable du module** : Jean-claude JACQUES **Volume horaire:** 50**Correspondant ISAE** : Jean-claude JACQUES **Ects:** 1.5**Descriptif**

Les étudiants ont le choix parmi toutes les langues dispensées à SUPAERO : allemand, anglais renforcé, arabe, chinois, espagnol, français langue étrangère, italien, japonais, portugais, russe.

---

**Concevoir et produire** **SM901****Responsable du module** : Joël XUEREB, Serge CREZE **Volume horaire:** 24**Correspondant ISAE** : Christophe BOUVET **Ects:** 1.5**Descriptif**

Ce module optionnel a pour mission de former à la Technologie, au dessin technique de conception-définition, et à la fabrication sur machines-outils l'ensemble des acteurs impliqués dans les projets E = m6 et Marathon Shell. Le but visé est l'autonomie de chacun des participants à produire des pièces mécaniques destinées à ces projets. Cet enseignement ne permettra pas de donner aux élèves la dextérité nécessaire pour prétendre à une "habilitation" sur nos machines-outils mais des bases indispensables de Technologie. Un complément de manipulations sur les machines, au cours des projets, sera nécessaire pour obtenir cette habilitation et ceci compte-tenu de la dextérité de chacun des participants.

E = m6 : Compétition de robots autonomes préprogrammés (SUPAERO vainqueur européen 2004)

Marathon Shell : Challenge sur véhicule à faible consommation de carburant

( 6° participation de SUPAERO, avec la réalisation complète de deux prototypes : Athéna I et II).

---

**Initiation au logiciel CATIA** **SM902****Responsable du module** : Daniel GAGNEUX, Michel LABARRERE **Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE** : Christophe BOUVET **Ects:** 1**Descriptif**

L'objectif de ce module est la création de pièces et ensembles mécaniques avec le modèleur CATIA. Au travers de plusieurs exemples, les étudiants apprennent à concevoir les pièces mécaniques en prenant en compte leur paramétrage et leur fabrication ultérieure. La phase de pre-design est également illustrée.

---

**Formation aux premiers secours** **XX901****Responsable du module** : Nicole PEYBERNARD **Volume horaire:** 15**Correspondant ISAE** : Nicole PEYBERNARD **Ects:** 0**Descriptif**

Objectif : acquérir les connaissances nécessaires à la bonne exécution des gestes destinés à préserver l'intégrité physique d'une victime en attendant les secours organisés. Protéger, alerter - Dégagement d'urgence - Bilan et surveillance - Victime inconsciente - Hémorragie - Malaise - Détresse ventilatoire - Arrêt cardio ventilatoire - Plaies et brûlures - Atteintes traumatiques des os et articulations.





# 2ème année formation SUPAERO

Responsable de programmes : Yves GOURINAT

Inspecteur d'étude : Martine MARLOT

## Présentation

---

Précédée d'une phase d'harmonisation de trois semaines (début septembre) pour les étudiants admis sur titres et les étudiants étrangers provenant d'établissements partenaires, la deuxième année débute également par un tronc commun, d'une durée de six mois, couvrant l'ensemble des sciences de l'ingénieur pertinentes au secteur aéronautique et spatial :

- électronique,
- informatique (conception et programmation orientées objet),
- automatique, systèmes et traitement du signal (représentation des systèmes et asservissements linéaires continus, filtrage, approche systèmes),
- mécanique et thermodynamique (aérodynamique, propulsion aéronautique et spatiale, mécanique des structures, mécanique spatiale, qualités de vol de l'avion),
- calculs scientifiques.

Durant cette période, sont effectués des applications interdisciplinaires sous forme de bureaux d'études et un avant-projet avion (ou lanceur).

L'ensemble de ces modules constitue le « tronc commun scientifique ». La partie non-scientifique du tronc commun se compose des modules de communication et de marketing, des cours obligatoires d'anglais et d'une autre langue vivante, de deux séminaires de culture générale au choix parmi une vingtaine et du sport obligatoire (trois autres disciplines abordées).

Le tronc commun est suivi d'une majeure à choisir parmi les neuf suivantes :

- aérodynamique,
- automatique
- énergétique & propulsion,
- informatique,
- structures & matériaux,
- modélisation et maîtrise de l'incertitude,
- Mcube : Méthodes et Modèles Mathématiques
- ondes & signaux,
- physique & observation de l'environnement terrestre

L'année se termine par une période d'un mois (juin) entièrement consacrée à un Projet de 2ème année.

Le Projet 2A est soit un projet de recherche, qui nominaleme nt s'effectue seul ou bien à deux, soit un projet en équipe intégrée sur un sujet plus technique ou technologique, avec un groupe constitué de 4 étudiants. On distingue donc clairement deux orientations possibles. Une orientation recherche qui devra donner lieu à une étude bibliographique conséquente. Une orientation projet en équipe où devra être mis en avant la gestion du projet d'un point de vue temporel et du point de vue humain.

Entre la 2ème et la 3ème année, les étudiants ont la possibilité d'effectuer un stage industriel de deux mois en France ou à l'étranger. Une variante possible consiste en un stage à forte teneur scientifique ou technique, d'une durée minimale de trois mois, qui viennent en substitution du PIR.

## Conditions de validation

---

Les critères de suffisance portent sur les notes attribuées après rattrapage. Ils restent valables après examen de rappel éventuel.

Les critères de suffisance conduisant à la validation de la 2ème année d'études sont les suivants :

- aucune note R (refus de noter) ;
- aucune note de module inférieure à la « barre minimale » de 7/20 (ce critère démontre l'absence de lacune rédhibitoire dans l'une des matières du cursus), barre servant également de seuil pour les crédits ECTS ;
- moyenne générale de l'année supérieure ou égale à 12/20 (ce critère démontre le niveau global de l'étudiant, en tenant compte en particulier de ses points forts) ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières scientifiques du tronc commun (ce critère démontre le niveau scientifique global de l'étudiant) ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières non- scientifiques du tronc commun (ce critère démontre le niveau de l'étudiant dans les autres disciplines) ;
- moyenne supérieure ou égale à 12/20 sur l'ensemble des matières de la majeure.

## Harmonisation et découverte de l'entreprise

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
EG221	Découverte de l'entreprise	3 semaines	3
AE221	Aérodynamique	17.5	0
DV221	Mécanique du vol	10	0
DV222	Vol moteur	2.5	0
ET221	Électronique	12.5	0
IN221	Informatique	5	0
MA221	Calcul différentiel	5	0
MA222	Analyse harmonique	7.5	0
SM221	Mécanique des structures	5	0

## Tronc commun scientifique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE201	Aérodynamique : fluide parfait	23.75	1.5
AE202	Aérodynamique : fluide visqueux	20	1.5
AU201	Représentation, analyse et commande des systèmes linéaires continus	43.75	2.5
AU202	Signal, image et filtrage	33.75	2.5
DV201	Qualités de vol de l'avion	26.5	2
DV202	Technique de conception pour un avant projet	20	1.5
ET201	Électronique	17.5	1.5
IN201	Conception et programmation orientées objet	41.25	2.5
IS201	Conception fonctionnelle	19.5	1.5
IS202	Analyse interdisciplinaire d'un système	20	1.5
IS203	Mécanique spatiale	22.5	1.5
MA201	Analyse numérique et équations aux dérivés partielles	37.5	2.5
PE201	Propulsion aéronautique et spatiale	20	1.5
SM201	Mécanique des structures	40	2.5

## Tronc commun non scientifique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AC201	Culture	32.5	2
EG201	Marketing industriel	17.5	1
EG202	Dynamique de groupe et communication	20	1.5
EG203	Formation personnelle	20	1.5
LV200	Langue vivante 1 : anglais	57.5	4
LV201-209	Langue vivante 2	43.75	3
SP201	Sport	40.5	2

## Projet de deuxième année

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
XX202	Introduction au projet 2A	20	1.5
XX203	Projet de deuxième année	6 semaines	9
XX204	Stage de substitution de Projet 2A	3 mois	9

## Majeure aérodynamique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE211	Techniques de mesures en aérodynamique	20	2
AE212	Aérodynamique numérique	13.5	1
AE213	Ondes en aérodynamique	27.5	3
AE214	Applications de l'aérodynamique	19	2

## Majeure automatique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU211	Systèmes informatiques pour la commande de processus	30	3
AU212	Conduite, décision et facteurs humains	15	1.5
AU213	Introduction à la commande des systèmes MIMO	15	1.5
AU214	Introduction à la commande non-linéaire	15	1.5
AU215	Cycle de conférences	5	0.5

## Majeure énergétique et propulsion

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
PE211	Techniques de mesures en énergétique et propulsion	20	2
PE212	Introduction aux phénomènes de combustion	20	2
PE213	Méthodes de calcul pour les turbomachines	20	2
PE214	Acoustique	20	2

## Majeure informatique

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
IN211	Modélisation géométrique	20	2
IN212	Synthèse d'images	30	3
IN213	Propagation	10	1
IN214	Outils pour la synthèse d'images	20	2

## Majeure matériaux et structures

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
SM211	Modélisation de structures par la méthode des éléments finis linéaires	20	2
SM212	Comportement mécanique des matériaux structuraux	20	2
SM213	Ruine des Structures	20	2
SM214	Structures anisotropes et composites	20	2

## Majeure méthodes et modèles mathématiques

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
MA212	Simulation numérique	20	2
MA213	Introduction au contrôle optimal	20	2
MA214	Compléments sur les EDP	20	2
MA215	Analyse asymptotique	20	2
MA216	Processus stochastiques	20	2

## Majeure modélisation et maîtrise de l'incertitude

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
GI212	Programmation dynamique et apprentissage par renforcement	20	2
GI213	Réseaux bayésiens	17.5	2
MA211	Plans d'expériences	22.5	2
MA216	Processus stochastiques	20	2

## Majeure ondes et signaux

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
ET211	Signaux et communications	40	4
ET213	Charge utile	17.5	2
IS212	Observation et surveillance de la terre	25	2

## Majeure physique et observation de la terre

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
ET214	Imagerie électronique	15	2
IS211	Météo/Océanographie	25	2
PH211	Instrumentation hyperfréquence embarquée	15	2
PH212	Physique de l'atmosphère et instrumentation optique embarquée	25	2

## Matières facultatives

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AC902	Atelier du regard	30	1.5
AC903	Atelier d'arts plastiques	60	1.5
AC904	Bistrot littéraire : atelier d'écriture	60	1.5
AC905	Atelier théâtre	50	1.5
AC906	Atelier des arts du cirque	60	1.5
AC907	Atelier musique	60	1.5
AE901	Atelier aéromodélisme et micro-drone	0	1
DV901	Formation au pilotage	13.75 et 52.5h pour les étudiants sélectionnés	3
EG902	Introduction au droit du travail	5	0.5
LV910	Toefl	0	0
LV900- LV909	Langue vivante 3 et 4	50	1.5
SM901	Concevoir et produire	24	1.5
SM902	Initiation au logiciel CATIA	10	1

# Harmonisation et découverte de l'entreprise

Destinée aux élèves admis sur titres en 2ème année (titulaire d'un master 1, ingénieurs diplômés d'une autre école, titulaires de diplômes équivalents) et aux officiers envoyés par leur armée ou leur gouvernement, cette période de 3 semaines permet de dresser un bilan des lacunes de chacun relativement au programme de 1ère année, de commencer à les combler et, par ailleurs, de permettre une adaptation rapide aux méthodes et rythmes de travail propres à l'École. Elle comprend des cours d'aérodynamique, d'électronique, de mécanique du vol, de mathématiques, de mécanique des structures ainsi qu'une introduction aux moyens informatiques et un vol découverte.

## Découverte de l'entreprise

EG221

Responsable du module : Pascale BABOULET-FLOURENS

Volume horaire: 3 semaines

Correspondant ISAE : Dominique SERIO

Ects: 3

### Descriptif

Le stage sensibilise l'élève à la vie au travail d'une catégorie de personnel de l'entreprise. Il est l'occasion, avant l'entrée dans la vie active, de saisir avec recul la différence de point de vue que peuvent avoir des catégories de personnel sur le fonctionnement de leur entreprise. Cette connaissance vécue de la variation des points de vue (au sein de l'entreprise) est un des fondements de l'art du management.

Pour atteindre cet objectif, l'élève doit être incorporé dans une équipe dont il partage le travail, les relations humaines et hiérarchiques. Ce stage d'au moins trois semaines a lieu au cours de l'été.

Avant leur départ en stage, l'École dispense des éléments de méthode aux élèves de façon à ce qu'ils puissent saisir le plus objectivement possible le fonctionnement humain dans l'entreprise. Ils apprendront tout d'abord à s'immerger dans leur milieu professionnel pour le comprendre « de l'intérieur », puis à prendre de la distance par rapport à cette fusion compréhensive en replaçant les discours et comportements recueillis dans le « jeu » des positions à l'œuvre dans l'entreprise.

## Aérodynamique

AE221

Responsable du module : Allan BONNET

Volume horaire: 17.5

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 0

### Descriptif

## Mécanique du vol

DV221

Responsable du module : Jean-luc BOIFFIER

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Jean-luc BOIFFIER

Ects: 0

### Descriptif

## Vol moteur

DV222

Responsable du module : Daniel VACHER

Volume horaire: 2.5

Correspondant ISAE : Jean-luc BOIFFIER

Ects: 0

### Descriptif

## Electronique

ET221

Responsable du module : Pierre MAGNAN

Volume horaire: 12.5

Correspondant ISAE : Pierre MAGNAN

Ects: 0

### Descriptif

**Informatique** **IN221**  

---

**Responsable du module** : Jean-pierre KELLER **Volume horaire:** 5  
**Correspondant ISAE** : Pierre SIRON **Ects:** 0  
**Descriptif**

**Calcul différentiel** **MA221**  

---

**Responsable du module** : Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 5  
**Correspondant ISAE** : Emmanuel ZENOU **Ects:** 0  
**Descriptif**

**Analyse harmonique** **MA222**  

---

**Responsable du module** : Denis MATIGNON **Volume horaire:** 7.5  
**Correspondant ISAE** : Denis MATIGNON **Ects:** 0  
**Descriptif**

**Mécanique des structures** **SM221**  

---

**Responsable du module** : Yves GOURINAT **Volume horaire:** 5  
**Correspondant ISAE** : Yves GOURINAT **Ects:** 0  
**Descriptif**

# Tronc commun scientifique

## **Aérodynamique : fluide parfait**

**AE201**

**Responsable du module :** Allan BONNET

**Volume horaire:** 23.75

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

En partant des équations d'Euler, le cours montre l'enchaînement des hypothèses conduisant à l'approche potentielle linéarisée. C'est dans ce cadre simplifié que sont obtenus la majorité des résultats analytiques, indispensables à la fois pour aider à la compréhension des phénomènes physiques et pour le calcul de l'aérodynamique d'un obstacle au stade avant-projet.

## **Aérodynamique : fluide visqueux**

**AE202**

**Responsable du module :** Jean COUSTEIX

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Cet enseignement complète celui sur la modélisation des écoulements en fluide parfait en fournissant la contribution visqueuse et en donnant une vision générale des effets de la viscosité et de la turbulence en aérodynamique. En visant typiquement les applications à l'écoulement autour d'un profil d'aile, le cours a deux objectifs :

- Présenter une analyse physique des effets de la viscosité et de la turbulence,
- Donner un aperçu sur les méthodes de calcul de la couche limite.

## **Représentation, analyse et commande des systèmes linéaires continus**

**AU201**

**Responsable du module :** Caroline BERARD

**Volume horaire:** 43.75

**Correspondant ISAE :** Caroline BERARD

**Ects:** 2.5

### **Descriptif**

Le programme proposé dans ce tronc commun constituera les seules connaissances d'Automatique, aspect analyse et commande, pour une grande majorité des élèves. Il s'agit là de la base minimale, que tout ingénieur doit posséder. En effet, les techniques présentées ici sont communes à la quasi-totalité des écoles d'ingénieurs, quels que soient leur niveau et leur spécialité.

Le cours d'Analyse et commande des systèmes linéaires continus est scindé en deux grandes parties. La première est relative aux techniques d'analyse et de synthèse fréquentielles alors que la seconde est basée sur une représentation dans l'espace d'état. Précisons que dans le cadre de ce cours seuls les systèmes monoentrée-monosortie seront abordés.

## **Signal, image et filtrage**

**AU202**

**Responsable du module :** C. CUMER, P. MOUYON

**Volume horaire:** 33.75

**Correspondant ISAE :** Caroline BERARD

**Ects:** 2.5

### **Descriptif**

Ce cours présente les techniques et les outils de base utilisés en traitement du signal. La première partie est consacrée à la représentation des signaux et systèmes discrets avec une première application au filtrage analogique et au filtrage numérique. La deuxième application est tournée vers l'imagerie avec entre autre la mise en place d'un bureau d'étude. La dernière partie, porte sur les processus aléatoires et l'application au filtrage optimale dans le cadre de modèles dynamiques linéaires et d'un critère d'erreur quadratique. Un bureau d'étude commun avec le cours d'automatique vient illustrer cette partie du cours.

## Qualités de vol de l'avion

DV201

Responsable du module : Jean-luc BOIFFIER

Volume horaire: 26.5

Correspondant ISAE : Jean-luc BOIFFIER

Ects: 2

### Descriptif

Les qualités de vol d'un avion traduisent sa pilotabilité, essentiellement associée à la notion de stabilité. En somme en première année, avec les équilibres, nous nous assurons que l'avion était performant, en deuxième année, nous allons vérifier si le pilote peut maîtriser cet avion performant.

Les qualités de vol seront traitées en cours par une approche analytique. Cette méthode permet de déterminer explicitement les paramètres influents et ainsi d'accéder à une compréhension physique des phénomènes. Avec la dynamique du vol vous aurez l'occasion d'appréhender, par un exemple applicatif, une méthode générale d'analyse de la dynamique des systèmes.

L'approche analytique est complétée par une approche numérique plus précise, pendant les Bureaux d'Études. Ce sera l'occasion d'effectuer des simulations temporelles du mouvement de l'avion soumis à diverses perturbations.

L'exploitation de ces résultats pour l'analyse des qualités de vol vous permettra également de valider l'approche analytique. Si en première année vous avez traité les équilibres de l'avion, en seconde année le but visé est de vous donner la capacité d'analyser et de régler les qualités de vol d'un avion.

## Technique de conception pour un avant projet

DV202

Responsable du module : Bénédicte ESCUDIER, Christian COLONGO

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objet du module est de faire découvrir dans le cadre d'un avant-projet d'avion ou de lanceur satellite les interactions entre les différentes disciplines qui interviennent dans le processus de conception.

6 avant projets sont proposés au choix de l'élève :

Avion de transport biréacteur, avion d'affaire, avion léger, drone, avion de combat, lanceur satellite.

Chacun d'eux encadré par des équipes d'industriels du domaine.

## Électronique

ET201

Responsable du module : Pierre MAGNAN

Volume horaire: 17.5

Correspondant ISAE : Pierre MAGNAN

Ects: 1.5

### Descriptif

Fonctions Électroniques

Cette partie du module d'électronique présente les principales fonctions électroniques que l'on rencontre dans les systèmes de transmission de l'information, notamment les techniques de modulation analogiques et numériques.

## Conception et programmation orientées objet

IN201

Responsable du module : Christophe GARION

Volume horaire: 41.25

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 2.5

### Descriptif

Ce cours présente aux élèves les différentes étapes de conception de logiciels complexes. Il permet de maîtriser les différentes étapes du cycle de vie du logiciel, depuis l'élaboration du cahier des charges jusqu'à son exploitation.

Cet enseignement complète l'enseignement d'informatique de première année en introduisant les notions orientées objet et en montrant les avantages d'une telle approche. Il présente aux élèves un cadre méthodologique pour la conception de logiciels complexes en s'appuyant sur la notation orientée objet UML (Unified Modeling Language). De plus, il permet d'élargir les connaissances des élèves en utilisant un langage support orienté objet, Java. Les bonnes pratiques du test unitaire seront présentées aux étudiants et systématiquement utilisées. Une première approche des méthodes formelles pour l'informatique sera vue via la programmation par contrat et un langage support, JML. Quelques design patterns seront également abordés en cours et en TP.

---

**Conception fonctionnelle** **IS201**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR, Stéphanie LIZY-DESTREZ **Volume horaire:** 19.5

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR, Stéphanie LIZY-DESTREZ **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Le but de cet enseignement est de sensibiliser les étudiants à l'approche système, tout en leur présentant les bases de la conception fonctionnelle à partir de l'étude des exigences fonctionnelles et les bases de la conception organique.

Ces techniques seront appliquées à partir d'études de cas (en PC) et mises en pratique lors d'un TP.

---

**Analyse interdisciplinaire d'un système** **IS202**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR, Stéphanie LIZY-DESTREZ **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR, Stéphanie LIZY-DESTREZ **Ects:** 1.5

**Descriptif**

L'objectif de ce bureau d'études est de mettre en application les concepts d'ingénierie système acquis lors du module IS201, sur l'étude d'un cas concret et d'expérimenter les contraintes d'une équipe projet intégrée.

Ce projet permettra de démontrer les interactions entre les différents domaines enseignés en tronc commun (automatique, structure, physique, électronique, aérodynamique, informatique□.).

---

**Mécanique spatiale** **IS203**

**Responsable du module :** Bénédicte ESCUDIER **Volume horaire:** 22.5

**Correspondant ISAE :** Bénédicte ESCUDIER **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Le but de cette unité de mécanique spatiale est de présenter aux élèves les bases et les caractéristiques des trajectoires des véhicules spatiaux pour leur permettre de comprendre les besoins et contraintes des systèmes spatiaux. Les trajectoires orbitales associées aux principales missions spatiales (communications, observation de la terre, science...), leur évolution, leur connaissance et les manœuvres nécessaires à leur contrôle seront particulièrement étudiées et illustrées par des exemples concrets.

---

**Analyse numérique et équations aux dérivés partielles** **MA201**

**Responsable du module :** F. ROGIER **Volume horaire:** 37.5

**Correspondant ISAE :** Xavier CLAEYS **Ects:** 2.5

**Descriptif**

Le métier d'ingénieur nécessite des évaluations quantitatives précises que ce soit pour la tenue mécanique de tel objet, le bruit rayonné, les émissions polluantes, les performances électromagnétiques des antennes, les trajectoires des satellites, l'ingénierie financière etc. Cette évaluation passe presque toujours par un calcul numérique à réaliser par ordinateur. Ce cours a pour objectif de donner un premier aperçu de trois des principales méthodes actuellement mises en œuvre. L'accent est mis sur l'aspect EDP : conditions aux limites, schéma numérique, précision, stabilité, consistance. Les trois méthodes détaillées ensuite sont : les différences finies, les volumes finis et les éléments finis. Le cours se poursuit par un exposé sur la question du stockage et de l'inversion des « très grandes » matrices. Enfin, un exposé sur l'architecture des calculateurs modernes (précision, parallélisme) donne le point de vue des moyens informatiques.

---

**Propulsion aéronautique et spatiale** **PE201**

**Responsable du module :** Jérémie GRESSIER **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Ce module est destiné à donner aux étudiants les bases de la propulsion aéronautique et spatiale.

Après une présentation des différents systèmes actuels et futurs le détail du fonctionnement des turbomachines et des moteurs fusée est présenté (cycle fonctionnement en vol, dimensionnement et utilisation).

**Responsable du module :** Yves GOURINAT**Volume horaire:** 40**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT**Ects:** 2.5**Descriptif**

L'objectif de cet enseignement est de connaître et maîtriser les techniques de dimensionnement et de calcul des structures légères de type aérospatial. Pour répondre aux besoins liés à la qualification des systèmes complexes contemporains, on insiste dans cet objectif sur l'assimilation des hypothèses et fondements mécaniques - indispensable pour la mise en œuvre robuste des outils numériques - et sur les analyses fondamentales de cas typiques. Le module couvre le domaine fondamental de la statique linéaire des structures minces, avec des extensions vers l'analyse thermique et dynamique.

Plus précisément, ce module complète le module SM104 (statique des poutres). Il traite donc les calculs statiques de plaques et coques développables et non-développables, avec une introduction à la thermoélasticité linéaire des éléments minces, aux matériaux orthotropes et aux modèles éléments finis. L'approche modale en dynamique linéaire complète les calculs statiques.

# Tronc commun non scientifique

## Culture

AC201

**Responsable du module :** Yves CHARNET

**Volume horaire:** 32.5

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET

**Ects:** 2

### Descriptif

Une brochure présentant dans le détail l'ensemble des enseignements et activités en culture générale est remise à chaque élève aux amphis de présentation.

L'étudiant choisit deux séminaires parmi la liste proposée en début d'année.

Les séminaires 2007-2008:

La pensée à l'épreuve des arts :

P. Fauré - Ecrire, la guerre. Ernst Jünger, Louis-Ferdinand Céline, Claude Simon.

P. Ragel - Histoire et esthétique du cinéma : le cinéma contemporain des trois Chines : pureté de la forme et impureté du réel

C. Giulioli - Les règles de l'art.

A. Goubrou - Du rire au cinéma.

P. Jodowski - Entendre, écouter, voir.

L. Lévêque - Avant-Garde(s) et fin(s) de l'art : Dada, Duchamp.

M. Filloux-Vigreux - La danse contemporaine : un art du XXe siècle encore méconnu.

X. Daverat - Douze chansons qui (dé)font l'Amérique.

V. Magrini - Les artistes aux semelles de vent : l'art et l'exil

Cultures et sociétés dans une modernité en question :

É. Bories - Morale, éthique et politique.

J.-M. Maldamé - Science et religion.

P. Vinachès - Dans quelle société vivons-nous ?

S. Sampoux - Le management est un art.

J. de Quissac - La République : mystique & symbolique.

Arlette Fontan - Religion et politique : une liaison dangereuse

P. Baboulet-Flourens - La communication interculturelle est-elle un art ?

G. Portelli - Géopolitique : constances et changements dans l'histoire

## Marketing industriel

EG201

**Responsable du module :** L. GAMBINO

**Volume horaire:** 17.5

**Correspondant ISAE :** Pierre JEANBLANC

**Ects:** 1

### Descriptif

Objectifs :

-Fournir aux élèves ingénieurs les concepts fondamentaux du Marketing en milieu industriel (appelé également Business to Business).

-Sensibiliser les étudiants à la nécessité d'intégrer la préoccupation du marché dans tout raisonnement industriel, depuis les phases de conception des produits jusqu'à la production.

-Transmettre le fond culture qui leur permettra de dialoguer avec la fonction marketing ou commerciale dans les entreprises qui les accueilleront.

- Montrer nettement les différences méthodologiques et pratiques entre le Marketing des produits de grande consommation et le Marketing des produits industriels ou des technologies.

Méthodes Pédagogiques:

L'intervention étant résolument opérationnelle, se déroulera en 3 grandes phases :

- Acquisition des concepts de base et vision d'ensemble de la discipline (en cours).

- Travaux de réflexion sur des sujets concrets illustrant différents domaines de la discipline (études de cas). L'expérience opérationnelle du cabinet est déterminante dans cette phase (le détail des études de cas sera déterminé ultérieurement).

- Cours de synthèse pour replacer les expériences vécues ou relatées, dans un cadre méthodologique et conceptuel rigoureux.

## **Dynamique de groupe et communication**

**EG202**

**Responsable du module :** B. FRAYSSE

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Pierre JEANBLANC

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'objectif de cet enseignement est de sensibiliser les élèves ingénieurs aux processus psychosociaux mis en jeu dans une activité de communication professionnelle, et de proposer une méthodologie d'appréhension de ces processus. Le dispositif pédagogique est centré sur des apports théoriques et des études de cas issus du monde professionnel ; ils sont traités et analysés en cours; une participation active des étudiants est souhaitée. Le principe de pédagogie inversée est mis en place pour partie dans cet enseignement.

## **Formation personnelle**

**EG203**

**Responsable du module :** L. BARRIÉ

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Pierre JEANBLANC

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Si l'engagement dans les études supérieures est destiné à l'acquisition de savoirs et de savoir-faire techniques, il appartient aux étudiants en contrepartie, de réfléchir à leur façon de se comporter, de déceler leurs atouts et d'identifier leurs modes de fonctionnement préférentiels. Il s'agit de ceux dans lesquels ils ont le plus d'aisance et qui favoriseront leur réussite dans un environnement particulier.

Le savoir être, les savoir-faire relationnels nécessaires dans toute entreprise, personnelle ou professionnelle, réclament une relative connaissance de soi.

L'élaboration et la mise en œuvre d'un projet, quel qu'il soit, demande au préalable de savoir s'analyser, s'informer et s'orienter.

Le bilan personnel est l'occasion d'initier cette démarche, de structurer une réflexion, qui sera continue tout au long de leur parcours et qu'ils devront mener plus particulièrement lorsqu'ils seront confrontés à des choix.

Ce module est donc un moment qui leur est proposé pour tenter de :

- Prendre conscience de leurs caractéristiques personnelles, des comportements qui leur font plutôt réussir ou échouer, mettre à jour certaines de leurs dispositions et leurs points de progrès
- Réfléchir sur leurs aspirations, leurs motivations et tenter d'en comprendre l'origine

## **Langue vivante 1 : anglais**

**LV200**

**Responsable du module :** Jean-claude JACQUES

**Volume horaire:** 57.5

**Correspondant ISAE :** Jean-claude JACQUES

**Ects:** 4

### **Descriptif**

L'élève ayant consolidé ses bases en première année renforce et élargit ses connaissances de la langue. Ce cours vise à améliorer les compétences (la compréhension et l'expression orales sont privilégiées) et met l'accent sur les domaines spécifiques de la carrière d'ingénieur : communication, anglais technique et scientifique, mais aussi civilisation et cultures anglo-saxonnes.

Pratique de la conduite de réunions et des présentations. Rédaction de CV et lettres de motivation.

Les élèves ont également la possibilité de préparer des examens internationaux : Cambridge, TOEFL, DBE, GRE et radiotéléphonie du pilotage.

## **Langue vivante 2**

**LV201-209**

**Responsable du module :** Jean-claude JACQUES

**Volume horaire:** 43.75

**Correspondant ISAE :** Jean-claude JACQUES

**Ects:** 3

### **Descriptif**

Ce cours de Langue Vivante 2 obligatoire est destiné à compléter la palette linguistique d'un ingénieur qui sera amené à travailler au niveau international.

Le cours permet aux élèves de renforcer les connaissances théoriques acquises dans le secondaire et en classes préparatoires ou bien de commencer l'apprentissage d'une nouvelle langue. Il vise à pratiquer le plus souvent possible de manière intensive et interactive la langue orale (compréhension et expression).

La correction de l'expression écrite est aussi visée et des travaux personnels en dehors des cours sont demandés. Des aspects essentiels de la civilisation, des arts et de la littérature sont abordés.

Les étudiants ont le choix parmi toutes les langues dispensées à SUPAERO : allemand, arabe, chinois, espagnol, français langue étrangère, italien, japonais, portugais, russe.

**Descriptif**

A travers la pratique d'activités physiques et sportives, le module EPS propose aux élèves d'élargir leurs compétences en se confrontant à diverses situations, en vivant des expériences nouvelles, en prenant en main leur pratique. Ce qui est recherché à travers la mise en jeu du corps, c'est un changement, une adaptation du rapport qu'ils entretiennent avec le monde physique, les autres et eux-mêmes. Il s'agit donc, par la nature et la diversité des situations proposées, des émotions qu'elles engendrent et des ressources qu'elles sollicitent, de provoquer l'engagement physique et le plaisir d'agir. C'est à partir de cet investissement que les changements affectifs, cognitifs et moteurs sont espérés. C'est aussi l'occasion de partager, de se confronter et d'organiser activement sa pratique.

Les élèves choisissent 3 activités organisées en 3 cycles de 9 séances consécutives de 1h30. Un large éventail d'activités est proposé afin de solliciter toutes les types de ressources et d'atteindre les objectifs définis. Activités qui privilégient les rapports de collaboration et/ou d'opposition ( sports collectifs, arts martiaux, escrime, sports de raquette) qui sollicitent en priorité les ressources bioénergétiques ou bio informationnelles (aviron, athlétisme, natation, musculation, tir à l'arc, golf, yoga, acro-cirque.) ou bien qui nécessitent l'adaptation au milieu et la gestion des risques et des émotions (escalade, plongée)

# Projet de deuxième année

---

## Introduction au projet 2A XX202

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

### Descriptif

---

## Projet de deuxième année XX203

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 6 semaines

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 9

### Descriptif

Projet appliqué par excellence, il donne la possibilité aux étudiants de seconde année de s'investir dans des études de moyen terme réalisées au sein des différents pôles de compétences de l'école. Dans un cadre méthodologique précis, le Projet 2A est soit un projet de recherche, qui nominaleme nt s'effectue seul ou bien à deux, soit un projet en équipe intégrée sur un sujet plus technique ou technologique, avec un groupe constitué de 4 étudiants. On distingue donc clairement deux orientations possibles. Une orientation recherche qui devra donner lieu à une étude bibliographique conséquente. Une orientation projet en équipe où devra être mis en avant la gestion du projet d'un point de vue temporel et du point de vue humain.

---

## Stage de substitution de Projet 2A XX204

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 3 mois

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 9

### Descriptif

Les étudiants ont la possibilité de substituer le Projet 2A obligatoire par un stage, une commission se réunissant afin d'examiner la demande. Un élève qui fait une demande de stage et qui ne concrétise pas avec un industriel se voit dans l'obligation d'effectuer un stage sur le campus en juin et juillet.

# Majeure aérodynamique

L'idée de base de cette majeure est de faire goûter cette matière aux étudiants par quatre de ses facettes, expérimentale, appliquée, théorique et numérique.

---

## Techniques de mesures en aérodynamique

AE211

**Responsable du module :** Valérie FERRAND

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 2

### Descriptif

Cet enseignement est destiné à présenter les différentes techniques expérimentales couramment utilisées en mécanique des fluides. Souffleries, visualisations d'écoulement, mesure d'efforts, de pression, de concentration d'espèce, de champs de vitesses sont abordés de manière théorique et pratique (4 séances de travaux pratiques). Une visite de souffleries industrielle et de recherche est organisée pour clôturer le cours.

---

## Aérodynamique numérique

AE212

**Responsable du module :** Jean-marc MOSCHETTA

**Volume horaire:** 13.5

**Correspondant ISAE :** Jean-marc MOSCHETTA

**Ects:** 1

### Descriptif

Le cours constitue une introduction aux méthodes numériques de type volume fini appliquées à la résolution de problèmes d'aérodynamique compressible. Alternant des cours théoriques et des séances pratiques, le cours introduit aux principaux éléments de simulation numériques des écoulements compressibles à l'aide d'un code de calcul Euler mono-dimensionnel. Le module s'appuie sur les apports théoriques du cours AE213 et s'achève par la présentation orale d'un dossier de synthèse des résultats obtenus.

---

## Ondes en aérodynamique

AE213

**Responsable du module :** Allan BONNET

**Volume horaire:** 27.5

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 3

### Descriptif

En cours de Tronc commun (AE201), ont été développés les éléments permettant le calcul des écoulements supersoniques stationnaires dans le cadre restreint, à la fois du bidimensionnel plan et de l'approche linéarisée appelée également "petites perturbations". Dans cette unité, trois approfondissements sont développés :

- Une généralisation de la méthode des caractéristiques, de façon exacte, à la fois en 2D plan, mais également en 2D de révolution. Le cas particulier des écoulements coniques de révolution est notamment abordé.
- Une extension aux écoulements tridimensionnels : compte tenu de la complexification du problème, l'hypothèse de petites perturbations est ici maintenue.
- Une extension à un autre système hyperbolique en instationnaire, limité toutefois au mono dimensionnel.

---

## Applications de l'aérodynamique

AE214

**Responsable du module :** Allan BONNET

**Volume horaire:** 19

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 2

### Descriptif

Enseignement constitué de 7 conférences montrant des applications de l'aérodynamique sur des thèmes relevant bien sûr de l'aéronautique, mais également en dehors, notamment dans les domaines de l'automobile, du ferroviaire, des infrastructures terrestres, voire de la terre entière.

# Majeure automatique

Cette majeure a pour but d'une part d'asseoir les concepts vus dans le cadre du tronc commun, d'autre part d'ouvrir la discipline sur des techniques nouvelles, que ce soit du point de vue de la mise en œuvre ou du point de vue des techniques de synthèse de lois de commande.

---

## Systèmes informatiques pour la commande de processus

AU211

Responsable du module : Caroline BERARD, Jacques LAMAISON

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 3

### Descriptif

Cet enseignement introduit les concepts, méthodes et outils nécessaires à la conception et à la mise en œuvre des systèmes de traitement de l'information dédiés au contrôle de processus. La discrétisation de lois de commande en vue de leur implémentation en numérique est abordée. Les outils et méthodes utilisés pour le développement de logiciels temps réel et la commande numérique sont illustrés par le développement d'une application de commande d'un axe de satellite.

---

## Conduite, décision et facteurs humains

AU212

Responsable du module : C. TESSIER

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce module vise à donner des éléments de base pour la commande dite de « haut niveau » d'engins - drones, robots terrestres, robots sous-marins, satellites - auxquels on veut conférer une certaine autonomie d'opération et de décision. La question de l'autonomie est posée lorsque, pour des raisons économiques, de sécurité, d'organisation du travail, d'éloignement, d'aléas de communication..., les engins ne peuvent être commandés en permanence par des opérateurs. Il s'agit donc de doter les engins de moyens pour qu'ils puissent « se débrouiller » en particulier face à des événements ou aléas qui peuvent survenir au cours de la mission et d'étudier l'impact de cette autonomie sur le rôle et les performances des opérateurs.

Le module est organisé autour de l'étude simplifiée de l'autonomie décisionnelle d'un drone.

---

## Introduction à la commande des systèmes MIMO

AU213

Responsable du module : Daniel ALAZARD, Caroline BERARD

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Daniel ALAZARD, Caroline BERARD

Ects: 1.5

### Descriptif

Le but de ce module est d'introduire les élèves aux techniques de commande multidimensionnelle les plus utilisées dans l'industrie aérospatiale. Il s'agit de donner, dans le cadre limité de 15h, un aperçu sur les problèmes de la commande multidimensionnelle (et faire prendre conscience du saut qu'il y a à faire pour passer du mono au multi).

Les divers aspects - représentations et techniques de commande - seront abordés dans leurs très grandes lignes. Vu l'ampleur du domaine, il ne s'agit ici que de faire découvrir les problèmes et les solutions existantes de manière à rendre possible un dialogue entre automaticiens, avionneurs, concepteurs et réalisateurs.

---

## Introduction à la commande non-linéaire

AU214

Responsable du module : J.-M. BIANNIC

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce module constitue une introduction à l'analyse puis la commande des systèmes non-linéaires constitués d'une partie linéaire rebouclée sur une non-linéarité statique affine par morceaux (dont font partie les saturations). Deux techniques sont présentées. La méthode du plan de phase, puis la méthode du premier harmonique.

**Cycle de conférences****AU215****Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR**Volume horaire:** 5**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR**Ects:** 0.5**Descriptif**

Ce volume de 5h sera dédié à l'intervention d'industriel permettant de mettre en perspective les cours suivis dans la majeure.

# Majeure énergétique et propulsion

L'objectif de cette majeure est d'ouvrir sur des disciplines (acoustique, combustion) ou méthodologies (expérimental, numérique) qui complètent les disciplines enseignées en tronc commun. Ces aspects sont aussi détaillés en 3ème année.

---

## Techniques de mesures en énergétique et propulsion

PE211

Responsable du module : Roger BARENES

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

### Descriptif

Le domaine d'étude de l'énergétique et de la propulsion est vaste : au cœur du domaine de la propulsion aéronautique, on trouvera l'étude de la turbomachine, machine complète ou sous ensemble. Ce domaine s'étend en premier vers les équipements de l'aéronefs comme le conditionnement d'air ou les groupes auxiliaires de puissance. Il s'étend ensuite vers les domaines connexes du moteur thermique (automobiles et dérivés) ou de la propulsion spatiale.

Les mesures peuvent être globale ou locale, concerner un ensemble avec une approche de type performance ou un sous ensemble avec un diagramme caractéristique, avoir une vue du système en régime permanent ou au contraire chercher à étudier un transitoire particulier.

Sur cette problématique générale, le module TMEP doit donner aux élèves une culture de base sur les méthodes et les moyens utilisés dans les essais de tous types avec une extension aux moyens de mesures spécifiques (essais de recherche).

---

## Introduction aux phénomènes de combustion

PE212

Responsable du module : Gérard LAVERGNE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Gérard LAVERGNE

Ects: 2

### Descriptif

L'objectif de ce cours est d'introduire les principaux phénomènes physiques intervenant dans les foyers de combustion (combustion aérobie et moteurs fusée). Deux types de modélisation de l'écoulement réactif sont proposés : une approche globale et une modélisation locale des processus. Ce module comprend des cours, des TD, des BE (définition d'une chambre de combustion de turbomachine) et d'un BE/TP sur les caractéristiques d'une flamme laminaire (vitesse, épaisseur...). Des visites de banc de l'ONERA sont aussi programmées.

---

## Méthodes de calcul pour les turbomachines

PE213

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

### Descriptif

Panorama des différentes modélisations et méthodes utilisables pour le calcul des éléments d'une turbomachine, accompagné d'une série de bureaux d'études réalisant le calcul aérothermique de divers éléments d'une turbomachine (entrée d'air, compresseur, chambre de combustion, turbine, tuyère).

---

## Acoustique

PE214

Responsable du module : S. PAUZIN, Franck SIMON

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

### Descriptif

Discipline annexe à l'énergétique mais néanmoins très importante, car le système propulsif est une des principales sources de bruit. Les bases de l'acoustique sont vues, ainsi qu'une introduction à l'acoustique du point de vue de l'industriel.

# Majeure informatique

L'objectif est de se familiariser avec les techniques de rendu et de synthèse d'images. Ces techniques sont utilisées par exemple pour une visualisation plus compréhensible des données et des résultats de calculs scientifiques. Elles sont également employées pour la représentation de systèmes complexes, intégrées à des simulations, etc. Affichage temps réel, 3D posent des problèmes de performances partiellement résolus. Seront abordées successivement les bases de la modélisation des objets et de la propagation, des bibliothèques de programmation, des techniques de synthèse.

---

## Modélisation géométrique

IN211

Responsable du module : L. BARTHE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 2

### Descriptif

L'objectif de ce cours est d'introduire les notions de bases qui sont nécessaires à l'appréhension des problèmes de modélisation/reconstruction de surfaces tridimensionnelles. Ce cours présente les maillages ainsi que les représentations classiques par équations paramétriques, puis il introduit les modèles volumiques à base de fonctions potentiel et de surfaces implicites.

---

## Synthèse d'images

IN212

Responsable du module : G. SUBRENAT, P. BLASI

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 3

### Descriptif

Lumière et couleur (grandeur et codage); Interaction lumière matière (BRDF); Méthode de rendu basique (lancer de rayons) avec programmation en BE; Formalisation mathématique du rendu; Méthode de rendu avancé Radiosité; Méthodes de rendu avancé Monte-Carlo: théorie (variable aléatoire, techniques d'échantillonnage, évaluation numérique d'intégrales, amélioration de la convergence, résolution de systèmes d'équations intégréo-récurrentes, ...) et application au rendu réaliste avec programmation en BE.

---

## Propagation

IN213

Responsable du module : J. LEMORTON

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 1

### Descriptif

L'objectif de ce cours est d'introduire les notions de bases qui sont nécessaires à l'appréhension des phénomènes de propagation des ondes électromagnétiques (incluant visible, IR, ondes radio) et d'interaction de ces ondes avec l'environnement (réflexion, diffraction, ...). Les problématiques seront principalement explicitées par rapport aux applications dans le domaine de l'imagerie.

---

## Outils pour la synthèse d'images

IN214

Responsable du module : M. PAULIN

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 2

### Descriptif

Présentation des outils logiciels et matériels pour le développement d'applications en synthèse d'images. Ce cours devra permettre de comprendre et de maîtriser le fonctionnement des architectures pour le graphique actuelles, leur programmation et leur utilisation tant en synthèse d'images que pour des calculs généraux.

# Majeure matériaux et structures

La majeure structures et matériaux a pour vocation d'élargir le champ de connaissances de la conception et du dimensionnement des structures aéronautiques et spatiales. Les enseignements sont largement pourvus en travaux expérimentaux et utilisent les outils de simulation numérique. Les activités porteront sur le comportement des structures en matériaux métalliques et en matériaux composites ainsi que sur les méthodes industrielles de calcul de structures par éléments finis.

---

## Modélisation de structures par la méthode des éléments finis linéaires

SM211

Responsable du module : Christophe BOUVET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 2

### Descriptif

Le calcul de structures correspond à un besoin industriel important notamment dans le domaine aérospatial. Il fait appel le plus souvent à la méthodes des éléments finis et à des algorithmes performants de résolution de systèmes d'équations.

Sur le plan théorique, les principes de la méthode ont été vus dans le cours de Tronc commun de Calcul Scientifique. Un logiciel de calcul commercial sera utilisé dans ce module pour aborder le calcul de structures par la méthode des éléments finis linéaires.

L'accent sera mis sur l'interprétation physique des phénomènes modélisés, pour des structures élémentaires et industrielles.

---

## Comportement mécanique des matériaux structuraux

SM212

Responsable du module : Philippe LOURS

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 2

### Descriptif

Présenter les grandeurs mécaniques de base utilisées dans les calculs de comportement des matériaux, pour les différents types de déformation. Pré requis indispensable au module "matériaux pour structures aéronautiques et spatiales" de 3ème année.

---

## Ruine des Structures

SM213

Responsable du module : B. JOURNET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 2

### Descriptif

Le risque d'apparition de défauts et leur évolution sous les contraintes de service représentent une menace sérieuse pour l'intégrité des structures. Afin de répondre à des exigences de sécurité, la conception des structures repose sur des principes qui ont été clairement établis dans le cadre de la fatigue et de la mécanique de la rupture. Ce cours présente les notions de base nécessaires pour aborder ce type de problème dans la conception des structures métalliques.

---

## Structures anisotropes et composites

SM214

Responsable du module : Christophe BOUVET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 2

### Descriptif

Acquisition des connaissances nécessaires au dimensionnement et à la fabrication des structures réalisées en matériaux composites à fibres longues.

# Majeure méthodes et modèles mathématiques

Cette majeure s'adresse surtout mais non exclusivement aux étudiants intéressés par un master recherche ou plus généralement pour les étudiants soucieux de compléter leur connaissance en méthodes mathématiques. Cette majeure constitue aussi un prolongement du module de calcul scientifique et peut s'avérer utile à tous ceux qui seront amenés à utiliser un code de calcul. Il s'agit de donner quelques pistes pour réduire et comprendre les systèmes gouvernés par des EDP. Il n'y a pas de concept mathématique vraiment nouveau, on souhaite surtout mettre en œuvre les bons outils mathématiques pour les systèmes régis par des EDP.

---

## Simulation numérique

MA212

Responsable du module : Michel SALAUN

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 2

### Descriptif

Introduction aux méthodes numériques par exemple pour le calcul des structures ou pour un problème d'optimisation et réalisation d'un projet en langage fortran.

---

## Introduction au contrôle optimal

MA213

Responsable du module : Denis MATIGNON

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 2

### Descriptif

Il s'agit dans ce cours de mettre en place les outils mathématiques et les algorithmes permettant d'étudier les problèmes de contrôle actif. On introduit dans un premier temps les résultats d'optimisation global (cas convexe) et local (contrainte différentiable) dans le cadre hilbertien en utilisant les paramètres de Lagrange. La deuxième étape consiste à étudier le problème de contrôle optimal d'un système linéaire de dimension finie sans contrainte (LQ) ou avec contrainte d'état final (notion de contrôlabilité). Enfin, une ouverture est faite en dimension infinie à travers l'exemple de l'équation de la chaleur, contrôle de type Dirichlet ou distribué.

---

## Compléments sur les EDP

MA214

Responsable du module : F. ROGIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 2

### Descriptif

Ce cours a pour objet d'approfondir les connaissances des étudiants dans le domaine des équations aux dérivées partielles. Les points abordés sont : la classification des EDP (hyperbolique, elliptique et parabolique), la régularité des solutions, la théorie spectrale des opérateurs compacts, les équations d'évolution (onde et chaleur).

---

## Analyse asymptotique

MA215

Responsable du module : Xavier CLAEYS

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Xavier CLAEYS

Ects: 2

### Descriptif

Ce cours introduit les méthodes asymptotiques classiques, notamment dans le cas de perturbations singulières qui se produisent sitôt qu'un terme très petit se trouve en facteur du terme dont le degré de dérivation est maximal dans une équation différentielle. C'est ainsi que l'on traite successivement de la méthode des développements asymptotiques raccordés, de la méthode dite WKB et des échelles multiples. Enfin le cours traite aussi de la théorie générale de la stabilité. Ce cours par essence théorique introduit divers exemples physiques concrets pour lesquels ces méthodes sont mises en œuvre.

**Descriptif**

De nombreux systèmes physiques ne sont pas déterministes dans la mesure où l'évolution de l'état de leurs constituants n'est pas connue avec certitude. Il est possible de modéliser ces systèmes grâce à la théorie des processus stochastiques, qui permettent de décrire l'évolution temporelle de variables aléatoires. Ce cours présentera les principaux processus stochastiques utilisés par l'ingénieur, dont notamment les processus de Poisson et les chaînes de Markov à temps continu ou discret. Les fondements théoriques seront mis en pratique au travers d'un BE qui portera sur un problème concret de gestion de files d'attente.

# Majeure modélisation et maîtrise de l'incertitude

L'ingénieur est confronté, dans tous ses secteurs d'activité; à un cadre qui n'est jamais entièrement déterministe : données imprécises, pannes, modèles approchés, évolution de l'environnement, etc.

Cette majeure propose différentes approches permettant de maîtriser cette incertitude dans un objectif de prise de décision ou de planification : plusieurs cadres de modélisation sont présentés ainsi que des méthodes d'évaluation et d'optimisation prenant directement en compte les caractéristiques des phénomènes stochastiques.

---

## Programmation dynamique et apprentissage par renforcement

GI212

Responsable du module : P. FABIANI

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2

### Descriptif

Ce cours présente les méthodes et outils dérivés de la programmation dynamique pour l'apprentissage de la politique de décision d'un agent en interaction avec son environnement dans un contexte où les actions entreprises par l'agent ont des conséquences incertaines. Le cours commence avec la mise en place du contexte de problèmes de décision séquentielle dans l'incertain, contexte placé sur une échelle temporelle discrète. Le lien est établi entre la Programmation Dynamique pour la recherche de plus court chemins dans les graphes et l'application des équations d'optimalité de Bellman dans le cas de l'horizon temporel fini déterministe puis stochastique. Le cadre des processus Décisionnels de Markov est introduit et le cadre de la programmation Dynamique étendu à l'horizon infini.

L'apprentissage par renforcement généralise ce cadre au cas où le modèle de l'environnement n'est pas donné à priori: l'agent apprend la politique optimale en interaction avec l'environnement. Ce cas est étudié plus en détail et fait l'objet d'un Bureau d'Etudes

long où les élèves programment les algorithmes d'apprentissage par renforcement en s'aidant d'une bibliothèque d'algorithmes de programmation dynamique.

---

## Réseaux bayésiens

GI213

Responsable du module : C. PRALET

Volume horaire: 17.5

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2

### Descriptif

La modélisation de systèmes complexes sujets à incertitudes se retrouve dans de nombreux contextes applicatifs issus du domaine aérospatial, mais également des domaines tels que la génétique ou la finance. La modélisation de ces systèmes nécessite souvent de prendre en compte un nombre de paramètres (ou variables aléatoires) potentiellement très élevé.

Ce cours présente un outil compact de représentation de l'incertain permettant de représenter efficacement de l'incertitude sur un grand nombre de variables aléatoires. Cet outil compact, appelé le formalisme des réseaux bayésiens, est situé à la frontière entre théorie des graphes et théorie des probabilités. Il utilise notamment une organisation des variables aléatoires sous la forme d'un réseau reflétant certaines propriétés d'indépendance conditionnelle. D'un point de vue applicatif, les réseaux bayésiens permettent d'effectuer des tâches de suivi de situation et/ou de diagnostic, dans lesquelles on cherche soit à estimer des probabilités sur l'état courant d'un système en fonction d'observations réalisées, soit à calculer une explication optimale aux observations.

Le cours traitera d'une part de la représentation de la connaissance via les réseaux bayésiens et d'autre part des méthodes de résolution classiques: méthodes exactes à base d'élimination de variables (issues plutôt du domaine de l'intelligence artificielle), et méthodes approchées à base d'échantillonnage (issues plutôt du domaine des mathématiques appliquées). Le lien entre réseaux bayésiens et décision ainsi que l'apprentissage de réseaux bayésiens seront également abordés.

## Plans d'expériences

MA211

Responsable du module : M. CAUMEL

Volume horaire: 22.5

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2

### Descriptif

La planification optimale des expériences est une méthode de nature statistique pratiquée en recherche et développement industriel afin d'optimiser la conduite et l'interprétation de l'expérimentation.

Etant donné un processus contrôlé par un ensemble de facteurs, elle permet de répondre au moindre coût aux objectifs suivants :

- 1 déterminer les facteurs significatifs influant sur les réponses
- 2 estimer les effets (linéaires ou non) et déterminer le modèle adéquat
- 3 effectuer des prévisions ou optimiser les réponses

## Processus stochastiques

MA216

Responsable du module : F. TEICHTEIL

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2

### Descriptif

De nombreux systèmes physiques ne sont pas déterministes dans la mesure où l'évolution de l'état de leurs constituants n'est pas connue avec certitude. Il est possible de modéliser ces systèmes grâce à la théorie des processus stochastiques, qui permettent de décrire l'évolution temporelle de variables aléatoires. Ce cours présentera les principaux processus stochastiques utilisés par l'ingénieur, dont notamment les processus de Poisson et les chaînes de Markov à temps continu ou discret. Les fondements théoriques seront mis en pratique au travers d'un BE qui portera sur un problème concret de gestion de files d'attente.

# Majeure ondes et signaux

Constatant qu'une mission spatiale met nécessairement en jeu des échanges de signaux entre satellites et sol, cette majeure se donne pour objectif de présenter les différents aspects de cette réalité. Adoptant une approche descendante celle-ci se développe en trois étapes, la présentation de problématiques débouchant sur la définition de missions spatiales -Météo/Océanographie ou Astrophysique ( un module au choix), la spécification et les contraintes exercées sur la réalisation des charges utiles et enfin le traitement numérique du signal. Cette dernière étape s'étend sur deux modules dont l'un est partiellement dédié a un travail de projet.

## Signaux et communications

ET211

**Responsable du module :** Michel BOUSQUET, Vincent CALMETTES

**Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Michel BOUSQUET

**Ects:** 4

### Descriptif

L'enseignement ET214 permet d'introduire, par une approche théorique et expérimentale, les techniques de traitement de signal pour des applications liées aux communications numériques. La première partie du cours concerne l'étude d'une chaîne de transmission en bande de base et des techniques de modulations numériques. La deuxième partie de l'enseignement s'appuie sur des enseignements alternant cours et bureaux d'études en laboratoire. Les bureaux d'études, réalisés sur des PC équipés de carte son et sur des architectures à base de processeurs de signaux, permettent d'introduire les techniques de traitement des signaux en vue de leur transmission. Ces techniques concernent d'une part le codage source des signaux de parole (modélisation linéaire, codage ADPCM, ...), d'autre part la chaîne de transmission (filtre adapté, filtre polyphase, ...).

## Charge utile

ET213

**Responsable du module :** Damienne BAJON

**Volume horaire:** 17.5

**Correspondant ISAE :** Damienne BAJON

**Ects:** 2

### Descriptif

Ce module est consacré à la conception des charges utiles pour les télécommunications avec les mobiles à partir de l'analyse de missions réelles. Antennes passives et actives, réseaux d'antennes, filtre - amplificateurs et sources d'excitation sont inclus dans l'analyse et la conception des charges utiles. Une application concrète de synthèse de couverture est réalisée en fin de module.

## Observation et surveillance de la terre

IS212

**Responsable du module :** S. MAURICE

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN

**Ects:** 2

### Descriptif

Partie 1 : Télescopes (10h)

o L'atmosphère terrestre et l'espace

o Télescopes et images

o Récepteurs du rayonnement

o Applications :

Astrophysique

Surveillance de l'espace (partie optique)

Partie 2 : Observations Radar (10h)

o Propriétés générales

o Techniques de réception & longueur d'onde

o Récepteurs des radiofréquences

Radiotélescopes

VLB, VLBI

Surveillance de l'Espace : le radar Grave

Le radar Nostradamus (AC)

# Majeure physique et observation de la terre

Cette majeure propose un enseignement dédié à :

- la physique de l'environnement spatial de la terre et des phénomènes climatiques,
- à l'instrumentation embarquée indispensable pour acquérir les grandeurs physiques caractéristiques, dans divers domaines spectraux : optique, IR, radio-fréquence, millimétrique.

---

## Imagerie électronique

ET214

**Responsable du module :** Pierre MAGNAN

**Volume horaire:** 15

**Correspondant ISAE :** Pierre MAGNAN

**Ects:** 2

### Descriptif

L'objectif de cet enseignement est de découvrir les concepts de base des systèmes modernes d'acquisition et de traitement d'images dans des bandes spectrales du visible et de l'infrarouge. La chaîne de l'image est parcourue depuis les capteurs électroniques d'images, le dimensionnement des caméras de prise de vues (appliquée à l'imagerie de la Terre) jusqu'au traitement élémentaire des images (filtrage, rehaussement de contraste, compression...). La détermination d'attitude d'un satellite par visée stellaire est détaillée comme une application spatiale des techniques de l'imagerie afin de concrétiser cet enseignement.

---

## Météo/Océanographie

IS211

**Responsable du module :** R. MORROW

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Bénédicte ESCUDIER

**Ects:** 2

### Descriptif

Ce cours constitue une introduction à la météorologie et l'océanographie. La première partie "météorologie- physique de l'atmosphère" comprend la circulation atmosphérique à grande échelle, les lois physiques du mouvement atmosphérique, les principaux phénomènes des latitudes tempérées et tropicales et les principes de base des modèles numériques. Elle est complétée par une visite du site de Météo France. La deuxième partie "océanographie" comporte les bases de la circulation océanique, les techniques de mesure satellitaires, une introduction à la modélisation et l'assimilation océaniques, et le couplage océan-atmosphère. Une troisième partie concerne l'étude des glaces continentales.

---

## Instrumentation hyperfréquence embarquée

PH211

**Responsable du module :** J.-M. GOUTOULE, L. PHALIPPOU

**Volume horaire:** 15

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 2

### Descriptif

Ce module présente l'instrumentation embarquée à bord des satellites, destinée à l'acquisition de paramètres physiques liés à la radiométrie et fonctionnant dans les domaines spectraux hyperfréquences et millimétriques. Il donne les bases physiques de la radiométrie, décrit les caractéristiques principales des radiomètres et présentes des domaines d'application tels que la météo, le sondage atmosphérique, la mesure du rayonnement fossile,...

---

## Physique de l'atmosphère et instrumentation optique embarquée

PH212

**Responsable du module :** Jean-claude MOLLIER

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 2

### Descriptif

Ce cours est constitué de 4 parties :

- Détection infrarouge passive
- Sondage atmosphérique par méthodes passives
- Détection active : les lidars spatiaux
- Propagation laser dans l'atmosphère

# Matières facultatives

---

## Atelier du regard AC902

**Responsable du module :** GUY DE TOULZA **Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de cet atelier du regard est, en initiant à l'histoire de l'art, de donner aux étudiants les connaissances fondamentales de ce qu'a été la production artistique des siècles passés. Nous restituerons donc les œuvres dans les grandes lignes des civilisations, des conditions économiques, politiques et sociales dont elles constituent un reflet. Plus que l'acquisition de connaissances théoriques, nous apprendrons à voir pour mieux comprendre les conditions de la création de l'œuvre, l'analyser dans sa forme, son iconographie, sa composition, ses couleurs, ses matériaux, ses techniques.

---

## Atelier d'arts plastiques AC903

**Responsable du module :** Sandrine FOLLERE **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'atelier accueille les débutants et les anciens (élèves et personnels de l'École) dans une démarche de sensibilisation à l'art classique, à l'art moderne puis contemporain (documentation de la bibliothèque de l'ISAE et accès à celle de l'École des Beaux-Arts de Toulouse).

---

## Bistrot littéraire : atelier d'écriture AC904

**Responsable du module :** Yves CHARNET **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Il y a les choses à faire, les choses en retard, les choses de la vie, les moments de doute et autres mauvaises passes, les phases de vide (ou de trop plein !) ; et puis il y a des rendez-vous qui ont la gratuité d'un jeu - et comme une couleur d'amitié. Pour celles et ceux d'entre vous qui le désirent, dans l'emploi du temps, le Bistrot littéraire propose un rendez-vous avec la forme la plus simple de l'inconnu. Une manière de percer les murs de ce grand (r)enfermement où chacun(e) est pour soi-même. Une façon de passer de l'autre côté du mur (du miroir ?) ...

---

## Atelier théâtre AC905

**Responsable du module :** Laurence ROY **Volume horaire:** 50

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Un atelier théâtre ouvert à tous. Du débutant au confirmé, du timide au gentil mégalo, de l'intello à l'éternel rigolo, tous sont les bienvenus ! Tous ceux qui ont ce désir enfoui, ce rêve un peu fou de monter sur scène. A tous ceux qui oseront enfin cette année s'exprimer avec leur corps, leur imaginaire, leur voix, leurs mots ou ceux des autres. A tous ceux là qui veulent se surprendre, se découvrir, s'étonner des autres, se livrer aussi, pour mieux se délivrer peut-être.

---

## Atelier des arts du cirque AC906

**Responsable du module :** Stéphane FILLION **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

<b>Atelier musique</b>	<b>AC907</b>
<b>Responsable du module :</b> Ausias GAMISANS	<b>Volume horaire:</b> 60
<b>Correspondant ISAE :</b> Ausias GAMISANS	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	
<b>Atelier aéromodélisme et micro-drone</b>	<b>AE901</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-marc MOSCHETTA	<b>Volume horaire:</b> 0
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-marc MOSCHETTA	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Atelier pédagogique facultatif destiné à faire découvrir par la voie expérimentale et l'approche modéliste la mise au point et l'analyse des vols de micro drones. Les projets réalisés lors de cet atelier ont vocation à être présentés en vol lors de différentes compétitions de micro drones en France ou à l'étranger. L'atelier est ouvert les jeudis après-midi hors vacances scolaires à raison de 4 heures par séances dans le local micro drones situé au Département Aérodynamique, Énergétique et Propulsion (DAEP) ainsi que le terrain d'essai micro drones situé sur la zone verte (partie nord du campus SUPAERO).	
<b>Formation au pilotage</b>	<b>DV901</b>
<b>Responsable du module :</b> Bruno DUFFAUT, Daniel VACHER sélectionnés	<b>Volume horaire:</b> 13.75 et 52.5h pour les étudiants
<b>Correspondant ISAE :</b> Christian COLONGO	<b>Ects:</b> 3
<b>Descriptif</b>	
L'école assure, après sélection et sous réserve d'aptitude médicale, une formation au pilotage pour obtenir la licence de pilote privée d'avion (PPL). La sélection s'effectue, parmi les élèves en première année du cycle ingénieur et ceux admis sur titre en deuxième année au début de chaque année scolaire. Une participation financière aux frais de vol est demandée à chaque élève. Volume de 11.25h et 50h pour les étudiants sélectionnés	
<b>Introduction au droit du travail</b>	<b>EG902</b>
<b>Responsable du module :</b> Dominique SERIO	<b>Volume horaire:</b> 5
<b>Correspondant ISAE :</b> Dominique SERIO	<b>Ects:</b> 0.5
<b>Descriptif</b>	
Si le premier acte de la vie en entreprise pour le salarié est la signature du contrat de travail, il est important pour l'étudiant de comprendre l'environnement de la relation de travail à la fois dans les relations individuelles et collectives. Cette introduction a pour objectif de donner aux étudiants quelques repères juridiques.	
<b>Toefl</b>	<b>LV910</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Volume horaire:</b> 0
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Ects:</b> 0
<b>Descriptif</b>	
Tous les élèves de SUPAERO n'ayant pas de preuve officielle qu'ils ont déjà validé un niveau B2 en anglais passent le TOEFL institutionnel dès la fin de leur deuxième année. En tout état de cause, ils doivent valider ce niveau B2 en troisième année au plus tard pour obtenir le diplôme.	
<b>Langue vivante 3 et 4</b>	<b>LV900-LV909</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Volume horaire:</b> 50
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	
Les étudiants ont le choix parmi toutes les langues dispensées à SUPAERO : allemand, anglais renforcé, arabe, chinois, espagnol, français langue étrangère, italien, japonais, portugais, russe.	

## **Concevoir et produire**

**SM901**

**Responsable du module :** Joël XUEREB, Serge CREZE

**Volume horaire:** 24

**Correspondant ISAE :** Christophe BOUVET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce module optionnel a pour mission de former à la Technologie, au dessin technique de conception-définition, et à la fabrication sur machines-outils l'ensemble des acteurs impliqués dans les projets E = m6 et Marathon Shell. Le but visé est l'autonomie de chacun des participants à produire des pièces mécaniques destinées à ces projets. Cet enseignement ne permettra pas de donner aux élèves la dextérité nécessaire pour prétendre à une "habilitation" sur nos machines-outils mais des bases indispensables de Technologie. Un complément de manipulations sur les machines, au cours des projets, sera nécessaire pour obtenir cette habilitation et ceci compte-tenu de la dextérité de chacun des participants.

E = m6 : Compétition de robots autonomes préprogrammés (SUPAERO vainqueur européen 2004)

Marathon Shell : Challenge sur véhicule à faible consommation de carburant

( 6° participation de SUPAERO, avec la réalisation complète de deux prototypes : Athéna I et II).

## **Initiation au logiciel CATIA**

**SM902**

**Responsable du module :** Daniel GAGNEUX, Michel LABARRERE

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Christophe BOUVET

**Ects:** 1

### **Descriptif**

L'objectif de ce module est la création de pièces et ensembles mécaniques avec le modèleur CATIA. Au travers de plusieurs exemples, les étudiants apprennent à concevoir les pièces mécaniques en prenant en compte leur paramétrage et leur fabrication ultérieure. La phase de pre-design est également illustrée.





# 3ème année formation SUPAERO

Responsable de programmes : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Inspecteur d'étude : Marie-Françoise CASTANDET, Serge QUEHAN

## Présentation

---

Pourquoi une architecture domaine-approfondissement ?

La formation d'ingénieur SUPAERO compte depuis de nombreuses années parmi les références internationales du secteur aéronautique et spatial, comme l'attestent le niveau et la diversité des carrières et des postes atteints par les ingénieurs qui en sont issus. Cette notoriété est également illustrée par la qualité et la sélectivité du réseau des universités avec lesquelles elle entretient des échanges actifs d'étudiants, réseau comprenant la quasi-totalité des meilleures formations aérospatiales européennes et américaines. Bénéficiant d'un environnement scientifique et industriel exceptionnel, elle se retrouve ainsi tout naturellement au cœur du pôle Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués (AESE), l'un des huit pôles de compétitivité de niveau mondial labellisés par le gouvernement français en 2005.

L'ingénieur SUPAERO s'appuie sur un large spectre scientifique, lui permettant aussi bien de travailler sur les systèmes complexes et les interfaces entre disciplines, qui sont au cœur même des grandes innovations et des métiers aérospatiaux, que de rayonner dans les autres secteurs de l'économie à forte composante technologique : 50% des jeunes diplômés choisissent ainsi de s'orienter en premier poste vers l'automobile, les transports, le conseil, l'informatique, les communications, mais aussi la finance ou l'audit.

Il doit également pouvoir choisir d'approfondir sa maîtrise d'un champ particulier. La complexité et la variété des défis auxquels est confrontée l'industrie aérospatiale l'a conduite, parmi les premières, à redonner une place de choix aux profils experts ; dans plusieurs domaines, les bureaux d'études et les unités de R&D des grandes entreprises comptent désormais une proportion importante d'ingénieurs titulaires d'un doctorat. SUPAERO a délivré près de 600 doctorats depuis trois décennies, en s'appuyant notamment sur le centre de Toulouse de l'ONERA, dont les installations comptent parmi les plus performantes au monde, mais aussi sur un riche tissu de collaborations avec les universités et centres de recherche du pôle toulousain.

Il est donc logique que le profil de formation de la dernière année du cycle ingénieur combine un domaine transversal et un approfondissement scientifique. Cette combinaison vise à répondre à des profils de formation nécessaires dans les industries de haute technologie où l'on demande aux ingénieurs de haut niveau de combiner expertise et polyvalence. Il est apparu que s'il était nécessaire d'asseoir une spécialisation sur un solide tronc commun généraliste scientifique et technique, ce schéma pouvait être amélioré pour permettre aux ingénieurs concernés une évolution rapide et des possibilités de choix de carrière accrues.

Les derniers mois du cycle ingénieur sont consacrés à un stage de projet de fin d'études. Un grand nombre d'élèves de dernière année choisissent de l'effectuer dans une entreprise du bassin aérospatial toulousain ou de la région parisienne, mais il est également possible de le réaliser à l'étranger pour ceux qui souhaitent renforcer la composante internationale de leur formation.

### Présentation du domaine

- Qu'est ce qu'un domaine ?

Le domaine est l'ensemble des disciplines, et de leurs relations imbriquées, nécessaires à la réalisation de projets et d'applications dans un secteur industriel et un environnement donnés.

Le domaine se réfère à une structure indissociable d'enseignements, dispensés conjointement au tronc commun de troisième année composé de langues et de management et à l'approfondissement dans une ou plusieurs disciplines.

La liste des domaines et des professeurs responsables est :

Code	Nom de domaine	Professeur Responsable
SAE	Systèmes Aéronautiques	Y. Gourinat
SEM	Systèmes Embarqués	J.-C. Chaudemar
SEN	Systèmes énergétiques	G. Lavergne

Tous nos domaines sont associés à une dénomination de « système ». Il convient d'éclaircir la relation entre domaine et système et examiner pourquoi le domaine est au cœur d'une partie importante de l'enseignement de la troisième année.

- Préciser le secteur industriel de référence

Les organisations d'un secteur industriel sont constituées de systèmes de production complémentaires, concurrents, parfois antagonistes répartis dans des départements ou services aux fonctions différentes. Ces systèmes peuvent être étudiés sous plusieurs angles, celui du concepteur, celui du réalisateur, celui du gestionnaire.

L'objectif de l'approche systémique des fonctions de production industrielles est de faciliter l'insertion des élèves par une employabilité plus rapidement opérationnelle. En effet, cette approche a pour objet de montrer les relations et interactions des différents acteurs dans leurs mécanismes de coordination.

Il est donc nécessaire dans la présentation de chaque domaine de replacer le système dans son secteur industriel de référence qui doit être cité précisément. La prise en compte des résultats récents de la recherche finalisée et des plans prospectifs des industriels et des agences permettra d'anticiper les tendances futures et de corriger une vision à trop court terme.

- Le périmètre scientifique et les pré requis

Une fois le domaine et son objet identifiés, il est relativement facile de dessiner le périmètre scientifique concerné. Il faut éviter le double écueil de voir trop large (« tout est dans tout ») et de se concentrer sur une discipline de référence au risque de confondre domaine « système » et approfondissement disciplinaire. Il est important aussi de commencer par citer le périmètre disciplinaire avant de mentionner les pré requis.

Les pré requis d'un domaine doivent en principe se trouver dans le tronc commun scientifique et technique. Si des pré requis jugés indispensables pour atteindre la compréhension minimale du domaine ne figurent pas dans le Tronc Commun, ils seront introduits rapidement afin d'atteindre les objectifs de formation du domaine.

- Composition du domaine

Le domaine est constitué de 160 heures de cours, petites classes, TP et autres activités programmées obligatoires hors conférences industrielles communes qui s'ajoutent à 150 heures de tronc commun (90 heures de Langues Vivantes et 60 heures de management) et 240 heures pour l'approfondissement, soit un total de 550 heures programmées pour deux trimestres.

Le domaine comprend nécessairement :

- des cours portant sur la définition et le fonctionnement des systèmes de référence
- des cours et des bureaux d'étude de conception des systèmes de référence
- des cours portant sur la sûreté de fonctionnement et sur l'optimisation appliquées aux systèmes de référence

Il comprend généralement certains cours prolongeant les disciplines du périmètre disciplinaire et les appliquant aux systèmes de référence.

Il comprend exceptionnellement et de façon limitée des cours disciplinaires indispensables à la simple compréhension des cours précédents et qui ne pourraient trouver leur place dans le Tronc Commun Scientifique et Technique des deux premières Années.

### **Présentation de l'approfondissement**

- Principes généraux

La pluridisciplinarité et l'approche Système de l'approfondissement pourraient conduire à négliger l'expertise scientifique et technique. Ceci serait une grave erreur. Les industriels du Conseil de la formation tout en encourageant l'approche Système nous mettent en garde contre l'abandon de l'excellence scientifique. De nos jours, celle-ci ne peut s'exercer à la fois dans trop de domaines. D'autre part, le volume d'un cours de vingt heures ne suffit pas à une avancée significative vers l'expertise à partir du contenu du Tronc Commun Scientifique et Technique. Enfin, l'ambition est de donner à tous ses étudiants à la fois une formation à l'approche système d'un domaine industriel et une formation à l'expertise dans un domaine technique.

Pour cette raison, il est prévu un approfondissement disciplinaire important sur le plan de l'horaire et ciblé sur un champ disciplinaire assez précis. Généralement, ce champ disciplinaire est lié à un ou plusieurs Mastères Recherche (M2R) auquel l'Ecole est cohabilitée et l'étudiant peut obtenir le diplôme de Mastère parallèlement à sa formation d'ingénieur moyennant un travail supplémentaire. Cela permet à un nombre important d'ingénieurs SUPAERO de recevoir une initiation substantielle à la Recherche et à quelques-uns de poursuivre en thèse cette formation.

La pluridisciplinarité nécessaire sera favorisée en jouant sur le principe de complémentarité entre l'approfondissement et la majeure de seconde année.

- Modalités générales de construction des approfondissements

- Durée : 240 heures

- Ouverture sur le maximum de domaines utilisant effectivement la discipline
  - Cours de base dans la discipline en approfondissement du tronc commun
  - Cours avancés dans la discipline
  - BE ou projets d'application
  - Retour en application de la discipline vers le domaine
- Liste des approfondissements et des professeurs responsables

Code Nom de l'approfondissement Responsable de la conception

AE Aérodynamique A. Bonnet

AU Automatique F. Dehais

IM Imagerie E. Zenou

IN Systèmes Informatiques C. Garion

IF Ingénierie Financière L. Germain

GI Génie industriel A. Hait

AS Architecture Mécanique et Thermique des véhicules spatiaux D. Mimoun

PR Propulsion J. Gressier

PS Physique spatiale J.-C. Mollier

ST Structures J. Morlier

TN Télécommunications, Navigation M. Bousquet

### Parcours de formation et projet professionnel

Le profil de formation présenté dans ce projet combine donc en troisième année un domaine transversal et un approfondissement scientifique. Cette combinaison vise à répondre à des profils de formation nécessaires dans les industries de haute technologie où on demande aux ingénieurs de haut niveau de combiner expertise et polyvalence. Il est apparu qu'asseoir une spécialisation sur un solide tronc commun généraliste scientifique et technique était nécessaire mais pouvait être amélioré pour permettre aux ingénieurs concernés une évolution rapide et des possibilités de choix de carrière accrues.

Dans cette logique, l'étudiant ne choisit ses cours ni dans un menu à la carte qui rendra difficile l'acquisition d'une expertise par manque de pré requis d'un cours à l'autre ni dans le cadre d'une spécialisation exclusive. Il construit un parcours de formation cohérent avec un projet professionnel. L'architecture domaine -approfondissement rend possible beaucoup plus de parcours qu'une architecture en arbre qui aboutirait à une séparation disciplinaire. Évidemment, certains parcours sont plus utilisés que d'autres et il est de la responsabilité de l'École de conforter les débouchés des étudiants en soulignant ces parcours dans l'orientation des étudiants. Presque aucun choix n'est interdit a priori, certains sont plus naturels (ou plus classiques), d'autres doivent être expliqués par l'étudiant candidat pour être validés.

Le tableau suivant montre les combinaisons les plus classiques (○), les itinéraires correspondant à des projets moins classiques mais cohérents et répondant à des besoins industriels identifiés (Δ), enfin des itinéraires moins cohérents dont la justification doit être apportée par un projet personnel particulier (□) (par exemple orientation de recherche, étude complémentaire)

		Systèmes Aéronautiques	Systèmes Embarquées	Systèmes Energétiques	Systèmes d'Information et de Décision	Système Spatial
<b>Code Appro</b>	<b>Code Domaine</b>	<b>SAE</b>	<b>SEM</b>	<b>SEN</b>	<b>SID</b>	<b>SSP</b>
<b>AE</b>	Aérodynamique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>AU</b>	Automatique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>IM</b>	Imagerie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>IN</b>	Systèmes Informatiques	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>IF</b>	Ingénierie Financière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
<b>GI</b>	Logistique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
<b>AS</b>	Architecture Mécanique et Thermique des véhicules spatiaux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
<b>PR</b>	Propulsion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>PS</b>	Physique spatiale	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
<b>ST</b>	Structures	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
<b>TN</b>	Télécommunications, Navigation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La troisième année comprend également, pour les élèves de toutes les filières, des cours d'anglais et d'une autre langue vivante, trois séries de cours et de séminaires traitant d'économie et de management en contexte international, ainsi qu'un cycle de conférences.

La scolarité s'achève par un stage d'une durée minimale de trois mois et maximale de six mois, le projet de fin d'études (PFE). Ce projet se déroule le plus souvent en milieu industriel. Chaque stage de PFE est suivi par un responsable de stage dans l'entreprise ou le laboratoire d'accueil et par un responsable académique. Le stage s'achève par la rédaction d'un rapport et une soutenance devant une commission. Les soutenances relevant d'une même thématique disciplinaire sont, dans la mesure du possible, regroupées en sessions (fin août  début septembre).

Pour les étudiants qui suivent une seconde année de master recherche en parallèle de la troisième année, le projet de fin d'études se confond le plus souvent avec le stage de master.

Les ingénieurs de l'armement (issus ou non de l'École polytechnique) qui suivent leur formation à SUPAERO effectuent un PFE long de neuf mois.

Les élèves de troisième année ont également la possibilité de suivre, après sélection et en parallèle de leur cursus

d'ingénieur, la formation de DESIA, Diplôme d'Études Supérieures en Ingénierie des Affaires.

## **Masters 2 Recherche**

Les étudiants de troisième année du cycle ingénieur ont la possibilité de demander leur inscription et de suivre les cours de l'un des Masters Recherche (M2R) suivants auxquels l'ISAE est co-habituée. L'obtention d'un Master Recherche ouvre la possibilité de passer un doctorat en trois ans. L'ISAE dispose de laboratoires de recherches propres ou en association avec des partenaires et en premier lieu avec l'Office National de Recherche Aéronautiques (ONERA). C'est une des Écoles d'ingénieurs françaises habilitée à délivrer le doctorat sous son sceau propre.

L'ISAE est habilitée, à compter de l'année 2007-2008, à délivrer le master recherche, conjointement avec les établissements partenaires du site toulousain, dans 9 spécialités regroupées dans 6 mentions, elles-mêmes contenues dans le domaine "Sciences, Technologie, Santé".

Mention électronique, électrotechnique, automatique

4 spécialités :

- micro et nano systèmes (MNS)
- micro-ondes, électromagnétisme et optoélectronique (MEMO)
- signal, image, acoustique et optimisation (SIAO)
- systèmes automatiques, informatiques et décisionnels (SAID)

- Mention informatique - 1 spécialité :

- informatique et télécommunication (IT)

Mention mathématiques et applications - 1 spécialité :

- mathématiques appliquées (MA)

Mention génie mécanique, génie civil, génie de l'habitat - 1 spécialité :

- génie mécanique (GM)

Mention mécanique, énergétique et procédés - 1 spécialité :

- dynamique des fluides, énergétique et transferts (DET)

Mention physique et astrophysique - 1 spécialité :

- astrophysique, sciences de l'espace et planétologie (ASEP)

## **Les conférences d'entreprises**

Les étudiants de la formation SUPAERO ont de multiples occasions de découvrir les entreprises, notamment à travers l'enseignement grâce à l'intervention de nombreux vacataires venus de l'industrie et des services. Afin de mieux préparer les élèves à affiner leurs choix d'enseignement et à construire leur projet professionnel, des interventions plus spécifiques sont également organisées. Les entreprises présentent leurs activités, les opportunités offertes aux jeunes diplômés et les stages. Au-delà des informations générales, ces interventions associent la plupart du temps des jeunes diplômés qui témoignent de leurs débuts dans la vie professionnelle et peuvent aborder de façon très concrète les différents aspects de leur métier. Les jeunes anciens interviennent également lors de présentations destinées à orienter les élèves dans leurs choix de majeures ou de domaine et approfondissement de troisième année.

Les conférences sont souvent suivies d'entretiens de recrutement pour les stages ou de simulations d'entretien. Ces interventions sur site sont très précieuses pour les étudiants et sont une aide efficace pour préparer leur recherche de stage ou d'emploi, en leur permettant de mieux comprendre les attentes des recruteurs et d'aborder les techniques d'entretien.

L'organisation des conférences est assurée par le service stages et carrières en partenariat avec le bureau des élèves (notamment son chargé des relations avec les entreprises) ainsi qu'avec l'association des anciens élèves qui apporte un indispensable soutien à l'institut. Le calendrier des conférences tente de concilier les sollicitations des entreprises, les attentes des étudiants et les possibilités offertes par l'emploi du temps.

## Conditions de validation

---

Les critères de suffisance portent sur les notes attribuées après rattrapage. Ils restent valables après examen de rappel éventuel.

Les critères de suffisance conduisant à la validation de la troisième année d'études sont les suivants :

- aucune note R (refus de noter) ;
- aucune note de module inférieure à la « barre minimale » de 8/20 (ce critère démontre l'absence de lacune rédhibitoire dans l'une des matières du cursus), barre servant également de seuil pour les crédits ECTS ;
- moyenne générale de l'année supérieure ou égale à 12/20 (ce critère démontre le niveau global de l'étudiant, en tenant compte en particulier de ses points forts) ;
- moyenne supérieure ou égale à 12 pour le domaine et pour l'approfondissement ;
- mention « satisfaisant » au projet de fin d'études.

## Harmonisation

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU401	Harmonisation automatique	25	0
DV401	Harmonisation mécanique du vol	12.5	0

## Tronc commun

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
EG301	Les nouveaux enjeux de l'économie	20	1
EG302	Séminaires de management	20	0
EG303	Préparation à la recherche d'emploi	20	0
EG300	Stratégie d'entreprise	20	1
LV300	Langue vivante 1	47.5	2
LV301	Langue vivante 2	47.5h	1
PFE	Projet de fin d'études	0	25

## Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU310	Avionique	16.25	1
DV310	Stratégie de développement des avions civils	20	1.5
DV311	Conception hélicoptères	20	1.5
DV312	Aérodynamiques des avions subsoniques	22.5	1.5
GI310	Optimisation des systèmes	20	1.5
GI312	Exploitation aéronautique	10	1
IS311	Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement	20	1.5
PE310	Motorisation des aéronefs	18.75	1.5
SM310	Aéro-élasticité	15	1

## Domaine Systèmes embarqués (SEM)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU311	Opération et supervision	20	1.5
AU312	Systèmes embarqués « avioniques »	21.25	1.5
AU313	Application robotique dronique	10	0.5
AU314	Ingénierie des systèmes embarqués	10	1
ET310	Contraintes et intégration	25	1.5
GI313	Optimisation pour les systèmes embarqués	21.25	1.5
GI314	Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques	21.25	1.5
IN310	Modèles de systèmes embarqués : Modèles discrets, modèles hybrides	20	1.5
IN311	Simulation et co-simulation matérielle/logicielle	20	1.5

## Domaine Systèmes Énergétiques (SEN)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
GI310	Optimisation des systèmes	20	1.5
IS311	Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement	20	1.5
PE311	Thermodynamique appliquée aux turbomachines : Cycles et performances	20	1.5
PE312	Essais globaux et partiels sur turbomachines et moteurs fusées	20	1.5
PE313	Intégration des systèmes de propulsion	10	1
PE314	Système moteur à pistons	30	2
PE315	Énergie et environnement	10	0.5
PE316	Énergie Nucléaire, pile à combustible	20	1.5
PE317	Mécatronique	10	1

## Domaine Système d'Information et de Décision (SID)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
GI316	Optimisation	38.75	3
GI317	Méthodes et outils pour la décision	37.5	3
GI318	Choix d'investissement	17.5	1.5
GI319	Systèmes d'entreprise et systèmes d'information	15	0
IN306	Bases de données	18.75	1.5
IN307	Architecture des systèmes distribués	16.25	1.5
IS310	Sûreté de fonctionnement	21.25	1.5

## Domaine Systèmes Spatiaux (SSP)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
GI315	Optimisation combinatoire	25	1.5
IS311	Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement	20	1.5
IS312	Systèmes spatiaux	16.25	1
IS313	Environnement spatial et effets	13.75	1
IS314	Dynamique et commande d'attitude	10	1
IS315	Analyse mission et mécanique spatiale	18	1.5
IS316	Imagerie spatiale	20	1.5
IS317	Aspects juridiques et économiques	11.25	0.5
IS318	Télécommunications spatiales	20	1.5
IS319	Conception des satellites	10	1

## Approfondissement Aérodynamique (AE)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE320	Aérodynamique in stationnaire	27.5	2
AE321	Aérodynamique supersonique, entrée d'air et tuyère	20	1.5
AE322	Turbulence et couche limite	20	1.5
AE323	Flux de chaleur et traînée de frottement	20	1.5
AE324	Aérodynamique numérique	20	1.5
AE325	Aérodynamique de l'hélice	20	1.5
AE326	Aérodynamique des missiles	20	1.5
AE327	Aérodynamique de l'automobile	12.5	1
AE328	Projet de synthèse	20	1.5
AE329	Aérodynamique hypersonique	15	1
AE330	Aérodynamique avancée de l'avion	15	1
PE422	Aéroacoustique	20	1.5
PE430	Machines axiales	10	1

## Approfondissement architecture mécanique et thermique des véhicules spatiaux (AS)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE340	Aérodynamique des lanceurs	20	1.5
AE341	Aérothermodynamique des véhicules spatiaux	40	3
IS320	Conception lanceurs	20	1.5
IS321	Ingénierie satellite	20	1.5
IS322	Structures des lanceurs et véhicules spatiaux	40	3
IS323	Propulsion spatiale	20	1.5
IS324	Propulsion électrique	20	1.5
IS325	Contrôle thermique des véhicules spatiaux	20	1.5
IS327	Projet long	40	3

## Approfondissement Automatique (AU)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU320	Signal : traitement et filtrage	21.25	1.5
AU321	Conduite, décision et facteurs humains	20	1.5
AU322	Informatique de commande temps réel et commande numérique	31.25	2
AU323	Outils pour l'automatique	10	0.5
AU324	Identification	20	1.5
AU325	Commande modale et optimale	31.25	2
AU326	Analyse de la robustesse et commande robuste	21.25	1.5
AU327	Analyse et commande des systèmes non linéaires	21.25	1.5
AU328	Synthèse d'un pilote automatique d'avion	10	0.75
AU329	Pilotage et guidage de drones	10	0.75
AU330	Commande active des structures flexibles	10	0.75
AU332	Réseaux neuronaux et neuroflous pour la modélisation et la commande	10	0.75
GI340	Systèmes à évènements discrets	20	1.5
IS340	Pilotage et guidage des satellites	10	0.75
IS341	Guidage et pilotage des engins balistiques et lanceurs	10	0.75

## Approfondissement génie industriel (GI)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
GI321	Modélisation et simulation des systèmes productifs	51.25	3.5
GI322	Organisation et gestion de la production	35	2.5
GI323	Logistique industrielle	21.25	1.5
GI324	Mise en place d'un système d'information	20	1.5
GI325	Management de la qualité	21.25	1.5
GI326	Pilotage des coûts	16.25	1
GI327	Management des programmes	26.25	2
GI328	Achats / Méthodes de négociation	23.75	1.5
IS343	Ingénierie du besoin	22.5	1.5
MA341	Statistiques industrielles	18.75	1.5

## Approfondissement Ingénierie Financière (IF)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
MA420	Calcul stochastique pour la finance	40	2.5
MA421	Évaluation et couverture des produits dérivés	25	2
MA422	Résolution numérique des E.D.P pour la finance	20	1.5
MA423	Apprentissage et applications financières	21.25	1.5
MA424	Maîtrise des risques financiers	12.5	1.5
MA425	Microstructure des marchés financiers	20	1.5
MA426	Économétrie des séries temporelles	10	0.5
MA427	Modèles ARCH en finance	12.5	0.5
MA428	Statistique des processus en finance	21.25	1.5
MA429	Principes de finance de l'entreprise	30	2.5
MA430	Gestion du risque de taux d'intérêt	20	1.5
MA431	Fusions et acquisitions - risques financiers	10	1

## Approfondissement Imagerie (IM)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
ET342	Capteurs radar	20	1.5
ET343	Capteurs image	10	0.5
MA321	Optimisation stochastique	10	1
MA322	Analyse multi-résolution	20	2
MA323	Traitement d'images	20	1.5
MA324	Techniques avancées en imagerie spatiale	40	3
MA325	Analyse de données	20	1.5
MA326	Apprentissage et reconnaissance des formes	20	1.5
MA327	Méthodes variationnelles	12.5	1
MA328	Télédétection	20	1.5
MA329	Applications cartographiques	10	0.5
MA330	Stéréovision et calibrage	20	1.5
MA331	Systèmes d'information géographique	10	0.5
MA333	Océanographie	10	0.5

## Approfondissement Systèmes Informatiques (IN)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AU340	Informatique temps réel et synthèse d'une loi de commande numérique	20	1.5
IN320	Métadonnées et XML	31.25	2.5
IN321	Architecture des calculateurs et réseaux	11.25	0.5
IN322	Validation des systèmes informatiques	30	2.5
IN323	Informatique parallèle et répartie	11.25	0.5
IN325	Programmation logique et applications à l'intelligence artificielle	20	1.5
IN326	Projet	20	1.5
IN327	Sécurité informatique	20	1.5
IN328	Programmation distribuée avec Java et J2EE	20	1.5
IN329	Système d'exploitation	20	1.5
IN330	Systèmes informatiques embarqués : architecture	20	1.5
IN331	Génie logiciel	10	0.5
IN332	Réseaux et liaisons informatiques embarqués	20	1.5
IN333	Génie logiciel et langages temps réel	32.5	2.5
MA325	Analyse de données	20	1.5

## Approfondissement Propulsion (PR)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
PE420	Aérothermique	30	2
PE421	Écoulement diphasique et combustion	30	2.5
PE422	Aéroacoustique	20	1.5
PE423	Aérodynamique des turbomachines	30	2
PE424	Structures des machines en rotation	20	1.5
PE425	Matériaux moteur	10	1
PE426	Régulation des turbomachines	20	1.5
PE427	Propulsion chimique	30	2
PE428	CFD	10	1
PE429	Projet long moteur	40	3

## Approfondissement Physique Spatiale (PS)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
MA321	Optimisation stochastique	10	1
MA323	Traitement d'images	20	1.5
MA324	Techniques avancées en imagerie spatiale	40	3
PH320	Gravitation	15	1
PH321	Dynamique des fluides astrophysique	15	1
PH322	Physique des plasmas	15	1
PH324	Mini projet	40	3
PH325	Optique pour l'environnement	20	1.5
PH326	Imagerie aéroportée	15	1
PH327	Physique des systèmes imageurs	13.75	1.5
PH328	Communications optiques	22.5	1.5
PH329	Imagerie THz	12.5	1

## Approfondissement Structures (ST)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AE323	Flux de chaleur et traînée de frottement	20	1.5
SM320	Dynamique avancée des structures	21.25	1.5
SM321	Calcul de structures par éléments finis	42.5	3.5
SM322	Matériaux structuraux, matériaux composites	21.25	1.5
SM323	Matériaux spéciaux	20	1.5
SM324	Charges avion	21.25	1.5
SM325	Structure des aéronefs	40	2
SM326	Structures des satellites	30	2.5
SM327	Technologie des missiles	18.75	1.5

## Approfondissement Télécommunications, Navigation (TN)

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
ET421	Traitement du signal	20	1.5
ET422	Architectures de traitement numérique	15	1
ET423	Communications numériques	20	1.5
ET424	Réseau et protocoles de communication	22.5	2
ET425	Liaisons radiofréquences et Propagation	21.25	1.5
ET426	Systèmes de Communications spatiales	20	1.5
ET427	Systèmes de positionnement par satellite	20	1.5
ET428	Projet	10	1
ET430	Conception et intégration de systèmes numériques	21.25	1.5
ET431	Récepteurs numériques de télécommunications	10	0.5
ET432	Récepteurs de navigation et hybridation	21.25	1.5
ET433	Outils de dimensionnement et de simulations des réseaux	10	0.5
ET434	Réseaux de communication par satellites	22.5	2
ET435	Communications multimédia	10	0.5

## Modules facultatifs

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
AC902	Atelier du regard	30	1.5
AC903	Atelier d'arts plastiques	60	1.5
AC904	Bistrot littéraire : atelier d'écriture	60	1.5
AC905	Atelier théâtre	50	1.5
AC906	Atelier des arts du cirque	60	1.5
AC907	Atelier musique	60	1.5
AE901	Atelier aéromodélisme et micro-drone	0	1
GI901	Basics of supply chain managment	24	0
LV900- LV909	Langue vivante 3 et 4	50	1
SM901	Concevoir et produire	24	1

# Harmonisation

## Harmonisation automatique

---

**AU401**

**Responsable du module :** Daniel ALAZARD

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Daniel ALAZARD

**Ects:** 0

**Descriptif**

## Harmonisation mécanique du vol

---

**DV401**

**Responsable du module :** Christian COLONGO

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Christian COLONGO

**Ects:** 0

**Descriptif**

# Tronc commun

---

## Les nouveaux enjeux de l'économie

EG301

Responsable du module : Pierre JEANBLANC

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre JEANBLANC

Ects: 1

### Descriptif

L'objet de cet enseignement est de présenter aux étudiants les nouvelles contraintes environnementales qui contingentent le processus de décision de firmes. Celle-ci gravitent autour du concept de développement durable. Ce cours s'attachera à montrer l'interdépendance entre les processus économiques, sociétaux et écologiques et ainsi la véritable portée du développement durable.

Ce cours montrera les enjeux d'une nouvelle vision de la croissance au travers des principaux modèles d'analyse développés par les économistes, notamment celui du capital de durabilité. Ceci pourra tout autant constituer des opportunités d'expansion pour les firmes que des contraintes de rentabilité.

Il montrera par la suite les enjeux d'un commerce équitable, la responsabilité sociale de la firme, l'évolution du marché de l'eau et de l'énergie, le rôle et le poids des ONG ainsi que des institutions financières internationales.

---

## Séminaires de management

EG302

Responsable du module : Pierre JEANBLANC

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre JEANBLANC

Ects: 0

### Descriptif

L'entreprise évolue dans un environnement global - c'est-à-dire politique et géopolitique, économique (notamment, monétaire, financier, international, technologique,...), juridique et social - qui conditionne son comportement

L'objet de ces séminaires est double :

D'une part, informer. À ce titre, ils constitueront une base documentaire très large sur la présentation et l'analyse des principales règles du jeu qui déterminent les choix et le niveau de performance des entreprises françaises, au sein de chacun de ces environnements spécifiques.

D'autre part, former à la réflexion managériale. À ce titre, un ensemble d'outils d'analyse, de prévision et de diagnostic seront présentés de façon à permettre aux élèves de comprendre et d'interpréter, par eux-mêmes, le fonctionnement de chacun de ces environnements spécifiques ainsi que la façon dont il agit sur le processus décisionnel de la firme, soit directement, soit indirectement par le biais de son interaction sur les autres environnements spécifiques de la firme.

Les élèves pourront faire le choix entre plusieurs séminaires de celui qui répondra le mieux à ses attentes, en termes d'apprentissage ou de projet professionnel.

---

## Préparation à la recherche d'emploi

EG303

Responsable du module : L. BARRIÉ

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Dominique SERIO

Ects: 0

### Descriptif

Donner les outils qui permettent d'optimiser la recherche de chacun selon trois axes.

1 - Faire un bilan pour déterminer son projet professionnel

- \* déterminer ses atouts personnels
- \* mettre à jour ses systèmes de valeur
- \* identifier ses connaissances et savoir-faire

2 - Analyse du marché de l'emploi

- \* le marché actuel
- \* réfléchir à une stratégie marketing
- \* bâtir un argumentaire.

3 - Plan d'action

- \* lecture et réponse aux annonces
- \* rédiger des candidatures spontanées
- \* l'entretien d'embauche
- \* analyser la presse, exploiter les divers réseaux.

Cet enseignement se fera à partir d'un enseignement classique à toute la promotion puis sur des suivis individuels (bilan personnel, analyse des CV et lettres de motivation) et des simulations d'entretiens d'embauche.

---

## Stratégie d'entreprise

EG300

Responsable du module : Pierre JEANBLANC

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Pierre JEANBLANC

Ects: 1

### Descriptif

Création de richesse, concurrence, mondialisation, délocalisation, restructuration, productivité, innovation, hyper compétition, ... constituent les mots clés de notre système économique.

L'objectif de ce cours est de présenter les fondements économiques de la démarche stratégique afin de permettre une meilleure compréhension des logiques économiques, technologiques et sociales des entreprises. A partir de logiques économiques qui déterminent largement le comportement des firmes, ce cours présentera les différents paradigmes autour desquels se construiront les choix stratégiques des firmes.

Le cours s'attachera à expliquer que la mission de création de richesse actionnariale de la firme conduira la firme à prendre le contrôle du marché, que la construction de cette position concurrentielle s'appuiera sur l'élaboration d'un modèle économique valorisant un avantage concurrentiel.

Ce cours analysera ensuite la logique que doit respecter la firme pour développer sa stratégie de la valeur. Ceci permettra de comprendre le principe de l'analyse de l'industrie et du diagnostic par activité. La présentation de la logique du processus de croissance de la firme permettra d'aborder le principe de l'analyse de portefeuille.

---

## Langue vivante 1

LV300

Responsable du module : Jean-claude JACQUES

Volume horaire: 47.5

Correspondant ISAE : Jean-claude JACQUES

Ects: 2

### Descriptif

L'anglais est la langue généralement utilisée dans un environnement scientifique, technique ou des affaires. On demande donc aux élèves d'acquérir des connaissances solides dans cette langue. Le contenu de ce cours obligatoire est varié et en 3ème année, les élèves sont spécialement entraînés à la présentation technique et doivent faire leur présentation de fin d'année devant un public qui comporte des spécialistes. Les élèves qui n'ont pas réussi à obtenir un score de 550 points au TOEFL institutionnel en deuxième année (ou score équivalent d'un examen international similaire) doivent le repasser pour obtenir leur diplôme.

---

## Langue vivante 2

LV301

Responsable du module : Jean-claude JACQUES

Volume horaire: 47.5h

Correspondant ISAE : Jean-claude JACQUES

Ects: 1

### Descriptif

Une seconde langue est un outil de communication supplémentaire indispensable et un atout précieux pour une bonne interaction sociale et culturelle. Une deuxième langue vivante est donc obligatoire pour tous les élèves de la formation SUPAERO, qui peuvent choisir parmi l'allemand, l'arabe, le chinois, l'espagnol, le français, l'italien, le japonais, le portugais et le russe. Les élèves obtiennent une note en fonction de leur participation, de leur production orale et écrite et des progrès effectués dans l'année. Il n'est pas autorisé de commencer l'étude d'une langue en troisième année; cela n'est possible qu'en 1ère et 2ème années.

---

## Projet de fin d'études

PFE

Responsable du module : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Volume horaire: 0

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 25

### Descriptif

Première expérience dans le milieu industriel pour la plupart des cas ou dans un laboratoire de recherche, le Projet de Fin d'Études permet à l'étudiant d'acquérir une culture d'entreprise dans les conditions d'un premier emploi. Au cours de ce projet l'étudiant doit utiliser et adapter les connaissances acquises au cours de la scolarité pour proposer et défendre des solutions innovantes pour l'entreprise. Ce projet d'une durée de 3 à 6 mois s'achève par la rédaction d'un rapport technique, d'un document de synthèse et d'une soutenance orale devant un jury.

# Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE)

- Présentation du domaine

Cette formation vise la conception générale des aéronefs : architecture et conception avions, processus de conception hélicoptères. En termes d'itinéraires de formation, ce domaine - transverse par nature - est ouvert à la plupart des approfondissements.

- Débouchés du domaine

Les débouchés correspondants peuvent être présentés comme suit :

- Les itinéraires, SAE/AE et SAE/ST, qui ont fait leurs preuves depuis des années, mènent aux métiers de conception structure, aérodynamique et calcul en avant-projet en bureaux d'étude et certification des aéronefs  
- Les itinéraires SAE/AU et SAE/SI permettent de former des ingénieurs ayant une compétence dans les domaines de la mécanique du vol, des commandes de vol, des performances et des équipements avioniques.

La formation dispensée permet l'évolution vers le métier de chef de projet avion et d'ingénieurs capables d'évolutions rapides et appelés à exercer différents métiers dans le domaine de la conception avion.

---

## Avionique

**AU310**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR, M BOITREL.

**Volume horaire:** 16.25

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 1

### Descriptif

Répondant à des besoins opérationnels de plus en plus forts, l'avionique permet de mettre en œuvre des fonctions de navigation, de pilotage et de guidage pour la conduite d'avion. Le contenu de ce module porte sur les systèmes avioniques intégrés à bord des avions modernes ou qui seront intégrés dans les programmes futurs.

---

## Stratégie de développement des avions civils

**DV310**

**Responsable du module :** Georges VILLE

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jean-Luc BOIFFIER

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Le cours a pour objet la présentation des spécificités de la construction aéronautique civile et la justification de la situation de duo pôle Airbus-BOEING :

- L'activité aéronautique civile depuis 1952 (trafic, transport et flotte)
- Les difficiles compromis techniques pour la définition du produit
- La gestion industrielle, commerciale et financière d'une activité en compétition mondiale.

---

## Conception hélicoptères

**DV311**

**Responsable du module :** Samuel LEYDER

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Le but de cet enseignement est de familiariser les élèves avec les problèmes spécifiques aux voilures tournantes et aux hélicoptères notamment. Il présente l'analyse des problèmes essentiels que l'on peut rencontrer lors de l'étude et de la réalisation d'hélicoptères. Après une présentation des différentes formules de voilures tournantes et des problèmes spécifiques rencontrés, on abordera successivement les aspects suivants :

\* Généralités : aérodynamique du rotor, modes de fonctionnement, étude du vol vertical, vol stationnaire et vol de descente.

\* Performances : calcul des puissances nécessaires et disponibles, bilan de puissance, principales performances, principales limitations.

\* Mécanique du vol : caractéristiques de fonctionnement du rotor, équation de battement, notion de foyer, équilibres, stabilité statique et dynamique, normes relatives aux qualités de vol, principales limitations.

\* Mécanique du rotor : origine et rôle des articulations, étude des mouvements de la pale, équation de traînée, principales architectures et technologies des moyeux rotors.

\* Systèmes embarqués : amélioration des fonctions de base de l'hélicoptère, systèmes de mission sur hélicoptères, systèmes de conduite du vol, contrôle actif généralisé.

---

## **Aérodynamiques des avions subsoniques**

**DV312**

**Responsable du module :** O. ATINAULT

**Volume horaire:** 22.5

**Correspondant ISAE :** Christian COLONGO

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'objectif est de montrer comment à partir d'une définition des besoins, les différentes disciplines amont concourant à concevoir un avion sont mises en œuvre et interagissent. Enfin, on insiste sur les contraintes imposées par la nécessité de fournir un produit certifiable.

---

## **Optimisation des systèmes**

**GI310**

**Responsable du module :** G. VERFAILLIE

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Alain HAIT

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'objectif de ce module est de passer en revue les principales méthodes d'optimisation utilisées dans la conception des véhicules aéronautiques. On montrera comment les algorithmes de programmation linéaire et non linéaire contrainte sont utilisés dans des problèmes d'optimisation multidisciplinaires.

Les techniques d'optimisation discrètes seront ensuite abordées et on montrera comment elles sont utilisées dans les projets de conception.

---

## **Exploitation aéronautique**

**GI312**

**Responsable du module :** O FERRANT.

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Alain HAIT

**Ects:** 1

### **Descriptif**

Présentation de la gestion d'un programme dans le domaine aéronautique.

Illustration avec le programme Falcon 7X de Dassault Aviation.

Vie de l'avion : exploitation d'une flotte d'aéronefs, organisation d'une station-service, maintenance.

---

## **Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement**

**IS311**

**Responsable du module :** Jean François GAJEWSKI

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Stéphanie LIZY-DESTREZ

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

La maîtrise des risques techniques, objet de la sûreté de fonctionnement, est devenue un véritable outil de management que s'approprient les partenaires d'une équipe projet.

Le but de ce module est de présenter une synthèse des techniques d'ingénierie de sûreté de fonctionnement, mises en œuvre dans les industries de pointe que sont le spatial, l'aéronautique ou le nucléaire. Le module s'appuie de façon intensive et volontariste sur des exemples concrets. Un cas d'étude est proposé, qui permet l'application des différentes techniques sûreté de fonctionnement en fonction du cycle de vie du système.

---

## **Motorisation des aéronefs**

**PE310**

**Responsable du module :** Jérémie GRESSIER

**Volume horaire:** 18.75

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Il s'agit de comparer les différents types de moteurs utilisés sur avion : réacteur, turbopropulseur, moteur à piston du point de vue performances en vol et intégration sur avion

**Responsable du module :** A. LAPORTE**Volume horaire:** 15**Correspondant ISAE :** Joseph MORLIER**Ects:** 1**Descriptif**

La problématique aéroélastique est expliquée, mise en équation et illustrée par essai et BE. Le contexte industriel est utilisé pour mettre en relief les processus impliqués et les différentes interactions. Le calcul des charges est abordé aussi bien en vol qu'au sol (atterrissage dynamique).

# Domaine Systèmes embarqués (SEM)

## - Présentation du domaine

Les systèmes embarqués suscitent un intérêt croissant dans l'industrie du fait des enjeux considérables qu'ils représentent par la capacité de progrès technologiques, par l'importance des marchés concernés et par la nécessité d'expertises multi-métiers. Ils traduisent un besoin de services élaborés afin d'accroître l'efficacité des systèmes opérationnels.

Le domaine « Systèmes Embarqués » fait apparaître la nécessité d'une analyse spécifique des systèmes complexes critiques répondant à des exigences de qualité et de sûreté de fonctionnement très strictes, et propose des méthodes et outils de conception pour y parvenir.

## - Débouchés du domaine

Des éléments stratégiques liés au pôle de compétitivité Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués confortent les compétences du site toulousain sur ce thème et développent une dynamique au niveau de la recherche appliquée et des besoins dans les systèmes et leur intégration en Recherche et Développement exprimés par les nombreux industriels concernés.

Les itinéraires privilégiés de formation SEM/AU, SEM/IN et SEM/TN contribue à former des ingénieurs ayant des compétences respectives en modélisation et système de commande contrôle, en système de traitement de l'information, et en électronique et systèmes de communication.

La formation dispensée permet l'évolution aussi bien vers les métiers de chef de projet, architecte systèmes ou intégrateur en Recherche et Développement en entreprise, que vers la recherche appliquée.

---

## Opération et supervision

**AU311**

**Responsable du module :** Frédéric DEHAIS

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de cet enseignement est de définir des architectures de supervision et de contrôle temps réel s'appuyant sur les concepts de partage d'autorité, de décision embarquée et de facteurs humains.

Les systèmes avioniques (pilote automatique, système de navigation) interviennent dès lors que le nombre d'informations simultanées nécessaires pour la conduite d'un aéronef ou que la charge de travail, la précision et la fiabilité, deviennent tels qu'il dépassent les capacités humaines. Leur interaction avec l'opérateur permet alors de couvrir un spectre plus large d'opérations, mais peut créer de nouveaux problèmes qu'il s'agit d'étudier.

---

## Systèmes embarqués « avioniques »

**AU312**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR, M BOITREL.

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Répondant à des besoins opérationnels de plus en plus forts, l'avionique permet de mettre en œuvre des fonctions de navigation, de pilotage et de guidage pour la conduite d'avion, de véhicules spatiaux et d'engins mobiles. Le contenu de ce module porte sur les systèmes avioniques actuels et futurs appliqués dans les domaines aéronautique et spatial.

---

## Application robotique dronique

**AU313**

**Responsable du module :** C LESIRE-CABANIOLS

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 0.5

### Descriptif

À titre d'illustration, l'étude de cas d'un robot mobile ou d'un drone en opération est développé : capteurs actionneurs, architecture embarquée, traitement d'image, etc.

## **Ingénierie des systèmes embarqués**

**AU314**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 1

### **Descriptif**

Une grande part de la difficulté de développement des systèmes embarqués réside dans les problématiques d'analyse et de conception de ces systèmes. Le découpage en exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles fait l'objet de nombreux compromis entre les différents acteurs d'un projet. La phase de conception s'appuie sur des outils informatisés et des méthodologies spécifiques aux domaines applicatifs.

Cet enseignement s'appuie sur des exemples de projets réalisés depuis l'expression des besoins jusqu'à la validation et l'exploitation.

## **Contraintes et intégration**

**ET310**

**Responsable du module :** Damienne BAJON

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Damienne BAJON, Jean-Charles CHAUDEMAR

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'aspect compatibilité électromagnétique constitue sans nul doute une contrainte dont les effets sont catastrophiques. Néanmoins, l'état de l'art aujourd'hui ne permet pas d'envisager la simulation globale d'un système au niveau physique, qu'il s'agisse de son comportement électromagnétique, thermique ou mécanique.

Par ailleurs, les contraintes d'intégration se formulent en terme de test et de méthodologies qui induisent des règles à mettre en œuvre dès la phase de conception de chaque élément du système.

Après une étude phénoménologique, la mise en œuvre de méthodes et d'outils technologiques explicite dans le cadre de cet enseignement, quelques précautions à prendre en compte.

## **Optimisation pour les systèmes embarqués**

**GI313**

**Responsable du module :** Daniel DELAHAYE

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Janette CARDOSO

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'objectif de ce cours est :

- de montrer comment des problèmes d'optimisation combinatoire apparaissent dans de nombreux problèmes pratiques: planification d'actions, ordonnancement de tâches, affectation de ressources, conception de systèmes, diagnostic de pannes, reconnaissance de situations,
- de présenter les principaux formalismes utilisés pour représenter des problèmes d'optimisation combinatoire : graphes, programmation linéaire en nombres entiers, programmation combinatoire,
- de décrire les principales techniques utilisées pour résoudre ces problèmes : recherche arborescente, recherche gloutonne, recherche locale etc..
- d'indiquer les principaux outils logiciels actuellement disponibles.

## **Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques**

**GI314**

**Responsable du module :** Christel SEGUIN

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Janette CARDOSO

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

La maîtrise des risques techniques, objet de la sûreté de fonctionnement, est devenue un véritable outil de management que s'approprient les partenaires d'une équipe projet.

Le but de ce module est de présenter une synthèse des techniques d'ingénierie de sûreté de fonctionnement, mises en œuvre dans les industries de pointe que sont le spatial, l'aéronautique. Le module s'appuie de façon intensive et volontariste sur des exemples concrets. Un cas d'étude est proposé, qui permet l'application des différentes techniques Sûreté de fonctionnement en fonction du cycle de vie du système, notamment en phase de certification.

**Modèles de systèmes embarqués : Modèles discrets, modèles hybrides****IN310****Responsable du module** : C LESIRE-CABANIOLS**Volume horaire**: 20**Correspondant ISAE** : Janette CARDOSO**Ects**: 1.5**Descriptif**

Les systèmes embarqués (SE), comme la plupart des systèmes complexes, sont des systèmes hybrides (ou hétérogènes), ayant à la fois une dynamique continue et discrète. Différents exemples de SE seront présentés, dans différents domaines industriels (aéronautique, espace, ferroviaire, automobile, télécommunication, etc.), mettant en exergue cet aspect hybride et le besoin de le prendre en compte dès la phase de conception.

Les modèles permettant de représenter la dynamique de systèmes à événements discrets - les automates et les réseaux de Pétri - seront présentés dans ce cours ; des rappels seront faits pour la modélisation des systèmes continus (étudiés dans la discipline CS201). Finalement, un cas d'étude montrera comment i) modéliser conjointement les parties continue et discrète d'un système hybride et ii) comment dériver les lois de commande de ce système, dans un des domaines industriels (aéronautique, espace, ferroviaire, automobile,).

Les concepts théoriques seront accompagnés de simulations utilisant MatLab (continu) et StateFlow (discret).

**Simulation et co-simulation matérielle/logicielle****IN311****Responsable du module** : Pierre SIRON, G. DURRIEU**Volume horaire**: 20**Correspondant ISAE** : Pierre MAGNAN**Ects**: 1.5**Descriptif**

Cet enseignement vise à fournir des outils et des méthodes de co-simulation matériel et logiciel permettant l'évaluation des performances de l'équipement, le partitionnement dans l'architecture matérielle et le couplage avec le logiciel, en soulignant l'aspect gestion d'énergie.

La problématique de la simulation reposant sur le logiciel et le matériel, constitue le socle de cet enseignement illustré par des applications. La collaboration entre ces deux niveaux se traduit dans la modélisation de l'équipement embarqué par des supports de vérification et de validation.

# Domaine Systèmes Energétiques (SEN)

## - Présentation du domaine

Ce domaine est destiné à former des spécialistes des systèmes énergétiques au sens large, qu'il s'agisse de l'industrie des moteurs (turbomachines, moteurs fusée et moteurs à combustion interne) ou d'autres secteurs énergétiques dans leurs différents aspects (vision système, gestion de l'énergie, impacts sur l'environnement).

L'objectif de ces cours est de donner aux étudiants une formation approfondie sur les différents systèmes propulsifs et sur les nouveaux concepts liés à la maîtrise de l'énergie (exemple : utilisation de carburants alternatifs). Le profil de cette formation est bien adapté aux défis technologiques actuels et à venir (réduction des émissions polluantes et sonores des systèmes propulsifs) et au développement de nouveaux concepts (moteurs hybrides).

## - Débouchés du domaine

Ce type de profil est très recherché par :

- les motoristes de l'aéronautique et du spatial pour l'optimisation des différents éléments des systèmes propulsifs et le développement de nouveaux concepts,
- les avionneurs pour l'intégration des moteurs et l'évaluation des performances et de l'opérabilité.
- les motoristes des véhicules terrestres
- d'autres secteurs de l'énergétique (nucléaire, thermique, énergies nouvelles, gestion de l'énergie, gazière, pétrolière)

## Optimisation des systèmes

GI310

Responsable du module : G. VERFAILLIE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce module est de passer en revue les principales méthodes d'optimisation utilisées dans la conception des véhicules aéronautiques. On montrera comment les algorithmes de programmation linéaire et non linéaire contrainte sont utilisés dans des problèmes d'optimisation multidisciplinaires.

Les techniques d'optimisation discrètes seront ensuite abordées et on montrera comment elles sont utilisées dans les projets de conception.

## Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement

IS311

Responsable du module : Jean François GAJEWSKI

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

### Descriptif

La maîtrise des risques techniques, objet de la sûreté de fonctionnement, est devenue un véritable outil de management que s'approprient les partenaires d'une équipe projet.

Le but de ce module est de présenter une synthèse des techniques d'ingénierie de sûreté de fonctionnement, mises en œuvre dans les industries de pointe que sont le spatial, l'aéronautique ou le nucléaire. Le module s'appuie de façon intensive et volontariste sur des exemples concrets. Un cas d'étude est proposé, qui permet l'application des différentes techniques sûreté de fonctionnement en fonction du cycle de vie du système.

## Thermodynamique appliquée aux turbomachines : Cycles et performances

PE311

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours détaille les performances aérothermodynamiques des différents types de turboréacteurs et turbines à gaz par une étude complète des cycles avec leur optimisation et des performances en vol.

---

**Essais globaux et partiels sur turbomachines et moteurs fusées** **PE312****Responsable du module :** Roger BARENES **Volume horaire:** 20**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER **Ects:** 1.5**Descriptif**

L'objectif de ce cours est de familiariser les étudiants avec les problèmes pratiques et théoriques liés à l'utilisation des turbomachines (réacteur et turbopropulseur) et de leurs composants (compresseur, chambres de combustion) utilisant les installations de l'école (LAP) et de l'ONERA pour la partie moteur fusée hybride. L'aspect méthodologie interne moteur est abordé de façon exhaustive.

---

**Intégration des systèmes de propulsion** **PE313****Responsable du module :** Jérémie GRESSIER **Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER **Ects:** 1**Descriptif**

Les problèmes rencontrés lors de l'intégration des turboréacteurs, turbopropulseurs, moteurs à piston sur avion civil, militaire, aviation légère et usage terrestre ou autre (cogénération, trains, marine) sont analysés dans cet enseignement.

---

**Système moteur à pistons** **PE314****Responsable du module :** J.-L. FROMENT **Volume horaire:** 30**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER **Ects:** 2**Descriptif**

Ce cours a pour principal objectif de faire découvrir aux élèves, indépendamment des cours fondamentaux de mécanique, thermodynamique et mécanique des fluides, les singularités de construction et de fonctionnement des moteurs à pistons et leur intégration :

- Systèmes de combustion (allumage commandé et Diesel) et aspects thermodynamiques.
- Dynamique des systèmes de renouvellement de la charge d'air et de combustible.
- Technologie générale, architecture des moteurs et singularités des composants.
- Aspects dynamiques associés aux principes de construction retenus.
- Méthodes d'expérimentation (essais de performances et d'endurance).
- Intégration au sein des véhicules

---

**Énergie et environnement** **PE315****Responsable du module :** Gérard LAVERGNE **Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Gérard LAVERGNE **Ects:** 0.5**Descriptif**

Cet enseignement fait le bilan des ressources énergétiques actuelles (pétrole) et explicite les différentes solutions alternatives : hydrogène, carburant de synthèse, biomasse et en particulier par des interventions de SNECMA et d'AIRBUS les solutions possibles en aéronautique tenant compte des effets sur l'environnement.

---

**Energie Nucléaire, pile à combustible** **PE316****Responsable du module :** J. BERNARD **Volume horaire:** 20**Correspondant ISAE :** Gérard LAVERGNE **Ects:** 1.5**Descriptif**

Source importante d'énergie des pays industrialisés, le nucléaire devrait voir sa part du "mix énergétique" croître dans les prochaines décennies. Ce cours a pour but de sensibiliser l'étudiant aux problèmes rencontrés par les ingénieurs dans la conception des réacteurs nucléaires ( le pourquoi des différents filières) ainsi qu'aux risques spécifiques de ce type d'énergie (radioactivité)

La deuxième partie du cours traite du fonctionnement de la pile à combustible et de ses utilisations possibles.

**Responsable du module :** D GUIRAL**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER**Ects:** 1**Descriptif**

Ce cours combine le Génie Électrique et la Mécanique .Il s'agit de présenter le fonctionnement des différents actionneurs ,actionneurs et micro moteurs utilisés en Aéronautique et plus particulièrement sur les moteurs pour des commandes système mais également dans le futur sur du contrôle actif (acoustique ,contrôle d'écoulement et systèmes antipompage).

# Domaine Système d'Information et de Décision (SID)

## - Présentation du domaine

Le domaine Systèmes d'Information et de Décision est une réponse à l'évolution, depuis une dizaine d'années, des métiers ouverts aux ingénieurs dans l'industrie. Le monde industriel s'est durci et complexifié (contraintes techniques, économiques, financières, légales, environnementales, □). Les décisions, autant au niveau opérationnel que stratégique, doivent donc s'appuyer, non seulement sur les capacités d'analyse et de synthèse reconnues aux ingénieurs, mais aussi sur des bases techniques spécifiques.

Le domaine Systèmes d'Information et de Décision se veut un socle de ces compétences, au niveau des trois composantes fondamentales de la prise de décision :

- les données qui se caractérisent par leur nombre, leur diversité et leurs origines différentes : plus que de bases de données, il s'agit alors de systèmes d'information
- la modélisation du problème qui va directement conditionner les techniques de résolution
- les méthodes d'aide à la décision, notamment en environnement fortement combinatoire ou incertain.

## - Débouchés du domaine

Les compétences acquises constituent des connaissances de base de l'ingénieur et peuvent renforcer la compétence dans tous les métiers offerts à l'ingénieur SUPAERO. Néanmoins, trois approfondissements constituent le prolongement le plus naturel au domaine :

- « Ingénierie Financière » : qui ouvre aux métiers de la finance (finance d'entreprise, gestion des risques financiers, finance de marché, audit financier□)
- « Ingénierie Logistique » qui est centrée sur les problèmes de maîtrise des flux, autant internes qu'externes, dans l'entreprise
- « Systèmes Informatiques » qui s'intéresse plus précisément à l'architecture et à la conception des systèmes informatiques

## Optimisation

GI316

Responsable du module : Alain HAIT, G. VERFAILLIE

Volume horaire: 38.75

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 3

### Descriptif

Les méthodes d'optimisation sont très utilisées pour aider à la décision dans de nombreux contextes opérationnels : planification d'actions, ordonnancement de tâches, affectation de ressources, conception de systèmes, diagnostic de pannes, reconnaissance de situations, ...

Ce cours détaille d'abord le cas particulier linéaire, d'une importance pratique considérable ainsi que la programmation quadratique qui en est une application directe.

On décrit ensuite les principaux formalismes utilisés pour représenter des problèmes d'optimisation combinatoire: graphes, logique propositionnelle, programmation linéaire en nombres entiers, problèmes de satisfaction de contraintes, ...et on présente les principales techniques utilisées pour résoudre ces problèmes: propagation de contraintes, programmation dynamique, recherche arborescente, recherche gloutonne, recherche locale, etc. sont présentées.

Une partie importante est consacrée à l'expérimentation de l'utilisation d'un des outils logiciels actuellement disponibles (OPLstudio) pour représenter et résoudre des problèmes plus ou moins complexes.

## Méthodes et outils pour la décision

GI317

Responsable du module : P. FABIANI

Volume horaire: 37.5

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 3

### Descriptif

Ce cours présente des méthodes et outils pour la modélisation et la résolution de problèmes de décision issus de travaux en économie, mathématiques appliquées, recherche opérationnelle ou intelligence artificielle. Une formalisation courante et générique de la décision est présentée et critiquée. La problématique de la décision multi-critères est approfondie ainsi que les problèmes de décision séquentielle et en présence d'incertitudes. L'approche Bayésienne est développée, car la plus utilisée actuellement. Les notions de base en probabilités sont fréquemment utilisées dans ce

cours. Les approches alternatives aux probabilités sont présentées. On utilisera des outils de programmation linéaire et d'optimisation. Le schéma de la programmation dynamique est également utilisé pour la définition d'algorithmes pratique de résolution de problèmes de décision séquentielle.

Cet enseignement est organisé en cinq volets complémentaires et recouvrant : 1. décision séquentielle déterministe 2. décision dans l'incertain 3. décision multi-critère 4. modèles et représentations des incertitudes 5. décision séquentielle non-déterministe et plus.

---

### Choix d'investissement

GI318

Responsable du module : Philippe ROUSSELOT

Volume horaire: 17.5

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

#### Descriptif

Le but de ce cours est de comprendre, de maîtriser les composants du choix des investissements selon des critères de rentabilité financière et de déterminer les flux nets de trésorerie (ou cash flows) générés par une décision d'investissement pour déterminer la rentabilité d'un projet d'investissement. Enfin, il permet d'aborder la problématique de la politique d'investissement générée par la gestion de projet sous l'angle de la décision financière.

---

### Systèmes d'entreprise et systèmes d'information

GI319

Responsable du module : H PINGAUD

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 0

#### Descriptif

---

### Bases de données

IN306

Responsable du module : Christophe GARION

Volume horaire: 18.75

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 1.5

#### Descriptif

Les bases de données jouent un rôle fondamental dans les systèmes d'information et ce rôle devient de plus en plus important : volume de données à traiter, cohérence des données, modèles et types de données complexes, fiabilité, disponibilité etc.

Ce cours présente les fondements des bases de données et les différents modèles associés (modèle entité-association, langage EXPRESS, modèle relationnel). Cette première partie est suivie d'une étude des bases de données relationnelles, à travers l'algèbre relationnelle, le langage SQL et la normalisation des relations. On présente ensuite la gestion des transactions, les reprises après pannes et les bases de données orientées objet. Le langage SQL est manipulé au travers d'un BE.

---

### Architecture des systèmes distribués

IN307

Responsable du module : Pierre SIRON, B. D'AUSBOURG

Volume horaire: 16.25

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 1.5

#### Descriptif

Les systèmes informatiques actuels sont pour la plupart massivement distribués, en particulier en ce qui concerne les systèmes d'informations et d'entreprise. L'objectif de ce cours est de proposer aux étudiants une vision large de l'architecture des systèmes distribués actuels. Une introduction aux réseaux de communication et aux principaux protocoles sera faite. Les notions importantes d'algorithmique répartie seront abordées (élection, terminaison, cohérence, état global). Les principales architectures existantes seront présentées (RPC, RMI, Corba, J2EE, .NET etc.), ainsi que les différents points de vue d'un système distribué (fonctionnel, physique, organique).

---

### Sûreté de fonctionnement

IS310

Responsable du module : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

#### Descriptif

La sûreté de fonctionnement d'un système est son aptitude à délivrer un service de confiance justifiée.

L'enseignement est structuré en cours et en BE.

Le cours (6 séances, 7h1/2) a pour objet de donner aux élèves une vue d'ensemble des enjeux et problèmes de la

sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques, ainsi que des solutions actuelles. Le cours comporte 6 chapitres : concepts de base et terminologie associée, entraves à la sûreté de fonctionnement (fautes, erreurs, défaillances), élimination des fautes, prévision des fautes, tolérance aux fautes, développement de systèmes sûrs de fonctionnement.

Les BE (5 séances, 12h1/2) permettent de focaliser sur un sous-ensemble représentatif, tout en permettant aux élèves de mesurer les difficultés et de proposer des solutions. Les BE abordent les sujets suivants : qualité et fiabilité du logiciel, évaluation de la sûreté de fonctionnement, test du logiciel, tolérance aux fautes, validation expérimentale par injection de fautes.

# Domaine Systèmes Spatiaux (SSP)

## - Présentation du domaine

L'objectif des enseignements de ce domaine est d'apporter aux étudiants la connaissance de l'environnement physique, réglementaire et économique, des méthodes et des techniques qui leur permettra, en association avec un approfondissement technique thématique, de participer à la conception, au développement et à l'utilisation des systèmes ayant une composante spatiale, dès le début de leur carrière professionnelle.

Pour remplir cet objectif, le programme d'enseignement de ce domaine comporte des modules organisés selon trois lignes directrices :

- Compréhension des aspects système en mettant l'accent sur l'environnement des systèmes spatiaux, leurs contraintes, leurs interfaces et leurs performances.
- Connaissance des disciplines indispensables dans la conception de ces systèmes : sûreté de fonctionnement, optimisation, analyse mission et mécanique spatiale□
- Initiation à la conception des missions et applications des systèmes spatiaux (télécommunications, imagerie, science).

## - Débouchés du domaine

Le profil de formation final obtenu après le suivi d'un des différents approfondissements du domaine est adapté aux postes d'ingénieurs de développement et de conception des systèmes spatiaux, aux responsabilités de conduite de projets spatiaux. Ce profil est recherché dans les grands groupes spatiaux en France et à l'étranger (AAS, EADS/Astrium, Thales, Safran), les centres de recherche et agences (CNES, DLR, ESA, ONERA□), sans oublier les PME et sociétés de service (Alten, Altran□).

## - Organisation et pédagogie

Le programme comporte 160 heures d'enseignements scientifiques et techniques, théoriques et pratiques. Les enseignements théoriques s'appuient sur des cours magistraux et des bureaux d'études qui permettent d'appliquer les connaissances présentées.

Des mini-projets permettent à l'étudiant de mettre en œuvre et développer le contenu des enseignements au travers d'études bibliographiques, études d'avant projet, travaux de simulation,□ Certaines des ces activités peuvent être conduites en groupe et apportent une expérience enrichissante au niveau du travail en équipe et de la conduite de projet.

## **Optimisation combinatoire**

**GI315****Responsable du module : M. LEMAITRE****Volume horaire: 25****Correspondant ISAE : Alain HAIT****Ects: 1.5**

### **Descriptif**

Ce module est une introduction aux principaux formalismes, techniques et outils d'optimisation combinatoire les plus modernes et les plus immédiatement utiles pour les projets spatiaux.

Dans ce cours sont exposés la théorie et les algorithmes de recherche de l'extremum d'une fonction par rapport à des arguments pouvant avoir à satisfaire des relations de contrainte. Ceci, désigné sous le vocable général de programmation non-linéaire, constitue la base des techniques d'optimisation et d'aide à la décision.

La programmation linéaire, d'usage très répandu dans de nombreux domaines, en est un cas particulier important qui sera détaillé.

Les principales définitions de la théorie des graphes et les principaux algorithmes seront également présentés.

## **Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement**

**IS311****Responsable du module : Jean François GAJEWSKI****Volume horaire: 20****Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ****Ects: 1.5**

### **Descriptif**

La maîtrise des risques techniques, objet de la sûreté de fonctionnement, est devenue un véritable outil de management que s'approprient les partenaires d'une équipe projet.

Le but de ce module est de présenter une synthèse des techniques d'ingénierie de sûreté de fonctionnement, mises en œuvre dans les industries de pointe que sont le spatial, l'aéronautique ou le nucléaire. Le module s'appuie de façon

intensive et volontariste sur des exemples concrets. Un cas d'étude est proposé, qui permet l'application des différentes techniques sûreté de fonctionnement en fonction du cycle de vie du système.

---

## Systèmes spatiaux

IS312

Responsable du module : M. VIEILLEFOSSE

Volume horaire: 16.25

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

### Descriptif

L'objectif est d'apprendre aux élèves une démarche à appliquer à tout projet spatial ou projet dans un autre domaine complexe, en particulier s'enquérir des conditions d'environnement, définir la mission, déterminer l'environnement induit par le système utilisé, définir l'architecture de son système, les conditions opérationnelles et de maintenance dès la conception, former les opérateurs au bon niveau.

Les autres objectifs sont de familiariser les élèves au vocabulaire et aux concepts employés dans le secteur spatial, de connaître le cycle de développement d'un système spatial de la conception à la validation. Le cours fera appel à des cas concrets pour chaque type de mission et traitera de différents satellites.

---

## Environnement spatial et effets

IS313

Responsable du module : A SICARD

Volume horaire: 13.75

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

### Descriptif

Le cours se propose de donner aux élèves une ouverture sur le milieu physique au sein duquel évoluent les engins spatiaux (satellites ou sondes interplanétaires) et de les sensibiliser aux contraintes qu'impose cet environnement tant au niveau d'une étude de mission que lors de la conception du véhicule et de la charge utile. Il fournit également des indications sur les techniques de prévision des effets induits sur les matériaux, composants électroniques et systèmes embarqués ainsi que sur les différentes solutions permettant de limiter ces dégradations et leur impact sur le fonctionnement du système mis en jeu.

---

## Dynamique et commande d'attitude

IS314

Responsable du module : Stéphane BERRIVIN

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

### Descriptif

Donner une vue d'ensemble des aspects dynamique, cinématique et commande d'un véhicule spatial, en prenant en compte les perturbations liées à l'environnement spatial. Une présentation des différentes méthodes de contrôle d'attitudes des satellites s'appuiera sur des exemples de projets spatiaux.

---

## Analyse mission et mécanique spatiale

IS315

Responsable du module : Bénédicte ESCUDIER

Volume horaire: 18

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de cette unité est d'approfondir les notions de mécanique spatiale de base concernant en particulier l'optimisation des transferts spatiaux, l'évolution et le contrôle des trajectoires spatiales terrestres ou interplanétaires et de les appliquer sur une analyse de mission de satellite ou sonde interplanétaire.

Un "mini-projet" d'analyse mission est réalisé en équipe sous la responsabilité d'ingénieurs du CNES et d'Alcatel Alenia Space.

---

## Imagerie spatiale

IS316

Responsable du module : S. FOUREST

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de traiter « l'Imagerie Spatiale : Qualité Image des Systèmes Optiques d'Observation de la Terre » sous l'angle système. En effet, une image spatiale est l'objectif premier de tout système d'observation de la Terre et sa « qualité » synthétise l'ensemble des performances de la chaîne image dans sa globalité : bord, sol et traitements. Le contenu du cours montre comment les différents éléments d'un système d'observation de la terre sont dimensionnés à partir d'un objectif de mission de télédétection donné, celui-ci étant la traduction directe du besoin des utilisateurs, et

comment les performances de ces éléments se traduisent sur la qualité (géométrique, radio métrique) de l'image spatiale obtenue et les moyens mis en œuvre à tous les niveaux pour obtenir les meilleures performances image.

### **Aspects juridiques et économiques**

**IS317**

**Responsable du module :** Bénédicte ESCUDIER, Michel BOUSQUET

**Volume horaire:** 11.25

**Correspondant ISAE :** Bénédicte ESCUDIER

**Ects:** 0.5

#### **Descriptif**

Le premier objectif de ce module est de sensibiliser les étudiants au droit et à la réglementation spatiale et à leurs implications (gestion des fréquences, débris spatiaux..), aux aspects institutionnels et contractuels des projets spatiaux. Les caractéristiques des marchés spatiaux seront présentées en prenant un exemple, tel que le marché des images satellitaires.

### **Télécommunications spatiales**

**IS318**

**Responsable du module :** Michel BOUSQUET

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Michel BOUSQUET

**Ects:** 1.5

#### **Descriptif**

Ce module est une introduction aux systèmes de communication par satellites. Il présente deux aspects : le dimensionnement de la liaison radioélectrique, les modes d'échange d'information sur cette liaison. Il s'agit d'abord de présenter les principes des techniques de traitement (numérisation, multiplexage, etc.) et de transmission (modulation, codage, etc.) des signaux et de l'information pour les liaisons à bord des véhicules spatiaux et les liaisons bord-sol. Ceci permettra de calculer les bilans de liaison et de dimensionner l'architecture des communications d'un système satellitaire.

### **Conception des satellites**

**IS319**

**Responsable du module :** B MENA

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Bénédicte ESCUDIER

**Ects:** 1

#### **Descriptif**

L'objectif est d'apprendre aux élèves une démarche à appliquer à tout projet spatial ou projet dans un autre domaine complexe, en particulier s'enquérir des conditions d'environnement, définir la mission, déterminer l'environnement induit par le système utilisé, définir l'architecture de son système, les conditions opérationnelles et de maintenance dès la conception, former les opérateurs au bon niveau.

Les autres objectifs sont de familiariser les élèves au vocabulaire et aux concepts employés dans le secteur spatial, de connaître le cycle de développement d'un système spatial de la conception à la validation. Le cours fera appel à des cas concrets pour chaque type de mission et traitera de différents satellites.

# Approfondissement Aérodynamique (AE)

- Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement «Aérodynamique» est adossé au domaine «Systèmes Aéronautiques». Il le complète en permettant aux élèves d'acquérir une large vue sur la compréhension et la modélisation des phénomènes physiques qui rentrent dans le champ de l'Aérodynamique. Cet approfondissement donne également un panorama des méthodes de prévision des écoulements. L'objectif est donc de conduire à des notions précises sur l'incidence que peut avoir l'Aérodynamique sur les performances d'un aéronef et aussi sur les interactions avec d'autres disciplines. L'ouverture sur la recherche n'a pas été oubliée puisque la plupart des enseignements de l'approfondissement peuvent être utilisés comme cours optionnels du M2R «Dynamique des Fluides, Énergétique et Transferts» (DET).

Deux classes d'enseignements composent l'approfondissement. L'une est dédiée à l'étude détaillée de domaines spécifiques de l'Aérodynamique : effets instationnaires, écoulements supersoniques, turbulence et couche limite, flux de chaleur et traînée de frottement, aérodynamique numérique, acoustique. L'autre classe est consacrée à l'étude de l'aérodynamique à travers un produit : aérodynamique de l'hélice, aérodynamique des missiles, aérodynamique de l'automobile, aérodynamique des turbomachines, aérodynamique hypersonique, aérodynamique de l'avion. Certains enseignements sont communs à deux approfondissements. Le cours «Flux de chaleur et traînée de frottement» est commun aux approfondissements «Aérodynamique» et «Structures». Le cours «Aéroacoustique» est commun aux approfondissements «Aérodynamique» et «Propulsion». Ceci montre bien que l'Aérodynamique doit être considérée comme une discipline de base dans laquelle il est nécessaire de proposer une formation très pointue mais qu'elle n'est pas isolée et qu'elle doit être associée à d'autres disciplines pour contribuer à l'élaboration d'un produit. Pour aller dans ce sens, un bureau d'études (BE) est proposé pour montrer comment l'Aérodynamique peut être couplée à d'autres disciplines (BE sur le couplage Aéro-Thermique ou sur le couplage Aéro-Structures).

- Débouchés et parcours recherche associé

La nouvelle définition de la formation universitaire s'articule autour de la licence, de la maîtrise et du doctorat (LMD) avec des étapes au bout de 3, 5 et 8 ans (système 3-5-8). Les élèves ingénieurs de SUPAERO ont la possibilité de s'intégrer complètement dans ce système (classes prépa+1ère année = L, 2ème+3ème année avec M2R=M, thèse=D) en complétant d'abord leur formation avec un M2R et, éventuellement, en préparant une thèse ensuite. Dans les domaines qui nous intéressent, l'École est associée à d'autres établissements pour délivrer le diplôme de M2R. Le M2R DET comprend en fait deux filières, l'une orientée vers la Dynamique des Fluides, l'autre vers l'Énergétique et les Transferts. Chacune des filières contient un tronc commun de 4 cours que doivent suivre tous les étudiants inscrits dans le M2R DET, 5 cours optionnels et un stage de recherche. Pour SUPAERO, afin de ne pas alourdir un emploi du temps très chargé, les cours optionnels peuvent être puisés dans l'approfondissement «Aérodynamique» pour la filière Dynamique des Fluides. Le stage peut être réalisé dans un laboratoire ou dans l'industrie à la condition, dans ce dernier cas, qu'une part très significative soit consacrée à une étude de recherche.

Grâce à la formation générale reçue par ailleurs, les ingénieurs issus de l'approfondissement «Aérodynamique» ont accès à une très grande variété de postes dans l'industrie. En outre, la formation acquise dans l'approfondissement donne accès à des débouchés spécifiques notamment dans les secteurs R et D de l'industrie dans divers domaines, comme l'aéronautique, l'automobile, ou autre. L'ouverture sur la Recherche, avec l'obtention du M2R et éventuellement d'une thèse, permet aux ingénieurs de se placer encore mieux sur ce marché car les industriels ont pris conscience que, dans ces secteurs, la formation par la Recherche apporte un complément de grande qualité....

## Aérodynamique instationnaire

AE320

Responsable du module : Allan BONNET

Volume horaire: 27.5

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 2

### Descriptif

Cet enseignement est une entrée dans le vaste domaine de l'aérodynamique instationnaire. Les causes d'instationnarité étant multiples, seuls quelques domaines sont abordés comme :

- \* les écoulements 1D instationnaires compressibles, avec en particulier les chocs en instationnaire
- \* les écoulements incompressibles non portants sur obstacle de type fuselage en mouvement complet de translation - rotation, avec la notion de masses ou d'inertie ajoutée
- \* les écoulements 2D portants instationnaires avec les conséquences de l'émission tourbillonnaire
- \* les écoulements instationnaires compressibles modélisés par un potentiel des vitesses (subcritique, supercritique, supersonique).

## **Aérodynamique supersonique, entrée d'air et tuyère**

**AE321**

**Responsable du module :** Allan BONNET, Jérémie GRESSIER

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Cet enseignement comporte deux parties d'un volume horaire identique.

La 1ère, de base, définit les éléments de la méthode dite des caractéristiques qui permet la compréhension et le calcul des écoulements supersoniques, limités ici au 2D plan ou de révolution. Cette partie est illustrée d'exercices permettant les calculs de chocs, de régimes d'ondes simples ainsi que les interactions avec des parois ou des surfaces de glissement.

La 2ème partie est axée sur les applications d'entrées d'air et de tuyères en utilisant largement les notions décrites en 1ère partie.

Après avoir rappelé les objectifs de ces éléments du turboréacteur, leur fonctionnement sera détaillé, notamment dans les aspects suivants:

- entrée d'air subsonique et supersonique (dimensionnement, amorçage)
- tuyère (col, correction 3D et visqueuses, adaptation, décollement)
- jets (adaptation, interaction)

## **Turbulence et couche limite**

**AE322**

**Responsable du module :** Jean COUSTEIX

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

La modélisation de la turbulence reste un point dur dans les méthodes de calcul des écoulements telles que celles utilisées dans les bureaux d'études des constructeurs d'avions ou de turbomachines.

Cet enseignement a pour objectif de donner une description physique des phénomènes turbulents et de proposer une introduction à la modélisation de la turbulence.

## **Flux de chaleur et traînée de frottement**

**AE323**

**Responsable du module :** Jean COUSTEIX

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'objectif de ce cours est de donner une description des phénomènes visqueux et turbulents qui se produisent sur un aéronef comme un avion commercial transsonique ou supersonique. Les méthodes de calcul de ces phénomènes sont également présentées.

On insiste sur les éléments qui contribuent à la traînée et aux échanges de chaleur à l'interface fluide-solide.

## **Aérodynamique numérique**

**AE324**

**Responsable du module :** Jérémie GRESSIER

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

L'unité "Aérodynamique Numérique" a pour but de familiariser l'étudiant avec les principales méthodes numériques utilisées en aérodynamique dans l'industrie aéronautique et d'acquérir un savoir-faire et un regard critique dans la mise en œuvre des méthodes numériques appliquées à l'aérodynamique.

## **Aérodynamique de l'hélice**

**AE325**

**Responsable du module :** J.-M BOUSQUET

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce cours concerne principalement une introduction au fonctionnement de l'hélice isolée sans incidence, l'intégration de l'hélice sur avion étant abordée sous forme de conférence. La première partie s'inspire de l'analyse de résultats expérimentaux pour expliquer les phénomènes, la deuxième détaille les méthodes utilisées pour le calcul des performances. En final, des éléments sont donnés pour l'optimisation aérodynamique des hélices.

## Aérodynamique des missiles

AE326

Responsable du module : D. PAGAN

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 1.5

### Descriptif

Le but du cours est de donner une vue générale des problèmes d'aérodynamique des missiles, en particulier en phase de conception.

On débute donc par les spécificités de cette aérodynamique et ses méthodes d'évaluation: méthodes semi-empirique, CFD et essais en soufflerie.

On aborde ensuite l'intégration de la propulsion, en particulier celle du statoréacteur qui est la plus couplée avec l'aérodynamique.

Enfin, on dégage les principaux critères de conception, les différents moyens de pilotage et les différentes familles de configurations aérodynamiques.

Une séance est consacrée à un TP en soufflerie.

Trois séances sont consacrées à l'étude d'un avant-projet de missile.

## Aérodynamique de l'automobile

AE327

Responsable du module : V. HERBERT

Volume horaire: 12.5

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 1

### Descriptif

Le but de cet enseignement est de présenter les caractéristiques de l'aérodynamique appliquée à l'automobile, avec :  
\* domaines et enjeux de l'aérodynamique automobile (Vmax, confort acoustique, olfactif, salissures, consommation, sécurité, etc...).

\* Les outils d'étude - Soufflerie (sol défilant, balance, visualisation, PIV, LDV...) - codes de calcul (Reynolds Averaged Navier -Stokes, Large Eddy Simulation, gaz en réseau).

\* La traînée (décomposition, notion d'angle critique) et la portance (aileron, diffuseur).

\* Méthodologie de conception.

Des essais ou visualisations en soufflerie pourront compléter le cours.

## Projet de synthèse

AE328

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

### Descriptif

Dans ce module, il est proposé de travailler par petits groupes sur des projets à caractère multidisciplinaire et à dominante mécanique. Le projet s'appuiera sur les enseignements de l'approfondissement, voire sur ceux du domaine selon les groupes constitués (aérodynamique, acoustique, thermique, structure). L'organisation de ce module est relativement ouverte : après quelques cours rappelant ou complétant les connaissances fondamentales nécessaires, la majorité des séances seront pratiques, avec une étude de cas et à l'aide d'outils de type industriels, de recherche, ou à développer. L'accent sera mis sur l'aspect couplage des différentes techniques déjà largement utilisées.

## Aérodynamique hypersonique

AE329

Responsable du module : Jean-marc MOSCHETTA, Jean COUSTEIX

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Jean-marc MOSCHETTA

Ects: 1

### Descriptif

Cet enseignement a pour but de décrire les phénomènes essentiels (en fluide parfait et en fluide visqueux) qui caractérisent le régime hypersonique et de présenter un ensemble de méthodes de calcul d'écoulements aérodynamiques utilisables dans le cadre d'un avant-projet. On insistera aussi sur les effets de haute température qui contribuent à modifier la composition de l'air (phénomènes de dissociation, d'ionisation) et les caractéristiques de l'écoulement.

## **Aérodynamique avancée de l'avion**

**AE330**

**Responsable du module :** Jean-marc MOSCHETTA

**Volume horaire:** 15

**Correspondant ISAE :** Jean-marc MOSCHETTA

**Ects:** 1

### **Descriptif**

Les phénomènes aérodynamiques tridimensionnels autour d'une configuration d'avion subsonique sont décrits sur le plan physique et modélisés par des méthodes de type avant-projet. L'accent est mis sur les interactions aérodynamiques : voilure-fuselage, voilure empennage, canard-voilure, système propulsif-voilure, interaction aérodynamiques d'avions en formation, effet de sol.

## **Aéroacoustique**

**PE422**

**Responsable du module :** Franck SIMON

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Équation d'onde milieu au repos, ondes planes, ondes sphériques, impédances, analyse 1/3 d'octave, métrologie. Intensité acoustique: définition, technique de mesure, instrumentation, applications. unités acoustiques. Propagation acoustique en milieu guidé : décomposition modale, fréquences de coupure, application aux conduits à section rectangulaire et circulaire. Rayonnement sonore en champ libre. Génération et propagation des sons d'interaction entre rotor et stator. Aperçu sur les méthodes numériques et intérêt des modèles semi-empiriques. Les différents types de ventilateurs et leurs caractéristiques aérauliques. Bruit des ventilateurs : origine du bruit de raies et large bande, moyens de réduction du bruit, lois de similitude, estimation du niveau de bruit, effets d'installation.

## **Machines axiales**

**PE430**

**Responsable du module :** Jean-marc DUBOUÉ

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1

### **Descriptif**

Cet enseignement permet d'aborder la compréhension et l'étude des phénomènes aérodynamiques que l'on rencontre spécifiquement dans les turbomachines, principalement les compresseurs et turbines. L'accent est mis sur les machines axiales, les plus fréquentes parmi les turboréacteurs.

# Approfondissement architecture mécanique et thermique des véhicules spatiaux (AS)

Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement «Architecture Mécanique et Thermique des véhicules spatiaux» est adossé au domaine «Systèmes Spatiaux». Il a pour objectif de former les élèves à la conception de véhicules spatiaux (lanceurs, satellites, véhicules de rentrée). Un premier ensemble de modules privilégie les aspects conception et dimensionnement adaptés à la diversité des missions du secteur spatial.

L'ensemble des sciences mécaniques nécessaires à cette conception est ensuite détaillé pour les différents types de véhicules spatiaux rencontrés (structure, thermique, aérodynamique, propulsion). Les modules proposés recouvrent aussi bien les fondamentaux dont l'application dépasse les véhicules spatiaux, que des éléments bien plus spécifiques comme la propulsion électrique ou l'aérodynamique en gaz raréfiés.

L'enseignement fait appel à de nombreux enseignants du monde industriel et de la recherche, proches du domaine spatial.

Un projet de 40h sera réalisé par les étudiants en leur laissant la liberté de l'adapter à leur projet professionnel (retour sur la thématique du domaine, projet de conception type industriel, projet de recherche).

Parcours recherche associé

Cet approfondissement donne aussi la possibilité (en combinaison avec le domaine Systèmes spatiaux) de suivre le master recherche astrophysique, sciences de l'espace et planétologie.

---

## Aérodynamique des lanceurs

AE340

Responsable du module : H LAMBARE

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jean-marc MOSCHETTA

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif du cours est d'initier les étudiants aux méthodes de conception en aérodynamique des lanceurs au stade de l'avant-projet.

La première partie du cours portera sur les spécificités de l'aérodynamique des lanceurs, la conception aéro-propulsive et les moyens de conception en aérodynamique.

Dans la deuxième partie du cours, les élèves seront initiés aux essais en soufflerie et réaliseront un bureau d'études qui portera sur un avant-projet de lanceur répondant à un cahier des charges.

---

## Aérothermodynamique des véhicules spatiaux

AE341

Responsable du module : Jean COUSTEIX

Volume horaire: 40

Correspondant ISAE : Jean-marc MOSCHETTA

Ects: 3

### Descriptif

Cet enseignement a pour but de décrire les phénomènes essentiels (en fluide parfait et en fluide visqueux) qui caractérisent le régime hypersonique et de présenter un ensemble de méthodes de calcul d'écoulements aérodynamiques utilisables dans le cadre d'un avant-projet.

La première partie du cours sera consacrée aux gaz raréfiés, et la seconde partie sera consacrée aux effets thermiques, en particulier au voisinage du point d'arrêt. Elle prendra en compte le caractère réactif des écoulements et s'appuiera, à la fois sur la théorie des couches limites aux grandes vitesses (pour l'approche de type "milieux continus") et sur la première partie du cours pour l'approche de type moléculaire.

---

**Conception lanceurs** **IS320**

**Responsable du module :** V. CAZES **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Exposer les grands principes de conception des lanceurs consommables et réutilisables par la décomposition en fonctions, le lien entre les fonctions et les sous-systèmes. Des applications sur l'étagement des lanceurs et leurs performances sont proposées.

---

**Ingénierie satellite** **IS321**

**Responsable du module :** Christian COLONGO **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

L'objectif de cette unité est de réaliser un avant-projet de petit satellite en orbite terrestre, à partir de spécifications de mission. La conception du satellite se fera en utilisant les moyens de simulation disponibles à l'école.

---

**Structures des lanceurs et véhicules spatiaux** **IS322**

**Responsable du module :** T. BERTHELON **Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 3

**Descriptif**

Ce cours donne une vision d'ensemble sur les structures des véhicules spatiaux ainsi que sur les outils et les méthodes permettant de réaliser la conception. Les principaux thèmes abordés permettent aux élèves de comprendre les contraintes mécaniques spécifiques du spatial dans les principales phases de développement (de l'appel d'offre à la phase orbitale) et de pouvoir réaliser le pré-dimensionnement d'une structure ou partie d'un satellite ou lanceur. Un mini-projet par groupe de 5 à 6 élèves permet de mettre en application, sur un projet réel, l'ensemble de l'enseignement.

---

**Propulsion spatiale** **IS323**

**Responsable du module :** J.-C. TRICOT, Lionel CARIÉS **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Description du fonctionnement d'un propulseur à propergol solide : domaines d'application, fonctionnement interne, définition des différents sous ensembles (tuyère, CVP, corps de propulseur chargé, allumeur), ainsi que des technologies et matériaux utilisés. Exemple d'essais de mise au point.  
Pré-dimensionnement d'un moteur à propergol solide.

---

**Propulsion électrique** **IS324**

**Responsable du module :** D. VALENTIAN **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Fournir des informations d'ensemble sur la propulsion électrique des satellites et des sondes spatiales. Principes physiques de base. Principaux types de propulseurs.

---

**Contrôle thermique des véhicules spatiaux** **IS325**

**Responsable du module :** R. BRIET **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** David MIMOUN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Transmettre aux étudiants les connaissances fondamentales concernant les lois physiques de la thermique et les aspects spécifiques à la thermique spatiale. Donner une culture sur les méthodes et les moyens mis en œuvre pour l'étude, la conception, la réalisation et l'exploitation d'un système spatial vu sous l'aspect de la thermique.

**Responsable du module :** David MIMOUN**Volume horaire:** 40**Correspondant ISAE :** David MIMOUN**Ects:** 3**Descriptif**

Le projet long vise à utiliser les disciplines vues dans le cadre du domaine et de l'approfondissement de manière approfondie et pratique. Les étudiants choisiront un projet précis qui peut faire partie de sujets proposés par le corps enseignant, ou être d'initiative personnelle (et soumis à validation).

Les projets peuvent permettre :

- d'étudier un système existant, sur le plan scientifique et technique
- de découvrir ou d'approfondir des méthodes (théorie, outils de modélisation)
- de préparer le stage de fin d'études avec un objectif précis lié au volume horaire fourni.

# Approfondissement Automatique (AU)

## - Présentation de l'approfondissement

L'automatique, issue de la cybernétique et nourrie des problèmes aéronautiques dès les années 40, en était à ses débuts lorsque son enseignement fut introduit à SUPAERO sous forme de l'étude des asservissements linéaires continus. Elle est devenue en un demi-siècle une discipline complexe, de plus en plus systémique, de plus en plus liée à la recherche opérationnelle et à l'informatique temps réel.

L'automatique garde toujours une place essentielle dans le domaine aérospatial en liaison avec les problèmes de stabilisation, de guidage, de contrôle et de gestion de vol, voire amplifiée avec les techniques de commande active généralisée, de commande des structures souples. Cependant, les besoins nouveaux liés à l'amélioration de la productivité, aux économies de consommation énergétique, à la qualité de l'environnement, font qu'il est peu de domaines où elle ne soit plus actuellement fortement présente. Pour cette raison, cet approfondissement donne lieu à un profil cohérent quel que soit le domaine choisi par l'étudiant.

Parallèlement à la diversité de ses domaines d'applications, l'automatique est, dans sa méthodologie et les outils qu'elle utilise éminemment multidisciplinaire.

Dans ce contexte, l'approfondissement vise à former les élèves à la conception des systèmes de commande modernes caractérisés par leur haut degré de complexité (nombre de paramètres, lois d'évolution, non linéarités, interactions□), sur le plan méthodologique tout en sensibilisant aux problèmes posés par leur mise en œuvre (réalisabilité, complexité technique, sûreté de fonctionnement).

Compte tenu du large spectre de l'automatique, au sein de l'approfondissement, un ensemble de modules est proposé au choix de façon à permettre aux étudiants de s'orienter vers l'une ou l'autre des voies couvertes par l'automatique. Les étudiants auront par exemple la possibilité de teinter leur parcours en cohérence avec leur domaine d'application, ou bien d'approfondir la théorie d'analyse et de synthèse de lois de commande ou bien encore d'explorer le domaine de la conduite et décision des systèmes.

## - Débouchés et parcours recherche associé

La présentation même de l'approfondissement laisse entrevoir l'étendue des débouchés possibles. En terme de secteur, tous les secteurs, aéronautique, spatial, automobile, motoriste, pétrochimique sont des employeurs potentiels. En terme de métier, celui d'ingénieur en recherche et développement auquel prépare cette formation se prolonge généralement assez vite vers des postes de suivi et conduite de projet en fonction des goûts et des aptitudes personnelles de l'ingénieur. La formation en automatique à SUPAERO a toujours été très fortement liée à la recherche. C'est sans nul doute ce qui a fait sa réputation. Tout naturellement, cet approfondissement permet de suivre le M2R « Systèmes Automatiques, Informatiques et Décisionnels ».

---

## Signal : traitement et filtrage

**AU320**

**Responsable du module :** P. MOUYON

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Daniel ALAZARD

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Ce cours met en évidence les trois grands thèmes applicatifs du traitement du signal dans le domaine aéronautique et spatial. Pour chacun de ces thèmes on présente les outils de base, et leurs méthodologies de mise en œuvre. Enfin chaque thème est illustré par un bureau d'étude sur station de travail (Matlab).

Les thèmes sont:

- La navigation (inertielle pure,hybride Inertielle/GPS) et le filtrage optimal.
- La réjection de perturbations, et le filtrage adaptatif.
- La réception numérique, et le filtrage optimal symbolique.

## Conduite, décision et facteurs humains

AU321

Responsable du module : C. TESSIER

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Frédéric DEHAIS

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce module vise à donner des éléments de base pour la commande dite de « haut niveau » d'engins - drones, robots terrestres, robots sous-marins, satellites - auxquels on veut conférer une certaine autonomie d'opération et de décision. La question de l'autonomie est posée lorsque, pour des raisons économiques, de sécurité, d'organisation du travail, d'éloignement, d'aléas de communication..., les engins ne peuvent être commandés en permanence par des opérateurs. Il s'agit donc de doter les engins de moyens pour qu'ils puissent « se débrouiller » en particulier face à des événements ou aléas qui peuvent survenir au cours de la mission.

Les trois grandes composantes d'une architecture visant à l'autonomie d'un engin sont présentées : le suivi de situation (élaboration de l'état courant et futur de l'engin et de son environnement), la planification (élaboration de la suite d'actions à mener), la supervision et le contrôle d'exécution. À titre d'illustration, le cas particulier de la gestion d'aléas sur un drone est étudié.

D'autre part, les notions relatives à la prise en compte des facteurs humains seront également abordées.

## Informatique de commande temps réel et commande numérique

AU322

Responsable du module : Caroline BERARD, Jacques LAMAISON

Volume horaire: 31.25

Correspondant ISAE : Jacques LAMAISON

Ects: 2

### Descriptif

Cet enseignement introduit les concepts, méthodes et outils nécessaires à la conception et à la mise en œuvre des systèmes de traitement de l'information dédiés au contrôle de processus. La discrétisation de lois de commande en vue de leur implémentation en numérique est abordée. Les outils et méthodes utilisés pour le développement de logiciels temps réel et la commande numérique sont illustrés par le développement d'une application de commande d'un axe de satellite.

## Outils pour l'automatique

AU323

Responsable du module : Daniel ALAZARD

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Daniel ALAZARD

Ects: 0.5

### Descriptif

L'objectif de ce demi module est d'introduire ou de rappeler les outils de base nécessaires aux diverses techniques qui seront présentées dans les divers modules de cet approfondissement. Ainsi, seront abordés : la décomposition en valeur singulière (SVD), les moindres carrés, les méthodes d'optimisation de type gradient-Newton, les LMI, l'analyse spectrale et enfin la représentation sous forme LFT.

Pour chacune de ces notions, les professeurs fourniront, une documentation reprenant l'essentiel des résultats ainsi qu'un exemple traité avec son corrigé

## Identification

AU324

Responsable du module : A. BURCHARLES

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Frédéric DEHAIS

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours propose une présentation des techniques de base de l'identification ainsi que leur mise en œuvre sur station de travail en vue d'évaluer et de comparer leurs performances sur des exemples réalistes. L'enseignement se décompose ainsi en une partie théorique dispensée sous forme de cours magistraux, qui a pour but de fournir les éléments théoriques essentiels, et une partie pratique effectuée sous forme de bureaux d'étude sur station de travail, destinée à mettre en évidence les capacités et les limites de chaque technique.

Il s'articule autour de trois méthodes basiques (moindres carrés, minimisation des erreurs de sortie et décorrélation), chacune d'elles donnant lieu à une présentation théorique suivie d'une petite classe permettant d'illustrer les points délicats, et à une application sur station de travail avec utilisation du progiciel MATLAB.

## Commande modale et optimale

AU325

Responsable du module : Daniel ALAZARD, M. CORRÈGE

Volume horaire: 31.25

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 2

### Descriptif

Ce cours se décompose en deux parties :

La première relative à la synthèse de lois de commande par des approches modales permettant en particulier, de satisfaire des contraintes de découplage.

La seconde partie est destinée à l'apprentissage des méthodes qui permettent de trouver, pour des processus discrets ou continus, la commande qui optimise un critère donné, compte tenu de diverses contraintes :

- application de la programmation non linéaire,
- application de la programmation dynamique,
- application du principe du maximum de Pontryagin à la commande des systèmes dynamiques. Dans cette partie, les commandes LQ, LQG et LQG-LTR seront traitées.

## Analyse de la robustesse et commande robuste

AU326

Responsable du module : Daniel ALAZARD, J.-M. BIANNIC

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Daniel ALAZARD

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce module est de présenter les outils d'analyse de la robustesse et de synthèse de lois de commande robustes.

Plus précisément, les méthodologies de synthèse fréquentielles H2 et H $\infty$  sont détaillées : nous montrons comment exprimer les spécifications de performances, de stabilité et de robustesse à des incertitudes non structurées comme des contraintes H $\infty$  sur les fonctions caractéristiques de la boucle fermée, comment gérer les compromis fréquentiellement et comment exprimer le problème de commande sous forme dite standard. Dans un second temps, nous présentons la  $\mu$ -analyse pour l'étude de la robustesse en stabilité et en performance, en présence d'incertitudes paramétriques.

De nombreuses séances sur Matlab permettent d'illustrer les différents points du cours.

## Analyse et commande des systèmes non linéaires

AU327

Responsable du module : P. MOUYON, J.-M. BIANNIC

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours a pour objectif d'introduire et de discuter les outils et méthodes utilisés pour l'analyse, l'observation et la commande des systèmes dynamiques présentant des non-linéarités. Dans ce module, une attention particulière est portée sur le cas des non-linéarités de type saturations en position ou en vitesse. Pour ce type de non-linéarités, présentes dans toutes les applications (notamment au niveau des actionneurs), des techniques spécifiques d'analyse et de synthèse de lois de commande sont développées. Chaque cours est consacré à la découverte d'une approche ou d'un ensemble cohérent d'outils, illustré par des exemples. Une Séance Matlab est également programmée et permet aux élèves de mettre en œuvre les outils introduits en cours sur un réglage de loi de pilotage en présence de saturations.

## Synthèse d'un pilote automatique d'avion

AU328

Responsable du module : Caroline BERARD, J.-M. BIANNIC

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 0.75

### Descriptif

L'objectif de ce module est double : il s'agit en premier lieu de présenter les différents problèmes et contraintes rencontrés par l'ingénieur automatique dans le réglage d'un pilote automatique. Une présentation assez détaillée du modèle puis du cahier des charges (incluant des contraintes d'architecture de lois de commande) est donc proposée. Il s'agit également de permettre aux élèves de mettre en œuvre simplement et rapidement les différentes techniques de synthèse " moderne " multi-variable vue en cours. Il permet aussi de comparer très facilement ces techniques entre elles, dans la mesure où elles sont toujours appliquées au même exemple. Mais, au-delà de la simple comparaison, l'intérêt principal sur le plan méthodologique, sera de mettre en évidence les complémentarités entre les différentes techniques

---

**Pilotage et guidage de drones****AU329****Responsable du module :** A. PIQUEREAU**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Daniel ALAZARD**Ects:** 0.75**Descriptif**

Ce module est consacré aux drones. On présente l'élaboration de l'architecture du système drone, plus particulièrement les fonctions de navigation, pilotage et guidage, à partir de l'analyse mission.

---

**Commande active des structures flexibles****AU330****Responsable du module :** Daniel ALAZARD**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Daniel ALAZARD**Ects:** 0.75**Descriptif**

L'objectif de ce module est de présenter les problèmes liés aux systèmes flexibles du point de vue de l'automaticien, c'est-à-dire :

- mettre en évidence les compromis performance/robustesse particulièrement dimensionnant pour la commande de ces systèmes,
- évaluer la pertinence des outils modernes de synthèses de lois de commande face à ces problèmes.

Pour illustrer, les diverses composantes de ce cours, nous nous appuyons sur des exemples élémentaires, le système masses-ressorts, et des applications plus réalistes issues des études menées à l'ONERA/DCSD (lanceur, télescope spatial, avion souple)..

---

**Réseaux neuronaux et neuroflous pour la modélisation et la commande****AU332****Responsable du module :** J.-L. FARGES, C SEREN**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Frédéric DEHAIS**Ects:** 0.75**Descriptif**

Sous le vocable de méthodes non conventionnelles, par opposition avec les méthodes plus traditionnelles de l'automatique, on regroupe souvent les systèmes à base de logique floue, les méthodes neuronales et les structures hybrides neurofloues. Les premières visent la traduction et la mise en œuvre numériques d'un ensemble de règles expertes, représentant par exemple le comportement d'un pilote expérimenté. Les techniques neuronales, sur lesquelles portent l'essentiel de ce cours, utilisent les capacités d'apprentissage de structures cellulaires, appelées réseaux de neurones artificiels, pour modéliser ou contrôler un système complexe à partir de données expérimentales mesurées. Le rapprochement des deux approches (neuroflou) se justifie par le fait qu'elles permettent toutes deux d'approximer des systèmes non linéaires qui seraient difficiles à traiter par les méthodes classiques, mais aussi par une certaine convergence des modèles de représentation utilisés.

---

**Systèmes à évènements discrets****GI340****Responsable du module :** C. TESSIER**Volume horaire:** 20**Correspondant ISAE :** Frédéric DEHAIS**Ects:** 1.5**Descriptif**

Ce cours a pour but de présenter aux étudiants un formalisme - les réseaux de Petri - qui permet de spécifier et de modéliser des systèmes complexes, ainsi que d'analyser leur fonctionnement. L'appellation "systèmes à événements discrets" met l'accent sur le fait que l'on s'intéresse essentiellement aux différents états par lesquels peut passer un système, et aux changements d'état provoqués par des actions ou des événements internes ou externes. La puissance du formalisme présenté permet non seulement de décrire clairement, sous forme graphique, toutes les possibilités d'évolution du système, mais également, grâce aux capacités d'analyse des réseaux de Petri, de vérifier son fonctionnement. Plusieurs modèles dérivés sont également présentés, comme le GRAFCET (pour la commande des processus industriels), les réseaux de Petri colorés, les modèles temporisés ; l'outil DesignCPN, supportant les réseaux de Petri colorés, fait l'objet d'une séance de travaux pratiques.

---

**Pilotage et guidage des satellites****IS340****Responsable du module :** Stéphane BERRIVIN**Volume horaire:** 10**Correspondant ISAE :** Caroline BERARD**Ects:** 0.75**Descriptif**

Ce module présente les notions de dynamique, les différentes architectures en fonction des missions ainsi que l'ensemble des équipements à considérer dans l'élaboration d'un système de contrôle d'un véhicule spatial. Un BE d'étude vient illustrer toute ou partie des éléments introduits.

**Responsable du module** : Charles VALLET**Volume horaire**: 10**Correspondant ISAE** : Caroline BERARD**Ects**: 0.75**Descriptif**

Ce module présente les systèmes de navigation, de guidage et de pilotage des lanceurs et des engins balistiques.

En introduction, le cours présente l'architecture générale des chaînes de navigation, de guidage et de pilotage.

Sur le pilotage, le cours aborde les objectifs, les méthodes de synthèse des lois avec l'analyse de la stabilité, la prise en compte des effets de souplesse des structures et de ballonnement des ergols, les moyens d'action (les systèmes de braquage des tuyères).

Sur la navigation, le cours présente les objectifs, les différents types de senseurs utilisés (tels que les gyromètres, les accéléromètres, les centrales inertielles, le GPS) et leurs modélisations fonctionnelles.

Un bureau d'étude est consacré à la mise au point de la loi de pilotage d'un lanceur aérodynamiquement instable avec un mode de flexion. La méthode utilisée est la commande robuste Hinfini, avec l'outil logiciel MATLAB/SIMULINK.

# Approfondissement génie industriel (GI)

## Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement Logistique est centré sur la maîtrise de la trilogie « coûts, qualité, délais », essentielle pour assurer la compétitivité d'une entreprise et met principalement l'accent sur les problèmes de maîtrise des flux internes et externes dans l'entreprise, problèmes qui sont devenus stratégiques du fait de l'importance de la réduction et de la maîtrise des délais pour livrer les clients et dont la complexité implique des moyens autant algorithmiques qu'informatiques performants.

L'approfondissement s'organise autour de trois grands thèmes du génie industriel : logistique industrielle, qualité et gestion de projet. Une grande partie de l'approfondissement est consacrée à la maîtrise des délais, tant au niveau de la conception que de la gestion des flux. Des compléments indispensables à un ingénieur dans un contexte de production sont apportés : qualité, pilotage des coûts, maîtrise d'un système d'information dédié à la production (ERP), négociation.

## Débouchés et parcours recherche associé

Les métiers directement ouverts sont d'abord ceux liés directement à la production et la « supply chain » : conception, réingénierie, gestion de production, logistique, achats, relations clients fournisseurs, mise en place et évolution de systèmes d'information. Les sociétés de conseil et d'audit offrent également des postes très intéressants et formateurs. Les élèves peuvent suivre le suivre le M2R « Systèmes Automatiques, Informatiques et Décisionnels » dont le contenu du parcours « Systèmes industriels » est très proche du parcours SID/LO.

## Modélisation et simulation des systèmes productifs

GI321

Responsable du module : J.-F. GABARD

Volume horaire: 51.25

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 3.5

### Descriptif

Il est du ressort d'un ingénieur industriel de concevoir, mettre en place et améliorer un système de production. Il doit être capable d'en évaluer les performances, la robustesse, la flexibilité, l'évolutivité. Pour cela l'ingénieur dispose de modèles, de méthodes et d'outils permettant de représenter le fonctionnement de ces systèmes.

Ce cours présente dans un premier temps des modèles pour représenter les systèmes à événements discrets, répandus en production manufacturière : réseaux de Petri, automates. La théorie des files d'attente est ensuite présentée pour appréhender les aspects stochastiques.

Dans un second temps, un BE avec le logiciel de simulation ARENA est proposé afin de comparer l'approche simulateur et l'approche analytique.

## Organisation et gestion de la production

GI322

Responsable du module : Alain HAIT

Volume horaire: 35

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2.5

### Descriptif

Ce cours présente les différentes approches de gestion utilisées en production et logistique.

Après une typologie des systèmes de production et une présentation des différents niveaux de décision liés à la production, les techniques de gestion des stocks et d'ordonnancement à court terme sont présentées.

Les approches à flux poussé font l'objet d'un éclairage double, via l'optimisation d'abord en présentant les modèles théoriques de planification, puis à travers les décompositions en niveaux effectuées dans l'industrie (approche MRP).

L'extension à la planification dans les chaînes logistiques est abordée.

Les approches à flux tirés (juste-à-temps, « lean manufacturing ») sont présentées et mises en œuvre lors d'un BE de réorganisation d'un atelier de production dans l'industrie automobile.

## Logistique industrielle

GI323

Responsable du module : V. LAINEZ, L FUENTES-COMBARIEU

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours a pour but de donner les notions de base nécessaire à un ingénieur de l'aéronautique et de mettre en évidence les problèmes industriels relatifs d'une part à la production aéronautique de série, d'autre part à la logistique associée. On étudiera ainsi

- la structuration des différents systèmes de fabrication concernés
- la circulation globale des flux physiques et d'informations.
- les relations clients-fournisseurs, en mettant l'accent sur la démarche d'Airbus de sécurisation et de tension des flux, d'outils de communication EDI et de cadres contractuels en fonction des produits achetés.

## Mise en place d'un système d'information

GI324

Responsable du module : A. WILLEMONT

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif du module est de présenter le cycle de vie d'un projet de mise en place d'un grand système d'informations. Le fil rouge du module est SAP qui a su s'imposer comme LE système d'information de référence. Les exemples seront tirés de ce système.

Tout au long du module, les élèves sont sensibilisés aux problématiques et aux enjeux auxquels font face les grandes entreprises aujourd'hui, pourquoi et comment les systèmes d'information peuvent y répondre, et quels sont les obstacles auxquels tout projet de grande ampleur doit faire face.

## Management de la qualité

GI325

Responsable du module : S GILABERT, C GASQUET, G CHOBERT

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

Le management de la qualité ne se borne pas à effectuer des tâches de contrôle intermédiaire ou final d'un produit. Il s'intéresse non seulement à la conformité du produit (comme en Assurance Qualité) mais aussi à la satisfaction du client (interne et externe). Il amène une maîtrise de l'organisation à toutes les étapes d'élaboration du produit que ce soit au niveau du commercial, des études, de l'industrialisation, de la production, du soutien après la vente sans négliger le management et l'écoute client. L'objectif de ce cours est d'acquérir et de comprendre des notions précises et globales nécessaires à la mise en œuvre d'un système de management de la qualité

## Pilotage des coûts

GI326

Responsable du module : F. DOURNES

Volume horaire: 16.25

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1

### Descriptif

Aucune décision ne peut plus être prise sans une analyse approfondie coût / efficacité.

Cet enseignement vise à appréhender la problématique de l'analyse et de la gestion des coûts tout au long du processus projet, de l'idée initiale à la vie du produit, en passant par l'estimation et le suivi du projet.

Il présente les différentes méthodes utilisées (estimation, analyse de la valeur, etc.) et fait le lien avec la notion de risque à chaque étape du projet.

## Management des programmes

GI327

Responsable du module : Francis DOUMES, T MAZOIN

Volume horaire: 26.25

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2

### Descriptif

Un programme consiste à fournir un produit satisfaisant les besoins de l'utilisateur final, au moindre coût et dans les délais prescrits. Pour satisfaire ces impératifs, et devant la complexité des grands programmes, il est nécessaire de faire appel à des méthodes de management structurées, et en partie normalisées.

L'objectif de ce module est, à travers des études de cas, d'aider les futurs responsables de programme à acquérir une vision claire des problèmes et des méthodes de management.

## Achats / Méthodes de négociation

GI328

Responsable du module : X. LOEFFEL, P BORNET

Volume horaire: 23.75

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

Cet enseignement vise à donner aux futurs ingénieurs, qui vont être amenés à négocier dans tous les types de négociation, les réflexes, tactiques et méthodes destinées à mieux maîtriser et imposer leurs idées. Il leur apprendra également à mieux reconnaître et éviter les pièges en négociation. Il apportera aux futurs ingénieurs une assurance vis-à-vis de leurs interlocuteurs et une efficacité dans la défense de leurs intérêts ou points de vue. Il est plus spécifiquement conçu pour les industries de pointe et les réflexes spécifiques qu'elles nécessitent. Parallèlement, un enseignement sur les achats est donné. Il est axé en particulier sur les procédures d'évaluation des fournisseurs (en liaison avec le cours de logistique industrielle).

## Ingénierie du besoin

IS343

Responsable du module : Jean-luc WIPPLER

Volume horaire: 22.5

Correspondant ISAE : Stephanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de la formation est de produire un "bon" cahier des charges, c'est-à-dire l'expression par un maître d'ouvrage, ou client, de ce qu'il attend en terme de résultats d'un système qu'il souhaite acquérir vis-à-vis d'un maître d'œuvre, ou fournisseur. Ce document sert de base pour le dialogue et la contractualisation entre les deux parties : maître d'ouvrage/ maître d'œuvre ou client/fournisseur.

Le cahier des charges ainsi élaboré doit posséder certaines propriétés remarquables telles : la cohérence (absence de besoins contradictoires), la complétude (tout a été envisagé), la clarté et la lisibilité, □

Pour arriver à produire cette base d'exigences, formalisé au travers du cahier des charges, un processus est proposé, constitué d'un certain nombre d'étapes et de résultats intermédiaires. Ces différentes étapes sont illustrées sur un exemple commenté en cours, puis les élèves ont à traiter et produire un cahier des charges en petit groupe, étape par étape, sur un sujet donné.

## Statistiques industrielles

MA341

Responsable du module : F. BERGERET

Volume horaire: 18.75

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants la connaissance d'une méthode d'amélioration des procédés industriels, le six sigma. À Travers cette méthode, nous approfondirons plusieurs thèmes de la statistique industrielle : l'analyse de données issues d'une base de données, les plans d'expériences et le SPC (Maîtrise Statistique des Procédés).

Cette formation est appliquée, avec de nombreux exemples industriels. Le logiciel statistique JMP ainsi que des expériences réelles sont utilisées pendant la formation.

# Approfondissement Ingénierie Financière (IF)

## Présentation de l'approfondissement

Les procédures modernes de gestion des risques, notamment financiers font appel depuis plusieurs décennies à des techniques élaborées (calcul stochastique, programmation dynamique, théorie des jeux) dépassant les anciennes techniques statistiques de l'économétrie et de l'assurance. L'importance croissante de ces procédures dans les gros groupes industriels et dans les banques et les institutions financières a créé des volumes d'emplois importants qualitativement et quantitativement qui ont induit la création de filières de formation à haute compétence scientifique. L'approfondissement « Ingénierie financière » a été mis en place pour répondre à ces besoins.

Les objectifs de la formation pour les élèves d'approfondissement Ingénierie financière sont :

- Acquérir l'ensemble des outils nécessaires aux métiers de la Finance et de la Gestion des Risques
- Connaissance de la finance d'entreprise, de la finance de marché, de la banque.

## Débouchés et parcours recherche associé

Les élèves-ingénieurs se retrouvent pour la grande majorité d'entre eux dans les débouchés suivants : ingénierie financière: conception de nouveaux produits financiers, salles des marchés, financement de projet, direction financière, audit financier, financement de projet, gestion de portefeuille, analyste financier, fusions et acquisitions.

Un certain nombre d'entre eux poursuivent des études complémentaires ou poursuivent dans la recherche.

L'approfondissement offre la possibilité de suivre le M2R de mathématiques appliquées (option probabilités et statistiques).

---

## Calcul stochastique pour la finance

**MA420**

**Responsable du module :** Herve BOCO

**Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Manuel SAMUELIDES

**Ects:** 2.5

### Descriptif

Ce cours donne les bases mathématiques des techniques de valorisation et de couverture des produits dérivés en finance. C'est un prérequis d'un grand nombre de cours de finance, notamment : Valorisation et couverture des produits dérivés, statistique des processus financiers, méthodes variationnelles des EDP de la finance.

Les bases de probabilités sont rappelées. Puis le mouvement brownien, le calcul stochastique et les processus de diffusion sont présentés de façon pratique.

L'arbre binomial, le modèle de Cox et Rubinstein, la formule de Black et Scholes, la valorisation des options européennes sont des applications fondamentales du cours.

---

## Évaluation et couverture des produits dérivés

**MA421**

**Responsable du module :** N. NALPAS

**Volume horaire:** 25

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 2

### Descriptif

Comprendre la théorie de l'évaluation et de la couverture des produits dérivés, maîtriser les méthodes et les modèles d'évaluation des différents produits dérivés.

---

## Résolution numérique des E.D.P pour la finance

**MA422**

**Responsable du module :** P. VILLEDIEU

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Objectifs du module : Présenter les modèles mathématiques fondamentaux pour la valorisation des produits dérivés ainsi que les principales méthodes utilisées pour leur résolution numérique.

Contenu indicatif du module : Modèle de Black-Scholes et ses variantes. Options européennes et américaines.

Méthodes de Monte-Carlo et méthodes de différences-finies.

## **Apprentissage et applications financières**

**MA423**

**Responsable du module :** J.-M LOUBES

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce cours introduit des nouvelles méthodes statistiques comme les réseaux de neurones et les machines à vecteurs support (SVM). Ces modèles non-linéaires sont étudiés du double point de vue des algorithmes d'optimisation et de leurs capacités d'apprentissage. Ils sont ensuite appliqués à la reconnaissance de formes. Des sessions plus théoriques incluant la dimension de Vapnik et l'apprentissage adaptatif s'adressent aux étudiants du Master Recherche.

## **Maîtrise des risques financiers**

**MA424**

**Responsable du module :** D. HERLEMONT

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce module est une introduction à la gestion des risques financiers dont l'objectif est d'identifier les sources de risque, mesurer les risques et gérer les risques, notamment à travers le concept de Value at Risk (VaR). Le module consiste principalement en un projet d'implémentation de la VaR dans le cadre de la gestion d'un fond, en utilisant des données réelles. Il s'agira de comparer différentes méthodes de Value at Risk telles que la VaR historique et VaR paramétrique normale (RiskMetrics), ainsi que les approximations de type Cornish Fisher.

## **Microstructure des marchés financiers**

**MA425**

**Responsable du module :** Laurent GERMAIN

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Objectifs du module : Connaître l'organisation, la structure et le fonctionnement des marchés financiers. Étudier les marchés financiers contemporains comme la bourse de Paris, de Londres, de Francfort, de Tokyo, le New York Stock Exchange et le Nasdaq. Contenu indicatif du module : Description de l'organisation et de la structure des places financières mondiales. Modèles théoriques de compréhension de la formation des cours. Modèles d'asymétrie d'information.

## **Économétrie des séries temporelles**

**MA426**

**Responsable du module :** Bernard GAREL

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 0.5

### **Descriptif**

Objectifs du module :

Exposer les bases du traitement statistique des séries chronologiques utilisées couramment dans les modèles de prédiction les plus variés et, en particulier, dans les séries temporelles d'indicateurs économiques et financiers. Aborder les techniques statistiques non-linéaires plus spécifiques à l'identification des modèles employés en ingénierie financière.

Contenu indicatif du module : Rappels de statistique et de probabilité - estimation statistique (biais, variance, consistance, maximum de vraisemblance) - tests d'hypothèses - régression linéaire - Économétrie des séries temporelles - modèles ARMA et ARIMA - modèles ARCH, GARCH - étude d'une application réelle

## **Modèles ARCH en finance**

**MA427**

**Responsable du module :** Anne VANHEMS

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 0.5

### **Descriptif**

Objectifs du module :

Exposer les bases du traitement statistique des séries chronologiques utilisées couramment dans les modèles de prédiction les plus variés et, en particulier, dans les séries temporelles d'indicateurs économiques et financiers. Aborder les techniques statistiques non-linéaires plus spécifiques à l'identification des modèles employés en ingénierie financière.

Contenu indicatif du module : Rappels de statistique et de probabilité - estimation statistique (biais, variance, consistance, maximum de vraisemblance) - tests d'hypothèses - régression linéaire - Économétrie des séries temporelles - modèles ARMA et ARIMA - modèles ARCH, GARCH - étude d'une application réelle

## **Statistique des processus en finance**

**MA428**

**Responsable du module :** L. COUTIN

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Objectifs du module : Acquérir les méthodes nécessaires pour estimer les paramètres usuels de volatilité et de tendance dans les modèles de marchés financiers. Acquérir les bases de modélisation non paramétrique des données financières. Contenu indicatif du module : Les modèles de processus de diffusion les plus couramment utilisés en finance : modèles de Black-Scholes, de Vasicek, cox-Ingersol-Ross, etc. L'asymptotique des estimateurs est systématiquement abordée pour chaque modèle étudié.

## **Principes de finance de l'entreprise**

**MA429**

**Responsable du module :** Philippe ROUSSELOT

**Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 2.5

### **Descriptif**

Objectifs du module : Comprendre la formalisation de la théorie financière moderne de l'entreprise. Maîtriser les méthodes d'évaluation des projets d'investissement en particulier la construction et l'utilisation de modèles financiers. Connaître les critères de choix des modes de financements à moyen et long terme. Savoir calculer le coût du capital d'une entreprise et réaliser les analyses de sensibilité nécessaires à la définition d'un projet d'investissement. Contenu indicatif du module : Modes de financement de l'entreprise. Définition du financement de projet, analyse de ses principales caractéristiques. Analyses des risques. Structure financière et coût du capital de l'entreprise. Politique de dividendes. Méthode de construction d'un modèle financier, étude de cas, préparation d'un dossier de financement type.

## **Gestion du risque de taux d'intérêt**

**MA430**

**Responsable du module :** Hervé BOCO

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Apprendre à connaître les différents taux d'intérêt cotés sur les marchés et leur interdépendance à travers la structure par terme des taux d'intérêt. Ce cours fournit aussi les outils pour valoriser les obligations à taux fixes et variables ainsi que certains produits dérivés de taux (FRA, Swaps ...). Enfin, nous introduisons quelques modèles stochastiques de taux d'intérêt.

## **Fusions et acquisitions - risques financiers**

**MA431**

**Responsable du module :** J.-F. VERDIÉ, P. GOSSARD, P. BERGUES

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN

**Ects:** 1

### **Descriptif**

Objectifs du module : connaître le déroulement des OPA/OPE et autres opérations de fusions et acquisition sur les marchés financiers.

Comprendre les déterminants des opérations de fusion acquisitions et la mesure de leurs résultats.

Contenu indicatif du module : marchés financiers et financement des entreprises ; émission d'actions (formalité et procédures, rôle des banques...) ; prise de contrôle en bourse

Financement des prises de contrôle ; moyens de défense anti-OPA et la restructuration d'un groupe ; fusions et opérations assimilées ; intervenants et leur rôle ; prises de contrôle dans le monde ; causes des FA.

# Approfondissement Imagerie (IM)

Présentation de l'approfondissement

Les objectifs de la formation pour les élèves d'approfondissement □Imagerie Spatiale□ sont

- de donner une culture générale du monde de l'image,
- de donner des outils d'analyse et de synthèse utiles pour l'ingénieur et le chercheur (analyse de données, classification, apprentissage, optimisation...)
- de donner une base mathématique solide permettant par la suite de poursuivre dans des domaines d'application ou formations diverses (Imagerie, Physique, Astrophysique, Aéronautique, Spatial, Sciences de la vie, Sciences de la Terre, etc.).

Débouchés et parcours recherche associé

Les élèves- ingénieurs se retrouvent pour la grande majorité d'entre eux dans les débouchés suivants :

- Ingénierie: Imagerie aéronautique et spatiale, analyse d'images, etc.
- Recherche: forte composante « recherche » dans cet approfondissement avec deux M2R associés: M2R « Mathématiques Appliquées » (Université Paul Sabatier) et M2R « Signal Image Acoustique Optimisation » (UPS et INP)
- Applications récentes du traitement d'images et de l'optimisation : Imagerie spatiale, Imagerie médicale, environnement...

---

## Capteurs radar

**ET342**

**Responsable du module :** F. ADRAGNA

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Le radar à synthèse d'ouverture (SAR), aéroporté ou spatial, permet d'imager le sol par tous les temps, de jour comme de nuit, ce qui lui confère un aspect opérationnel évident.

Cette formation permettra aux étudiants d'appréhender le principe du SAR, les choix dimensionnant, les propriétés des images et les traitements spécifiques : principe, dimensionnement système, radiométrie, géométrie, résolution, modes spéciaux... ainsi que les techniques les plus récentes, telles que interférométrie, polarimétrie, traitement multi-date, etc... Enfin, elle comprend un travail d'application sur l'exploitation des images (interprétation, filtrages, traitements, illustrations, ...).

---

## Capteurs image

**ET343**

**Responsable du module :** Pierre MAGNAN

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Pierre MAGNAN

**Ects:** 0.5

### Descriptif

---

## Optimisation stochastique

**MA321**

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU

**Ects:** 1

### Descriptif

Ce cours est une introduction aux processus stochastiques markoviens (chaînes de Markov, Dynamique de Monte-Carlo, Distribution de Gibbs) dans le cadre de l'optimisation stochastique.

---

**Analyse multi-résolution** **MA322**

**Responsable du module :** Denis MATIGNON **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Denis MATIGNON, Emmanuel ZENOU **Ects:** 2

**Descriptif**

Ce cours est une introduction à l'analyse multi-résolution. Il permet d'utiliser cette technique pour extraire les attributs d'une image ou d'un signal et de dresser la carte de la répartition de l'énergie suivant les fréquences locales.

---

**Traitement d'images** **MA323**

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Ce cours est une introduction générale à la vision par ordinateur. Il présente les principaux formalismes mathématiques et les principaux algorithmes liés à l'extraction d'information dans une image.

---

**Techniques avancées en imagerie spatiale** **MA324**

**Responsable du module :** J. ZÉRUBIA **Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 3

**Descriptif**

L'objectif de ce cours est de faire assimiler les techniques classiques de traitement d'image "bas niveau" : " filtrage et segmentation ". Les principales méthodes étudiées sont : méthodes statistiques, méthodes morphologiques, attributs de contour et de textures, détection de contours, fermetures, croissance de région. Des applications seront proposées aux élèves (TP MATLAB, Image Toolbox). Les méthodes markoviennes, multirésolution et variationnelles sont introduites et replacées dans un cadre général en coordination avec les cours correspondants.

---

**Analyse de données** **MA325**

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

**Descriptif**

L'analyse de données est un domaine d'étude en pleine expansion, pour lequel les applications ne manquent pas : traitement du signal et de l'image, le médical, la biologie, et également la banque, le marketing ou la sociologie. L'analyse de données aborde deux domaines des statistiques : les statistiques descriptives (ACP, AFD) et la modélisation statistique (modèle linéaire, arbres de décision, réseaux de neurones) Les principes vus en cours seront appliqués sur une base de données au moyen de différents logiciels (MatLab, R).

---

**Apprentissage et reconnaissance des formes** **MA326**

**Responsable du module :** J.-M LOUBES **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Laurent GERMAIN **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Ce cours introduit des nouvelles méthodes statistiques comme les réseaux de neurones et les machines à vecteurs support (SVM). Ces modèles non-linéaires sont étudiés du double point de vue des algorithmes d'optimisation et de leurs capacités d'apprentissage. Ils sont ensuite appliqués à la reconnaissance de formes Des sessions plus théoriques incluant la dimension de Vapnik et l'apprentissage adaptatif s'adressent aux étudiants du Master Recherche.

---

**Méthodes variationnelles** **MA327**

**Responsable du module :** G. AUBERT **Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1

**Descriptif**

Ce cours est une introduction aux méthodes variationnelles intervenant en filtrage et en segmentation des images. On s'intéressera dans un premier temps aux modèles discrets comme les champs markoviens ou de Gibbs puis on mettra l'accent sur les modèles continus comme le modèle de Marr-Hildreth et Perona-Malik, de propagation par courbure moyenne, et au-delà sur la conjecture de Mumford et Shah.

---

**Téledétection** **MA328**

**Responsable du module :** M GRIPPA **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Ce cours détaille les principales caractéristiques des images de télédétection et la façon dont elles sont exploitées. Le cours est illustré par des applications réelles.

---

**Applications cartographiques** **MA329**

**Responsable du module :** Ph. CORNIC **Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 0.5

**Descriptif**

Réalisation des fonctions de localisation et localisation inverse du capteur SPOT et application au calcul de modèle numérique de terrain par stéréoscopie.

---

**Stéréovision et calibrage** **MA330**

**Responsable du module :** S. LACROIX **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Ce cours a pour objectif de familiariser les étudiants avec les techniques de traitements d'images stéréoscopiques. Il s'agit d'abord de formaliser le problème de l'exploitation de plusieurs vues ce qui relève de développements géométriques. On considèrera ensuite le problème de la calibration du système qui fait intervenir des outils d'estimation statistique. Puis, nous aborderons la mise en correspondance qui relève de techniques de traitement d'images (extraction de primitives, modèles bas niveau) et d'optimisation. On cherchera à illustrer les propos par des exemples d'applications, en particulier la stéréoscopie satellitaire et aérienne, et à différencier les problèmes rencontrés selon le type d'images. Enfin, des notions élémentaires de géométrie projective seront introduites dans le cadre de ce module.

---

**Systèmes d'information géographique** **MA331**

**Responsable du module :** Jean-Yves GARINET **Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 0.5

**Descriptif**

Un Système d'Information Géographique (SIG) est l'ensemble des matériels, logiciels, données, personnes, et compétences mis en place pour analyser un territoire. Le but de ce cours est d'introduire les notions de base des systèmes d'information géographiques qui sont au cœur aujourd'hui d'applications aussi diverses que le renseignement militaire, la modélisation spatiale ou la cartographie d'environnements connus ou inconnus.

---

**Océanographie** **MA333**

**Responsable du module :** Bénédicte ESCUDIER **Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 0.5

**Descriptif**

# Approfondissement Systèmes Informatiques (IN)

Présentation et organisation de l'approfondissement

L'informatique a connu comme science du traitement de l'information un bond phénoménal depuis 50 ans environ. Elle apparaît comme une science et un outil support indispensable de nos jours à toutes les entreprises et aux autres disciplines scientifiques. On la retrouve dans les domaines des systèmes d'information, du calcul scientifique, des systèmes temps réel, de l'ingénierie des connaissances, du contrôle de grands systèmes industriels etc. L'approfondissement peut donc être le prolongement de n'importe lequel domaine de troisième année.

L'approfondissement Systèmes Informatiques a pour but de fournir aux étudiants les techniques, méthodes et fondements scientifiques de la discipline informatique. Cet approfondissement propose un tronc commun de 9 modules permettant de poser un socle de connaissances solides sur lequel l'étudiant pourra s'appuyer lors de sa vie professionnelle. Trois blocs de modules optionnels de 20h chacun permettent ensuite de colorer l'approfondissement avec une teinte « systèmes d'information » ou « systèmes informatiques embarqués ».

Dans cet approfondissement, les élèves doivent choisir 3 modules :

- choix entre IN328 et AU340
- choix entre IN325 et IN330
- choix entre MA325 et IN332

Plutôt que de se focaliser sur les dernières technologies à la mode, les modules contiennent toujours un enseignement fondamental permettant aux étudiants de mieux appréhender les notions abordées, de juger les technologies concernées et d'être réactifs dans leur vie professionnelle. Une vision « pragmatique » de l'informatique n'est cependant pas négligée et chaque module contient dès que possible des Bureaux d'Études permettant aux étudiants de se confronter à des cas concrets.

Un projet concret d'un volume de 20h utilisant tous les cours de l'approfondissement sera réalisé par les étudiants. Le cahier des charges de ce projet sera extrait d'un projet industriel.

Débouchés et parcours recherche associé

S'il paraît évident que les systèmes informatiques embarqués jouent un rôle important dans les secteurs aéronautique et spatial, les systèmes d'information y prennent une part grandissante. Les autres secteurs industriels sont également friands d'ingénieurs ayant un bon bagage scientifique en informatique.

Les élèves ingénieurs ayant suivi cet approfondissement pourront occuper naturellement le poste d'architecte de systèmes d'information, une place dans un bureau d'étude en systèmes embarqués ou dans une Direction Informatique d'une grande entreprise, voire dans un département de Recherche et Développement. Les perspectives de progression pour les ingénieurs SUPAERO ayant suivis l'approfondissement sont souvent très valorisantes. Cette voie leur donne aussi la possibilité de s'engager dans les métiers du conseil ou de la banque.

L'informatique est également une discipline très vivante au niveau de la recherche fondamentale et appliquée. Les élèves pourront suivre les Masters Recherche suivants :

- Master recherche Informatique et Télécommunications, parcours Intelligence Artificielle
- Master recherche Informatique et Télécommunications, parcours Sûreté du Logiciel et Calcul Haute Performance
- Master Systèmes Automatiques, Informatiques et Décisionnels, parcours Systèmes Informatiques

---

## **Informatique temps réel et synthèse d'une loi de commande numérique**

**AU340**

**Responsable du module :** Caroline BERARD, Jacques LAMAISON

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Caroline BERARD

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Cet enseignement introduit les concepts, méthodes et outils nécessaires à la conception et à la mise en œuvre des systèmes de traitement de l'information dédiés au contrôle de processus. Les outils et méthodes utilisés pour le développement de logiciels temps réel et la commande numérique sont illustrés par le développement d'une application de commande d'un axe de satellite. Ce module est suivi avec les étudiants de l'approfondissement AU.

## Métadonnées et XML

IN320

Responsable du module : Y. AIT-AMEUR

Volume horaire: 31.25

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 2.5

### Descriptif

Ce cours a pour fonction principale d'amener l'étudiant à maîtriser le processus de développement des bases de données avancées (fédérées, réparties, hétérogènes, objets, actives, déductives). Au cours des 10 dernières années, les concepts objets ont profondément modifié la conception et les architectures des bases de données à travers deux principaux éléments: l'intégration d'éléments procéduraux dans les données (ECA, dérivation, méthodes, inférences) et la représentation uniforme des modèles (instances de méta-modèles) et des données. Ce cours présente l'état de l'art résultant de ces évolutions du triple point de vue de la conception, de la gestion et de l'échange de données

## Architecture des calculateurs et réseaux

IN321

Responsable du module : B. D'AUSBOURG

Volume horaire: 11.25

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 0.5

### Descriptif

Ce cours a pour but de fournir quelques bases sur les calculateurs et les réseaux informatiques.

Dans une première partie, il s'agira d'introduire la notion d'architectures de calculateur et l'organisation des ressources de traitement et de stockage de l'information. Les dernières générations de microprocesseurs serviront d'illustration.

Dans une deuxième partie, l'aspect communication sera traité avec une introduction aux réseaux de communication et aux principaux protocoles UDP et TCP/IP. L'interface de programmation depuis le langage C sera fournie.

## Validation des systèmes informatiques

IN322

Responsable du module : Pierre SIRON

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 2.5

### Descriptif

Ce module a pour objectif de décrire les approches et formalismes d'expression d'exigences, de spécification et de conception spécifiques des systèmes informatiques. On présentera les techniques (par preuve, vérification de modèles et simulation) mises en œuvre pour assurer la validation d'une conception par rapport aux exigences de bon fonctionnement exprimées durant une analyse des besoins.

## Informatique parallèle et répartie

IN323

Responsable du module : Pierre SIRON, M ADELANATDO

Volume horaire: 11.25

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Ects: 0.5

### Descriptif

L'utilisation de calculateurs parallèles ou distribués est nécessaire pour la recherche de hautes performances et la haute disponibilité. Habituelle dans le domaine du calcul scientifique, elle est maintenant envisagée pour la mise en œuvre de fonctions embarquées. Dans ce module, il s'agit de présenter une taxinomie des différentes formes de parallélisme et de distribution et les concepts liés à la programmation des multiprocesseurs et des réseaux de processeurs.

## Programmation logique et applications à l'intelligence artificielle

IN325

Responsable du module : J. MENGIN

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Ects: 1.5

### Descriptif

Dans une première partie, on présente les principes de base de la programmation logique : définitions logiques de relations; requêtes et recherche de solutions par résolution. On introduit ensuite le langage Prolog : syntaxe, données structurées, arithmétiques, entrées/sorties, méta-prédicats, second ordre...

La seconde partie présente quelques thèmes d'intelligence artificielle. L'un de ces thèmes donne lieu à un petit projet de programmation en Prolog.

## Projet

IN326

**Responsable du module :** Christophe GARION

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Christophe GARION

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Cette activité a pour objectif de mettre les étudiants en situation de développement de projet réel. Les élèves sont organisés en groupe solidaire. A partir d'un cahier des charges définissant la finalité du projet (réalisation concrète), en appliquant une approche système et les principes essentiels d'une gestion projet, ils réalisent les études, les bibliographies, les matériels, les logiciels, les expérimentations et les essais nécessaires au développement du projet.

## Sécurité informatique

IN327

**Responsable du module :** R. ORTALO

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Pierre SIRON

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Ce module aborde les principaux thèmes de la sécurité des systèmes informatiques, sous les axes théoriques et pratiques.

On s'attachera donc ainsi à définir rapidement la sécurité-confidentialité et à présenter la manière dont ce sujet peut être pris en compte dans l'organisation interne des entreprises et des administrations, ainsi que par les acteurs spécialisés dans ce domaine (qui sont assez variés : CNIL, DCSSI/SGDN ou US-CERT).

Ensuite, nous abordons des aspects plus théoriques de la sécurité des systèmes informatiques en présentant quelques éléments de cryptographie, les rudiments des protocoles d'authentification, les principales politiques de sécurité formelles et les modèles de sécurité associés, ainsi que les critères d'évaluation de la sécurité.

Une part importante du temps est accordé à la présentation du principal type de système de contrôle d'accès réseau utilisé concrètement dans la pratique pour traiter la sécurité des systèmes informatiques actuels : les firewalls, que nous abordons essentiellement au travers de la définition d'architectures de protection. Nous mettons aussi l'accent sur certains enjeux liés à la détection d'intrusion et la surveillance des systèmes informatiques.

Enfin, il s'agit aussi d'aborder concrètement des éléments de paramétrage d'applications courantes pour illustrer de (bonnes) pratiques pouvant contribuer à la sécurité d'un système informatique.

## Programmation distribuée avec Java et J2EE

IN328

**Responsable du module :** Christophe GARION

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Christophe GARION

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Le but de ce module est de présenter les principes de programmation d'applications distribuées, plus particulièrement des systèmes d'information conçus sur un modèle multi-couches. La plateforme d'application pour ce module est J2EE. Dans un premier temps, les principes des RPC sont présentés via l'API RMI de Java. La couche de présentation est implantée via des Servlets et des JSP. Enfin, l'interaction vers la couche de stockage se fait via le framework Hibernate.

## Système d'exploitation

IN329

**Responsable du module :** Pierre SIRON, Christophe GARION

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Pierre SIRON

**Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants une compréhension la plus complète possible du fonctionnement d'un système d'exploitation. L'étude des systèmes d'exploitation fournit aux étudiants une meilleure compréhension de l'interaction entre une application et la machine hôte et leur propose un certain nombre de solutions à des problèmes difficiles qui peuvent être réutilisés par la suite. Les points suivants seront abordés : gestion des processus, communication et synchronisation entre processus, gestion de la mémoire, fonctions système C, étude du noyau Linux et de la JVM Java.

---

**Systèmes informatiques embarqués : architecture** **IN330**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Ects:** 1.5

**Descriptif**

Cet enseignement de l'approfondissement SI a pour objectif de caractériser les systèmes informatiques embarqués, systèmes répartis temps réel, fortement contraints par leur environnement, des considérations économiques de plus en plus dures et une sûreté de fonctionnement très souvent critique. Une partie de l'enseignement est consacrée aux architectures et aux ressources de traitement de l'information intégrées dans les systèmes aéronautiques et les systèmes spatiaux.

---

**Génie logiciel** **IN331**

**Responsable du module :** Christophe GARION **Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Christophe GARION **Ects:** 0.5

**Descriptif**

Le but de ce module est de proposer aux étudiants des techniques et outils leur permettant de mener à bien des projets informatiques conséquents. Pour cela, les différents cycles de vie du logiciel leur seront présentés, ainsi que différents processus. On insistera également sur UML et les design patterns et le développement guidé par les tests. Enfin, un certain nombre d'outils (gestion de configuration, suivi de bugs etc.) seront manipulés.

---

**Réseaux et liaisons informatiques embarqués** **IN332**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Ects:** 1.5

**Descriptif**

La conception de systèmes de traitement de l'information répartis, ont entraîné la mise en œuvre de systèmes de communication divers et de plus en plus sophistiqués. Ces systèmes de communication doivent proposer des services prenant en compte des contraintes temporelles ainsi que l'intégrité de la transmission.

Les réseaux de communication évoqués dans cet enseignement sont largement répandus et leur utilisation est déterminante dans des applications aéronautiques, spatiales et automobile.

---

**Génie logiciel et langages temps réel** **IN333**

**Responsable du module :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Volume horaire:** 32.5

**Correspondant ISAE :** Jean-Charles CHAUDEMAR **Ects:** 2.5

**Descriptif**

Cet enseignement a pour objectif de faire découvrir aux étudiants de l'approfondissement IN des techniques et des outils de développement de systèmes temps réel de plus en plus utilisés dans l'industrie.

Cet enseignement est organisé en trois parties. La première partie porte sur l'utilisation, en phase de spécification, du langage de modélisation UML dans un contexte temps réel. La deuxième partie est consacrée à la présentation du langage temps réel ADA en insistant sur les concepts du temps réel qui fondent ce langage de programmation largement utilisé dans les applications d'avionique ou dans le domaine des systèmes spatiaux. La troisième partie, de façon plus approfondie que dans le module temps réel, traite de l'approche synchrone, utilisée pour la modélisation des systèmes temps réel, et des langages de programmation (Lustre, Estérel) associés à cette approche.

---

**Analyse de données** **MA325**

**Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5

**Descriptif**

L'analyse de données est un domaine d'étude en pleine expansion, pour lequel les applications ne manquent pas : traitement du signal et de l'image, le médical, la biologie, et également la banque, le marketing ou la sociologie.

L'analyse de données aborde deux domaines des statistiques : les statistiques descriptives (ACP, AFD) et la modélisation statistique (modèle linéaire, arbres de décision, réseaux de neurones) Les principes vus en cours seront appliqués sur une base de données au moyen de différents logiciels (MatLab, R).

# Approfondissement Propulsion (PR)

## Présentation de l'approfondissement

Le but de cet approfondissement est de former des spécialistes de propulsion aéronautique et spatiale ayant de solides connaissances en mécanique des fluides, en énergétique et en mécanique du solide (structures, matériaux). Ces ingénieurs seront capables de concevoir et utiliser tous les systèmes de propulsion aérospatiaux ou terrestres en particulier en travaillant dans les bureaux d'étude chez les avionneurs ou les motoristes.

Le contenu de cet enseignement comporte en plus des disciplines de base en aérothermodynamique et en aérodynamique interne, des compléments en aérothermique, en aéroacoustique et en écoulements diphasiques et réactifs nécessaires à la compréhension des processus physiques couplés intervenant dans les différents éléments des systèmes propulsifs (aéronautique et spatial). On notera que ces disciplines seront enseignées dans une perspective de prise en compte des contraintes environnementales. Le turboréacteur et ses dérivés seront abordés en traitant les différents aspects en respectant une approche système (en plus de la vision aérodynamique interne, la composante structure et la composante régulation). Les différents principes de propulsion spatiale (moteurs fusée, plasmique et ionique) seront détaillés dans cet approfondissement.

## Parcours recherche associé

Les enseignements de cet approfondissement peuvent être retenus pour valider des modules à option du Master recherche M2 « Mécanique des fluides et énergétique » (École doctorale MEGEP).

Les ingénieurs ayant suivi l'approfondissement « Propulsion » ont accès à une très grande variété de postes dans l'industrie. Cette formation donne accès notamment aux secteurs R&D de l'industrie dans divers domaines, comme l'aéronautique et le spatial, l'automobile, l'industrie gazière et pétrolière, ou autre. Ces domaines industriels sont maintenant demandeurs de titulaires de doctorats pour le développement de leurs secteurs R&D.

---

## Aérothermique

PE420

Responsable du module : P. MILLAN

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

### Descriptif

Un des objectifs de cet enseignement est de donner les bases de la compréhension des différents transferts de chaleur intervenant dans un système énergétique : moteur de fusée, turboréacteur ou turbine à gaz, moteur à explosion. Il a pour but de décrire les trois modes de transfert de chaleur : conduction, rayonnement et convection tant d'un point de vue local que global, en régime stationnaire et instationnaire. Cette description montrera les champs d'application et les limites de ces analyses du transfert de chaleur, nécessaires pour des approches amont ou applicatives (de type industrielles) du couplage de ces trois modes de transfert.

---

## Écoulement diphasique et combustion

PE421

Responsable du module : Gérard LAVERGNE

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Gérard LAVERGNE

Ects: 2.5

### Descriptif

L'objectif de ce module est de fournir aux étudiants les bases de connaissance nécessaires au développement d'un avant projet d'un foyer de combustion de systèmes propulsifs utilisant un carburant gazeux ou liquide. La combustion en milieu diphasique est abordée suivant deux étapes complémentaires :  
Présentation des différentes approches de simulation numérique d'un écoulement diphasique gaz/gouttes (Euler/Euler, Euler/Lagrange, LES, DNS) et de la modélisation des phénomènes d'interaction entre phases en régime d'évaporation. Application à l'injection d'un carburant liquide avec modélisation des principaux processus physiques depuis l'intérieur du système d'injection jusqu'à l'allumage (phase de préparation à la combustion).  
Présentation des différents régimes de combustion et de leur modélisation (flamme laminaire ou turbulente, prémélangée ou de diffusion)

Différentes applications de ce cours sont développées dans le cadre d'exercices, de bureaux d'études (avant projet de foyer de combustion, approche numérique de la combustion diphasique), de travaux pratiques (banc flamme laminaire au laboratoire de propulsion), d'un Projet d'Initiation à la Recherche (PIR) réalisé à l'ONERA et d'un projet en équipe intégrée.

## Aéroacoustique

PE422

Responsable du module : Franck SIMON

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

### Descriptif

Équation d'onde milieu au repos, ondes planes, ondes sphériques, impédances, analyse 1/3 d'octave, métrologie.  
Intensité acoustique: définition, technique de mesure, instrumentation, applications. unités acoustiques.  
Propagation acoustique en milieu guidé : décomposition modale, fréquences de coupure, application aux conduits à section rectangulaire et circulaire.  
Rayonnement sonore en champ libre.  
Génération et propagation des sons d'interaction entre rotor et stator.  
Aperçu sur les méthodes numériques et intérêt des modèles semi-empiriques.  
Les différents types de ventilateurs et leurs caractéristiques aérauliques  
Bruit des ventilateurs : origine du bruit de raies et large bande, moyens de réduction du bruit, lois de similitude, estimation du niveau de bruit, effets d'installation.

## Aérodynamique des turbomachines

PE423

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 30

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

### Descriptif

L'optimisation de l'aérodynamique interne des turboréacteurs est indispensable pour obtenir une poussée maximale et définir des compresseurs et des turbines avec des rendements élevés  
Ce cours développe dans la première partie le fonctionnement des entrées d'air subsonique et supersonique et des tuyères avec effets visqueux et corrections au col et à la sortie incluant les décollements.  
La deuxième partie traite le fonctionnement des grilles d'aubes de compresseurs et de turbines axiales et centrifuges ainsi que les méthodes numériques associées

## Structures des machines en rotation

PE424

Responsable du module : AUDIC

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

### Descriptif

Présentation du fonctionnement mécanique d'un turboréacteur, de ses différentes pièces et de leur interaction.  
Vue générale de différents aspects de la conception mécanique : disques, aubes, dynamique d'ensemble  
Application au dimensionnement préliminaire d'un disque, d'une aube et d'un arbre de rotor.  
Présentation des exigences de certification et moyens mis en œuvre par le concepteur pour y répondre.

## Matériaux moteur

PE425

Responsable du module : Philippe LOURS

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1

### Descriptif

Cet enseignement présente les différents matériaux spécifiques utilisés sur les moteurs aéronautiques, leurs propriétés et leurs utilisations : en particulier au niveau des turbines, les matériaux réfractaires, à solidification dirigée, les techniques de fabrications sans et avec le film cooling, les matériaux composites chauds et froids (aubes compresseur, abrasable, nid d'abeille..).

## Régulation des turbomachines

PE426

Responsable du module : A. GARASSINO

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de montrer les difficultés spécifiques à la régulation des turbomachines. Pour ce, à partir des lois de la thermodynamique, il sera montré comment il est possible de régler le point de fonctionnement en régimes stabilisés et transitoires en contrôlant le débit carburant, la section de tuyère et les géométries variables.  
Il sera en particulier examiné comment il est possible de réguler la poussée sans capteur de poussée et de respecter en même temps toutes les limitations (pompages, survitesses, surtempératures,...)  
Il sera ensuite décrit comment sont réalisées matériellement ces régulations en détaillant les systèmes hydromécaniques (système de pompage, dosage carburant, injection, pilotage des géométries variables) et les

systèmes électroniques (capteurs, calculateurs moteur, actionneurs, réseaux correcteurs numériques, détection de pannes) embarqués.

Une attention particulière sera portée à la méthodologie de développement système, hardware et software.

---

## Propulsion chimique

PE427

**Responsable du module :** J.-C. TRICOT, Lionel CARIÉS

**Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 2

### Descriptif

Description du fonctionnement d'un propulseur à propergol solide : domaines d'application, fonctionnement interne, définition des différents sous ensembles (tuyère, CVP, corps de propulseur chargé, allumeur), ainsi que des technologies et matériaux utilisés. Exemple d'essais de mise au point.

Pré-dimensionnement d'un moteur à propergol solide.

---

## CFD

PE428

**Responsable du module :** Jérémie GRESSIER

**Volume horaire:** 10

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 1

### Descriptif

---

## Projet long moteur

PE429

**Responsable du module :** Jérémie GRESSIER

**Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Jérémie GRESSIER

**Ects:** 3

### Descriptif

Ce cours consiste en l'avant projet complet d'un moteur du type au choix :

- réacteur d'avion (civil ou militaire)
- moteur fusée à propergol
- moteur à combustion interne appliqué à l'automobile

Lors de cet enseignement les étudiants définissent

- le cycle du moteur
- les performances en vol ou au sol
- le dimensionnement mécanique et aérodynamique
- son intégration dans un système

# Approfondissement Physique Spatiale (PS)

Présentation de l'approfondissement

Adossé au domaine Systèmes Spatiaux, cet approfondissement présente un contenu équilibré entre des connaissances de physique fondamentale et de physique appliquée. Il constitue une première étape d'un parcours pouvant ensuite s'orienter dans plusieurs directions : astrophysique, environnement terrestre, télédétection, □

Débouchés et parcours recherche associé

L'ouverture sur la recherche est l'une des caractéristiques de cet approfondissement puisqu'il comporte des modules pouvant être utilisés en équivalence de certains cours dispensés dans le Master Recherche ASEP (Astrophysique, Sciences de l'Espace, Planétologie) auquel SUPAERO est co-habilité.

La physique spatiale et l'imagerie sont d'ailleurs bien implantées dans plusieurs centres de recherche toulousains : OMP, CESBIO, CNES, ONERA/DESP et DOTA, □

---

## Optimisation stochastique

MA321

Responsable du module : Emmanuel ZENOU

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Emmanuel ZENOU

Ects: 1

### Descriptif

Ce cours est une introduction aux processus stochastiques markoviens (chaînes de Markov, Dynamique de Monte-Carlo, Distribution de Gibbs) dans le cadre de l'optimisation stochastique.

---

## Traitement d'images

MA323

Responsable du module : Emmanuel ZENOU

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Emmanuel ZENOU

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce cours est une introduction générale à la vision par ordinateur. Il présente les principaux formalismes mathématiques et les principaux algorithmes liés à l'extraction d'information dans une image.

---

## Techniques avancées en imagerie spatiale

MA324

Responsable du module : J. ZÉRUBIA

Volume horaire: 40

Correspondant ISAE : Emmanuel ZENOU

Ects: 3

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de faire assimiler les techniques classiques de traitement d'image "bas niveau" : " filtrage et segmentation ". Les principales méthodes étudiées sont : méthodes statistiques, méthodes morphologiques, attributs de contour et de textures, détection de contours, fermetures, croissance de région. Des applications seront proposées aux élèves (TP MATLAB, Image Toolbox). Les méthodes markoviennes, multirésolution et variationnelles sont introduites et replacées dans un cadre général en coordination avec les cours correspondants.

---

## Gravitation

PH320

Responsable du module : G. SOUCAIL

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Jean-claude MOLLIER

Ects: 1

### Descriptif

Principe de relativité générale et équations d'Einstein. Applications de la relativité générale dans le système solaire ; ondes gravitationnelles ; trous noirs ; cosmologie.

<b>Dynamique des fluides astrophysique</b>	<b>PH321</b>
<b>Responsable du module :</b> M. RIEUTORD	<b>Volume horaire:</b> 15
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Stabilité des écoulements, convection thermique, fluides en rotation ; ondes de choc ; introduction à la turbulence ; MHD.	
<b>Physique des plasmas</b>	<b>PH322</b>
<b>Responsable du module :</b> D. LAZARO	<b>Volume horaire:</b> 15
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Phénomènes individuels, trajectoires, aspects particuliers ; Fonction de distribution et équation de Vlasov ; ondes dans les plasmas ; phénomènes d'accélération.	
<b>Mini projet</b>	<b>PH324</b>
<b>Responsable du module :</b> Bénédicte ESCUDIER, Jean-claude MOLLIER	<b>Volume horaire:</b> 40
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 3
<b>Descriptif</b>	
Les projets IM sont des projets individuels dont le sujet est donné en fonction des orientations que prennent les étudiants : il y a des projets à vocation ingénierie ou recherche. Les sujets sont définis avec les partenaires industriels ou académiques.	
<b>Optique pour l'environnement</b>	<b>PH325</b>
<b>Responsable du module :</b> X. BRIOTTET	<b>Volume horaire:</b> 20
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	
Propagation du rayonnement dans des milieux inhomogènes; phénomènes d'absorption et de diffusion ; équation du transfert radiatif ; application à l'atmosphère : modèles raie-par-raie /de bandes.	
<b>Imagerie aéroportée</b>	<b>PH326</b>
<b>Responsable du module :</b> J. ISBERT	<b>Volume horaire:</b> 15
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 1
<b>Descriptif</b>	
Sources laser (caractéristiques, propriétés, performances) ; Optique collectrice (télescopes) ;FTM. Détection directe, hétérodyne.	
<b>Physique des systèmes imageurs</b>	<b>PH327</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Volume horaire:</b> 13.75
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude MOLLIER	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	
-imagerie passive (visible et I.R.) : Techniques d'acquisition (hyperspectral, polarisation,□) -imagerie active : 2D, flash, 3D ; limitations et applications. -lidars anémométriques, atmosphériques. Imagerie Térakertz : technologies et performances ; domaines d'application (spectroscopie, biologie, sécurité,□).	

## **Communications optiques**

**PH328**

**Responsable du module :** Jean-claude MOLLIER

**Volume horaire:** 22.5

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Liaisons optiques terrestres, inter-satellites ; liaisons à fibres optiques (avantages / liaisons électriques) ; performances, compromis distance-débit ;  
Éléments de physique des émetteurs et détecteurs.

## **Imagerie THz**

**PH329**

**Responsable du module :** Jean-claude MOLLIER

**Volume horaire:** 12.5

**Correspondant ISAE :** Jean-claude MOLLIER

**Ects:** 1

### **Descriptif**

L'objectif de ce module est de présenter ( par des spécialistes du domaine)les potentialités de cette technique d'imagerie dans divers domaines: biophysique, astrophysique, sécurité-défense,...

# Approfondissement Structures (ST)

## Présentation de l'approfondissement

L'objectif de cette formation est d'acquérir une culture approfondie dans le génie mécanique appliqué à l'aéronautique et à l'espace en développant les fondamentaux acquis dans le tronc commun deuxième année, notamment en mécanique du solide. Le Master Recherche Génie Mécanique peut lui être associé.

Plus précisément, cet approfondissement vise à développer les aptitudes au calcul numérique des structures, la culture matériaux et la connaissance sur les interactions fluides-structures, l'expertise liée à la qualification et la certification structurale. La dynamique des structures souples, la modélisation et le contrôle des éléments structuraux complexes constituent un enjeu majeur de l'approfondissement. Il ouvre ainsi des débouchés très variés dans les bureaux d'étude de calcul des structures et dans la conception de véhicules aéronautiques et spatiaux.

## Parcours recherche associé

L'approfondissement Structures peut être utilement associé au Master Recherche Génie Mécanique de Toulouse. En effet, pour les étudiants qui choisissent ce Master dans le cadre de l'approfondissement ST, les cours supplémentaires se réduisent aux quatre modules du tronc commun Master □ Dynamique, Composites, Optimisation, Plasticité □ qui sont de plus donnés à SUPAERO. Ce parcours ouvre des perspectives recherche dans les thématiques de l'Institut de Génie Mécanique de Toulouse, et notamment dans celles qui sont portées par SUPAERO, à savoir la modélisation de l'endommagement composite pour la certification structurale, et la maîtrise de l'environnement dynamique structural pour le contrôle vibratoire, dans le cadre de coopérations industrielles et internationales. Il prépare aussi très efficacement et très directement à tous les métiers de l'industrie avions, lanceurs, hélicoptères ou véhicules terrestres dans lesquels une composante R&D mécanique des solides est pertinente. Ces métiers, en Bureau d'Étude Développement, Certification, Centres d'essais de Qualification, offrent une très grande variété de missions et d'évolutions potentielles.

---

## Flux de chaleur et traînée de frottement

**AE323**

**Responsable du module :** Jean COUSTEIX

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Allan BONNET

**Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de ce cours est de donner une description des phénomènes visqueux et turbulents qui se produisent sur un aéronef comme un avion commercial transsonique ou supersonique. Les méthodes de calcul de ces phénomènes sont également présentées.

On insiste sur les éléments qui contribuent à la traînée et aux échanges de chaleur à l'interface fluide-solide.

---

## Dynamique avancée des structures

**SM320**

**Responsable du module :** Alain GIRARD

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Ce module vise à développer les compétences dans l'analyse dynamique de structures industrielles. Les outils d'analyse modale, de recalage et de traitement par masses effectives et résidus sont présentés et illustrés. Une visite industrielle complète ce module.

---

## Calcul de structures par éléments finis

**SM321**

**Responsable du module :** Michel MAHE

**Volume horaire:** 42.5

**Correspondant ISAE :** Joseph MORLIER

**Ects:** 3.5

### Descriptif

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

Ce module est destiné à sensibiliser les étudiants à l'importance des hypothèses des modèles utilisés ainsi que des limitations des outils de calcul. Il doit permettre aux étudiants d'établir les choix de modélisation les plus efficaces en fonction de l'objectif visé.

La place croissante des analyses non linéaires et dynamique transitoire impose une connaissance des limites de

l'analyse linéaire statique avec des éléments permettant d'orienter les choix vers des modélisations plus réalistes mais aussi plus complexes à maîtriser.  
Ce module permet la maîtrise des analyses par M.E.F. aujourd'hui réalisées classiquement dans l'industrie. Des Bureaux d'Étude sur logiciel commercial font partie de la formation.

---

### **Matériaux structuraux, matériaux composites**

**SM322**

**Responsable du module :** Philippe LOURS

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

#### **Descriptif**

Présenter les propriétés des différentes familles de matériaux utilisés dans les structures aéronautiques et spatiales.

---

### **Matériaux spéciaux**

**SM323**

**Responsable du module :** J.-Y. GUÉDOU

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

#### **Descriptif**

Ce module est dédié aux matériaux spéciaux travaillant dans des ambiances extrêmes thermomécaniques (propulsion, turbines, machines tournante).

Pour chaque catégorie de matériaux spéciaux, ce module présente :

- les propriétés générales mécaniques et thermiques
- les procédés d'élaboration et de mise en œuvre
- les applications technologiques et industrielles

---

### **Charges avion**

**SM324**

**Responsable du module :** Robert FINANCE

**Volume horaire:** 21.25

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

#### **Descriptif**

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.

---

### **Structure des aéronefs**

**SM325**

**Responsable du module :** Jean-marie FEHRENBACH

**Volume horaire:** 40

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 2

#### **Descriptif**

Ce cours a pour objectifs de permettre de :

- \* comprendre, à partir de l'application des méthodes élémentaires, le mode de travail de la structure et appréhender le rôle des principaux éléments constitutifs de la cellule (architecture),
- \* s'approprier les modèles élémentaires de la mécanique de la rupture et du comportement en fatigue (justification vis-à-vis du vieillissement en service).

---

### **Structures des satellites**

**SM326**

**Responsable du module :** Didier GANGLOFF

**Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 2.5

#### **Descriptif**

Le but de ce module est de présenter des notions sur les structures des satellites et des lanceurs ainsi que les méthodes utilisées pour le dimensionnement de ces structures.

Une première partie du module est consacrée à la présentation des satellites, des charges utiles de télécommunications et des lanceurs et de leurs chaînes fonctionnelles associées. Un exemple typique : PROTON est présenté.

La deuxième partie aborde les aspects environnement et design des structures. On rappelle les différentes contraintes liées à l'environnement et les différentes méthodes employées pour dimensionner les structures. Les matériaux, certaines techniques de fabrication et les essais de vérification sont à leur tour présentés.

Une dernière partie aborde un cas concret : le dimensionnement d'antennes de satellites et la présentation des technologies utilisées.

## **Technologie des missiles**

**SM327**

**Responsable du module :** M. MONTAGNE

**Volume horaire:** 18.75

**Correspondant ISAE :** Yves GOURINAT

**Ects:** 1.5

### **Descriptif**

Ce module est une présentation des technologies concernant les missiles balistiques et tactiques. Il a pour but de fournir aux élèves une vue générale de ces aspects afin de les familiariser avec ces technologies pour une utilisation potentielle dans leur vie professionnelle future. Le cours est découpé en cours magistraux, bureaux d'étude (permettant de présenter les problèmes spécifiques à ces missiles) et se conclue par une visite de l'établissement d'Aquitaine d'EADS-ST pour une illustration industrielle et concrète des technologies utilisées. Les thèmes présentés en cours sont : historique des missiles et utilisations opérationnelles, différence entre missiles tactiques et balistiques, du besoin opérationnel à la spécification des missiles tactiques, architecture, technologies des missiles tactiques, aérodynamique et propulsion des missiles tactiques, les missiles balistiques, les différentes phases de vie, les technologies utilisées, les missiles balistiques dans le monde, les problèmes de prolifération, les systèmes anti-missiles.

# Approfondissement Télécommunications, Navigation (TN)

## Présentation de l'approfondissement

Cet approfondissement apporte aux étudiants une connaissance exploitable des outils, techniques et technologies pour les systèmes de communications et de navigation de l'aéronautique et de l'espace. Pour ce faire, le programme de l'approfondissement est organisé selon plusieurs lignes directrices :

- Appréhender les aspects systèmes en mettant l'accent sur les environnements, les limitations et contraintes, les interfaces et les performances attendues.
- Approfondir les disciplines qui interagissent dans la conception de ces systèmes : électronique, traitement de signal, communications, informatique et réseaux, etc.
- Acquérir une bonne maîtrise des outils de conception et simulation du domaine.
- Initier au développement des applications de ces systèmes dans les domaines du spatial et de l'aéronautique.

## Débouchés et parcours recherche associés

Les connaissances acquises permettent de jouer un rôle actif dès le début de la carrière professionnelle à différents niveaux de la conception des systèmes de communications et de navigation. En effet la formation couvre au mieux les besoins importants de l'industrie sur les thématiques considérées. Le profil de formation est ainsi adapté aux postes d'ingénieurs de développement et de conception système, aux responsabilités de suivi et de conduite de projets, en ce qui concerne les aspects signal, électronique et télécommunications des systèmes aérospatiaux. Ce profil est recherché dans les grands groupes d'électronique et de communications en France et à l'étranger (Alcatel, EADS, Thales, Safran, ST Micro), les opérateurs de communications, les centres de recherche et agences (CNES, DLR, ESA), sans oublier les PME et sociétés de service (M3Systems, Cap Gemini, Altran).

Cet approfondissement peut être complété par une première étape d'une formation par la recherche visant à obtenir le grade de Docteur. L'approfondissement permet de suivre le Master Recherche (M2R) « Informatique et Télécommunications » (École Doctorale MITT) dont le parcours « Réseaux et télécommunications » reprend en grande partie des contenus présents dans les modules enseignés à l'ISAE. Il est aussi possible de suivre avec plus d'investissement personnel le Master Recherche « Signal, Image, Acoustique et Optimisation ».

## Organisation et pédagogie

Le programme de l'approfondissement est organisé en plusieurs blocs : d'abord le socle des connaissances en électronique numérique, télécommunications, signal et réseaux, puis les systèmes de communications et de navigation par satellite, et enfin les techniques spécifiques relatives aux fonctions de traitement numériques dans les récepteurs, ainsi qu'au dimensionnement des réseaux de communications par satellite.

Des bureaux d'études et un miniprojet permettent à l'étudiant de mettre en œuvre et développer le contenu des enseignements au travers d'études bibliographiques, travaux de simulation, réalisation de maquettes logiciel ou à base de processeurs de traitement du signal et de circuits intégrés.

## Traitement du signal

**ET421**

**Responsable du module :** Vincent CALMETTES

**Volume horaire:** 20

**Correspondant ISAE :** Michel BOUSQUET

**Ects:** 1.5

### Descriptif

Cet enseignement vise à conforter les connaissances en théorie et traitement du signal. Il présente différentes approches pour l'analyse de signaux discrets, des méthodes d'estimation pour la caractérisation de processus aléatoires réels ou complexes, des techniques d'estimation spectrale, des outils d'optimisation de filtres numériques, des algorithmes de filtrage optimum et de filtrage adaptatif. L'enseignement est illustré par des bureaux d'études afin de valider sur logiciel Matlab les outils introduits en cours. Une approche réaliste est proposée par le biais d'un projet concernant l'implantation et l'évaluation d'algorithmes de filtrage adaptatif.

## Architectures de traitement numérique

ET422

Responsable du module : Pierre MAGNAN, Vincent CALMETTES

Volume horaire: 15

Correspondant ISAE : Pierre MAGNAN

Ects: 1

### Descriptif

Ce module introduit les architectures de traitements numériques des signaux qui trouvent leurs applications dans les systèmes de communications, de navigation, les réseaux. L'accent est mis, notamment à travers des bureaux d'études, sur la mise en œuvre d'architectures programmées à base de processeurs numériques des signaux (DSP) et de cibles câblées pour l'implantation des algorithmes.

## Communications numériques

ET423

Responsable du module : Marie-Laure BOUCHERET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce module présente les techniques de transmission à distance de l'information codée sous forme numérique (transmission en bande de base et sur porteuse, théorie de la détection, modulations numériques, codage canal, dimensionnement d'un système de communications numériques, canaux linéaires et non linéaires, techniques d'étalement de spectre)

## Réseau et protocoles de communication

ET424

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 22.5

Correspondant ISAE : José RADZIK

Ects: 2

### Descriptif

Cet enseignement vise à fournir une première approche des réseaux de télécommunications. Il a été choisi de présenter les réseaux IP (Internet Protocol) en raison de leur importance dans le domaine et de l'intérêt des systèmes assurant une interconnexion à l'Internet par satellite. Une première partie présente l'architecture générale des réseaux de télécommunications (notion de protocole, modèle OSI) puis les réseaux IP (adressage et routage, empilement protocolaire de référence). Une seconde partie présente une architecture typique d'accès Internet. Les bureaux d'étude utilisent le logiciel de simulation de réseaux OPNET (logiciel commercial largement utilisé dans l'industrie).

## Liaisons radiofréquences et Propagation

ET425

Responsable du module : HJ MAMETSA

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

### Descriptif

La transmission de l'information à distance sans support physique s'effectue à l'aide d'une porteuse radiofréquence ou optique qui se propage dans le milieu considéré. L'objectif de ce cours est de donner les éléments de base des problèmes liés aux liaisons directes en espace libre. Sont présentés : les phénomènes de propagation libre des ondes électromagnétiques, les composants d'extrémités (antennes...), l'influence du milieu, les bruits, les bilans de liaison..

## Systèmes de Communications spatiales

ET426

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

### Descriptif

Cet enseignement s'attache à présenter l'architecture, les applications et les techniques de transmission (bilan de liaison, modulation et codage) et d'accès multiple (accès, interconnection de faisceaux multiples) spécifiques aux systèmes de communication par satellite. La charge utile du satellite (répéteur transparent et régénérateur, antennes) et les stations terriennes (architecture, sous-systèmes) sont également étudiées.

## Systèmes de positionnement par satellite

ET427

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 20

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

### Descriptif

Le module présente les techniques de détermination de la position d'un terminal à partir de satellites. Les caractéristiques et performances des systèmes de localisation (ARGOS, DORIS) et de navigation (GPS, EGNOS, GALILEO) et leurs principales applications sont présentées. Des bureaux d'études permettent d'appréhender les principes du calcul du point, et des traitements dans les récepteurs de navigation.

## Projet

ET428

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1

### Descriptif

Le (mini)projet permet d'approfondir le contenu de l'un des modules de l'approfondissement sous la forme de travaux de simulation, de réalisation de maquettes, etc., sur un thème au choix. La découverte d'une nouvelle thématique est aussi envisageable.

## Conception et intégration de systèmes numériques

ET430

Responsable du module : Pierre MAGNAN, Vincent CALMETTES

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Pierre MAGNAN

Ects: 1.5

### Descriptif

Ce module introduit les méthodes et outils utilisés pour la conception des systèmes numériques complexes depuis la spécification et la validation des algorithmes jusqu'au test. Sont aussi présentées les différentes approches permettant de réaliser l'intégration des systèmes de traitements numériques (ASIC sur Silicium, FPGA, System On Chip) et les problématiques associées, notamment pour la mise en œuvre de processeurs embarqués personnalisés.

## Récepteurs numériques de télécommunications

ET431

Responsable du module : Marie-Laure BOUCHERET

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 0.5

### Descriptif

Le module présente les algorithmes de synchronisation et les architectures classiques des récepteurs utilisant les techniques de réalisations à base de circuits et processeurs intégrés numériques : influence des erreurs de synchronisation sur les performances des systèmes de communications numériques, modélisation, dimensionnement et algorithmes des circuits de synchronisation en technologie numérique.

## Récepteurs de navigation et hybridation

ET432

Responsable du module : Vincent CALMETTES

Volume horaire: 21.25

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

### Descriptif

Le module présente les architectures des récepteurs de navigation par satellite (GNSS : Global Navigation Satellite Systems) en s'intéressant plus particulièrement aux traitements numériques et à leur implémentation avec des processeurs et des circuits intégrés dédiés. Les sources d'erreurs (multitrajets, etc.) et de limitation des performances sont analysées. Les techniques d'augmentation basées sur l'hybridation avec d'autres senseurs (compas, odomètres, couplages inertiels lâches ou serrés) sont étudiées et donnent lieu à des travaux expérimentaux.

## Outils de dimensionnement et de simulations des réseaux

ET433

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : José RADZIK

Ects: 0.5

### Descriptif

L'étude des réseaux de télécommunications nécessite l'utilisation d'outils de dimensionnement et de simulation. Deux aspects fondamentaux sont abordés dans ce module : la modélisation analytique (théorie des files d'attente, modèles d'Erlang, introduction au multiplexage statistique) et la simulation à événements discrets.

## Réseaux de communication par satellites

ET434

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 22.5

Correspondant ISAE : José RADZIK

Ects: 2

### Descriptif

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 techniques nécessaires pour répondre à ce double objectif sont étudiées en s'appuyant sur l'exemple des réseaux ATM (Asynchronous Transfer Mode) et des évolutions d'IP (MPLS, DiffServ, IntServ). Les contraintes propres aux réseaux par satellite, leur impact sur la gestion des ressources sont illustrés au travers des systèmes normalisés par l'ETSI ( DVB-S et -S2/DVB-RCS) ou TIA (IPoS).

## Communications multimédia

ET435

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 10

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 0.5

### Descriptif

Il s'agit de présenter les spécificités des systèmes de communications « multimédia » (en particulier des systèmes satellitaire combinant sur le même support son, image et données numériques, etc.).

Les techniques de radiodiffusion sont décrites (DAB, DVB : Digital Audio/Video Broadcasting). Les évolutions modernes vers la haute définition (TV-HD), l'interactivité avec la mise en œuvre d'un voie retour, et les communications vers les mobiles (DMB, DVB-SH) seront examinées.

# Modules facultatifs

---

## Atelier du regard AC902

**Responsable du module :** GUY DE TOULZA **Volume horaire:** 30

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'objectif de cet atelier du regard est, en initiant à l'histoire de l'art, de donner aux étudiants les connaissances fondamentales de ce qu'a été la production artistique des siècles passés. Nous restituerons donc les œuvres dans les grandes lignes des civilisations, des conditions économiques, politiques et sociales dont elles constituent un reflet. Plus que l'acquisition de connaissances théoriques, nous apprendrons à voir pour mieux comprendre les conditions de la création de l'œuvre, l'analyser dans sa forme, son iconographie, sa composition, ses couleurs, ses matériaux, ses techniques.

---

## Atelier d'arts plastiques AC903

**Responsable du module :** Sandrine FOLLERE **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

L'atelier accueille les débutants et les anciens (élèves et personnels de l'École) dans une démarche de sensibilisation à l'art classique, à l'art moderne puis contemporain (documentation de la bibliothèque de l'ISAE et accès à celle de l'École des Beaux-Arts de Toulouse).

---

## Bistrot littéraire : atelier d'écriture AC904

**Responsable du module :** Yves CHARNET **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Il y a les choses à faire, les choses en retard, les choses de la vie, les moments de doute et autres mauvaises passes, les phases de vide (ou de trop plein !) ; et puis il y a des rendez-vous qui ont la gratuité d'un jeu - et comme une couleur d'amitié. Pour celles et ceux d'entre vous qui le désirent, dans l'emploi du temps, le Bistrot littéraire propose un rendez-vous avec la forme la plus simple de l'inconnu. Une manière de percer les murs de ce grand (r)enfermement où chacun(e) est pour soi-même. Une façon de passer de l'autre côté du mur (du miroir ?) ...

---

## Atelier théâtre AC905

**Responsable du module :** Laurence ROY **Volume horaire:** 50

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

Un atelier théâtre ouvert à tous. Du débutant au confirmé, du timide au gentil mégalo, de l'intello à l'éternel rigolo, tous sont les bienvenus ! Tous ceux qui ont ce désir enfoui, ce rêve un peu fou de monter sur scène. A tous ceux qui oseront enfin cette année s'exprimer avec leur corps, leur imaginaire, leur voix, leurs mots ou ceux des autres. A tous ceux là qui veulent se surprendre, se découvrir, s'étonner des autres, se livrer aussi, pour mieux se délivrer peut-être.

---

## Atelier des arts du cirque AC906

**Responsable du module :** Stéphane FILLION **Volume horaire:** 60

**Correspondant ISAE :** Yves CHARNET **Ects:** 1.5

### Descriptif

<b>Atelier musique</b>	<b>AC907</b>
<b>Responsable du module :</b> Ausias GAMISANS	<b>Volume horaire:</b> 60
<b>Correspondant ISAE :</b> Ausias GAMISANS	<b>Ects:</b> 1.5
<b>Descriptif</b>	

<b>Atelier aéromodélisme et micro-drone</b>	<b>AE901</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-marc MOSCHETTA	<b>Volume horaire:</b> 0
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-marc MOSCHETTA	<b>Ects:</b> 1

**Descriptif**

Atelier pédagogique facultatif destiné à faire découvrir par la voie expérimentale et l'approche modéliste la mise au point et l'analyse des vols de micro drones. Les projets réalisés lors de cet atelier ont vocation à être présentés en vol lors de différentes compétitions de micro drones en France ou à l'étranger. L'atelier est ouvert les jeudis après-midi hors vacances scolaires à raison de 4 heures par séances dans le local micro drones situé au Département Aérodynamique, Énergétique et Propulsion (DAEP) ainsi que le terrain d'essai micro drones situé sur la zone verte (partie nord du campus SUPAERO).

<b>Basics of supply chain management</b>	<b>GI901</b>
<b>Responsable du module :</b> Alain HAIT	<b>Volume horaire:</b> 24
<b>Correspondant ISAE :</b> Alain HAIT	<b>Ects:</b> 0

**Descriptif**

<b>Langue vivante 3 et 4</b>	<b>LV900-LV909</b>
<b>Responsable du module :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Volume horaire:</b> 50
<b>Correspondant ISAE :</b> Jean-claude JACQUES	<b>Ects:</b> 1

**Descriptif**

Les étudiants ont le choix parmi toutes les langues dispensées à SUPAERO : allemand, anglais renforcé, arabe, chinois, espagnol, français langue étrangère, italien, japonais, portugais, russe.

<b>Concevoir et produire</b>	<b>SM901</b>
<b>Responsable du module :</b> Joël XUEREB, Serge CREZE	<b>Volume horaire:</b> 24
<b>Correspondant ISAE :</b> Christophe BOUVET	<b>Ects:</b> 1

**Descriptif**

Ce module optionnel a pour mission de former à la Technologie, au dessin technique de conception-définition, et à la fabrication sur machines-outils l'ensemble des acteurs impliqués dans les projets E = m6 et Marathon Shell. Le but visé est l'autonomie de chacun des participants à produire des pièces mécaniques destinées à ces projets. Cet enseignement ne permettra pas de donner aux élèves la dextérité nécessaire pour prétendre à une "habilitation" sur nos machines-outils mais des bases indispensables de Technologie. Un complément de manipulations sur les machines, au cours des projets, sera nécessaire pour obtenir cette habilitation et ceci compte-tenu de la dextérité de chacun des participants.

E = m6 : Compétition de robots autonomes préprogrammés (SUPAERO vainqueur européen 2004)

Marathon Shell : Challenge sur véhicule à faible consommation de carburant

( 6° participation de SUPAERO, avec la réalisation complète de deux prototypes : Athéna I et II).