

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Issu du rapprochement SUPAERO et ENSICA

# PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS

- TROISIÈME ANNÉE -

2013 - 2014

FORMATION

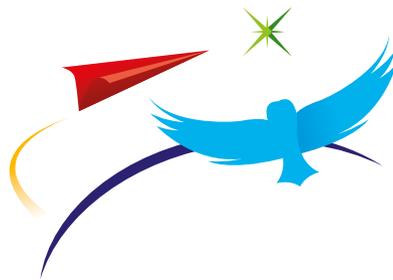
ENSICA



Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

# PROGRAMME DES ENSEIGNEMENTS

- TROISIÈME ANNÉE -



ISAE

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

---

ENSICA

Année 2013 - 2014

# PRÉSENTATION GÉNÉRALE

**L'ISAE-ENSICA forme des ingénieurs pluridisciplinaires de haut niveau scientifique et technique, en mécanique, aérodynamique, propulsion, automatique, électronique et informatique, capables, à terme, de conduire des projets de systèmes complexes, dans un environnement international, notamment dans le domaine aéronautique et spatial.**

*La Formation ENSICA cible un profil d'ingénieur identifié des entreprises du secteur aéronautique et spatial reconnu pour sa compétence scientifique et technique, son aptitude à l'approche multidisciplinaire intégrée des problématiques, son adaptabilité au contexte national et international et son potentiel d'évolution à des postes d'expert métier à haute responsabilité.*

*Le positionnement scientifique et technique s'appuie sur un ensemble ciblé de sciences et techniques de l'ingénieur correspondant à trois grands domaines, spécifiques du secteur industriel concerné, à savoir :*

- *l'aérodynamique et la propulsion aérospatiale ;*
- *l'avionique, les réseaux et systèmes embarqués ;*
- *les matériaux et structures aérospatiales.*

*En conséquence, la formation dispensée dans le domaine des sciences fondamentales est doublement circonscrite par un choix approprié de disciplines, un niveau d'approfondissement dans chacune d'elles, strictement limité au nécessaire et suffisant à la maîtrise des contenus scientifiques et techniques visés.*

*Le positionnement méthodologique est organisé autour de trois lignes de force :*

- *familiariser concrètement l'élève aux méthodes et techniques de travail de l'ingénieur ;*
- *développer une compétence fondée sur la connaissance et la maîtrise des outils dans leur contexte opérationnel d'utilisation ;*
- *permettre au futur ingénieur de dominer son champ de spécialité en pleine connaissance*
- *des impacts sur les domaines connexes (maîtrise de ses interfaces).*

*Le positionnement personnel (connaissance de soi/connaissance du milieu) repose sur La connaissance des spécificités culturelles ainsi que du contexte socio-économique des industries aéronautiques et spatiales, un est facteur clé de réussite et d'efficacité professionnelle. Le développement des qualités personnelles et comportementales de chaque élève s'inscrit dans une perspective d'expression au meilleur niveau dans le cadre professionnel et international spécifique du secteur économique concerné. A cet effet, la formation en Sciences Sociales et Humaines apporte à chaque élève des outils et des méthodes opérationnelles en situation concrète de coopération professionnelle.*

*La formation sur trois ans comprend un ensemble de disciplines regroupées en enseignements scientifiques (de base et technologique) et en sciences humaines et sociale devant permettre, à chaque élève, de développer ses aptitudes en termes de capacités scientifique et technologique, méthodologique, d'intelligence du milieu et de développement personnel.*

*Le volet scientifique et technique s'articule de manière thématique autour des trois domaines scientifiques et techniques spécifiques aux métiers de l'aéronautique et de l'espace précédemment cités. Il se caractérise par une conception et une organisation en continu (des disciplines de base jusqu'aux applications) sur les trois années de scolarité ; un volume de formation sensiblement équiréparti sur les trois domaines.*

*La partie scientifique débute en première année par plusieurs enseignements (Mécanique : mécanique des fluides, mécanique, matériaux - Systèmes : automatique, informatique) poursuivis durant le cursus et complétés par les mathématiques appliquées qui constituent le socle indispensable. Les objectifs assignés à cette base scientifique permettent ensuite de déboucher sur les différentes applications et développements scientifiques avancés qui sont proposés en seconde et troisième année. Les enseignements de seconde et de troisième année se présentent sous forme d'un tronc commun et d'un ensemble de modules choisis par les élèves dans le cadre d'un parcours personnalisé. Le sixième semestre est consacré au projet de fin d'études.*

- *Les enseignements en mécanique fondamentale, technologie et science des matériaux permettent de déboucher en seconde année sur les aspects liés à la fabrication des avions, à la conception et la réalisation des structures aéronautiques et spatiales ainsi qu'à la conception des mécanismes aéronautiques. En troisième année, les approfondissements concernent des applications aéronautiques et spatiales ainsi que différents développements scientifiques avancés ou de haute technologie.*
- *Les bases scientifiques de mécanique des fluides ainsi que de thermodynamique et de thermique, enseignées en première année, constituent le socle permettant d'aborder en seconde année la mécanique des fluides avancée et l'aérodynamique. Ces enseignements ainsi que ceux d'automatique conduisent à aborder, toujours en seconde année, les aspects liés à la mécanique du vol. La seconde et la troisième année permettent de choisir parmi les aspects liés à la propulsion ainsi qu'à différents concepts avancés tels que l'étude spécifique des écoulements turbulents ou des qualités de vol.*
- *En avionique, la formation en systèmes linéaires invariants et en génie électrique, complétée par des apports en analyse et probabilités, permet d'aborder au cours de la seconde année les aspects liés au pilotage, guidage et navigation. Ces aspects sont ensuite approfondis en troisième année et complétés par une extension vers les télécommunications spatiales et la surveillance, l'accent étant plus spécialement mis sur les avions au cours des deux premières années, l'extension aux hélicoptères, missiles faisant plutôt l'objet de la dernière année.*
- *La formation informatique s'articule autour du génie logiciel couvrant les trois années de formation.*

*La partie scientifique est complétée par une formation aux techniques et aux méthodes de travail de l'ingénieur reposant sur des enseignements d'économie, de gestion, de sociologie ou de droit. Un ensemble de cours sur la conduite des grands projets industriels jalonnent l'ensemble du cursus sur les aspects, ingénierie système, conduite d'affaires, production, qualité et assurance produit. La sensibilisation au développement durable est inscrite dans le programme des trois années.*

*La formation s'appuie sur la conduite de nombreux projets (dont le projet de fin d'études), sur des stages en entreprise, sur l'utilisation d'outils de communication ainsi que sur une formation à la qualité et la recherche bibliographique.*

*Pour les langues vivantes, en plus de l'anglais obligatoire une autre langue étrangère doit être choisie. Par ailleurs, la pratique du sport et d'activités aéronautiques, artistiques ou culturelles est fortement encouragée. Enfin, de nombreuses visites d'entreprises et des conférences sur des thèmes d'actualité ou liés au métier d'ingénieur sont organisées.*

*Depuis la rentrée 2010 (promotion 66), les élèves doivent, dans le cadre de « l'obligation internationale », effectuer un séjour à l'étranger d'une durée minimale de 8 semaines. Ce séjour peut s'effectuer par le biais de stages d'été, du projet de fin d'études, ou d'une substitution de la troisième année en université étrangère (pouvant déboucher éventuellement sur un double-diplôme).*

*Au cours de ces trois ans, les élèves bénéficient, à de nombreuses occasions, d'une formation à et par la recherche grâce à la présence des Enseignants-chercheurs et la proximité de laboratoires de recherches.*

*Pour les élèves qui sont plus attirés par les aspects scientifiques et technologiques ou économiques, le caractère pluridisciplinaire de la formation leur permet d'aborder les études doctorales dans de bonnes conditions. Ainsi, les élèves peuvent compléter la formation d'ingénieur par l'obtention d'un Master Recherche durant la troisième année. Enfin, La possibilité est offerte aux élèves de 3<sup>e</sup> année de suivre une formation à l'Ingénierie de l'Innovation (DESII).*

**Christian HUYNH**  
**Directeur de la Formation ENSICA**



# SOMMAIRE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE .....	3
DIRECTION DE LA FORMATION ENSICA.....	7
UNITÉS DE FORMATION.....	8
PRESENTATION DES PARCOURS.....	9
SECTION 1 - TABLEAUX SYNTHETIQUES .....	10
PARCOURS N°1 : CLASSIQUE ENSICA.....	11
PARCOURS N°2 : CURSUS INFORMATIQUE.....	16
PARCOURS N°3 : CURSUS TÉLÉCOMMUNICATIONS & RÉSEAUX.....	17
SECTION 2 - FICHES DÉTAILLÉES.....	18
PARCOURS N°1 .....	19
Tronc Commun de Technologie .....	19
Méthodologie .....	23
Sciences Humaines .....	25
Langues vivantes.....	29
Sport ou expression artistique .....	30
Modules .....	31
Projet de fin d'études .....	88
PARCOURS N°2 : CURSUS INFORMATIQUE.....	90
PARCOURS N°3 : CURSUS TÉLÉCOMMUNICATIONS & RÉSEAUX.....	100
PRESENTATION DES ITINÉRAIRES .....	107
FORMATIONS COMPLÉMENTAIRES.....	115

# DIRECTION DE LA FORMATION ENSICA

Directeur de la formation : **Christian HUYNH**

Assistante de direction : **Nicole DUMESNIL**

Affaires générales : **Sophie BONHOURE**

Responsable gestion de l'enseignement : **Catherine VELLIN**

Suivi pédagogique : **Rémy DUMONTEIL**

Inspecteurs des études 1<sup>ère</sup> année : **Roland OLIVO**

Inspecteurs des études 2<sup>ème</sup> année : **Muriel HENRY**

Inspecteurs des études 3<sup>ème</sup> année : **Gracianne LENNE**

Responsable du service scolarité : **Blanche GRACIA-FAUCHER**

Adjoint au responsable du service scolarité : **Anne-Marie LABRECHE**

Correspondant académique international : **Pierre de SAQUI-SANNES**

Correspondant académique recrutement : **Laurent MICHEL.**



# UNITÉS DE FORMATION

## LES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS

Avionique et Systèmes	Génie mécanique	Informatique	Langues, cultures et communication
<p>Joël BORDENEUVE-GUIBE *</p> <p>Olivier BESSON Stéphanie BIDON Romain PASCAUD François VINCENT Yves BRIERE (1) Valérie BUDINGER</p>	<p>Catherine MABRU *</p> <p>Rémi CHIERAGATTI Jacques HUET Frédéric LACHAUD Christine ESPINOSA Laurent MICHEL (4) Patrice LONGERE</p>	<p>Tanguy PERENNOU * (2)</p> <p>Patrick SENAC Frabrice FRANCES Pierre de SAQUI-SANNES (3) Jérôme LACAN Ahlem MIFDAOUI Emmanuel LOCHIN Jérôme HUGUES</p>	<p>Alban AZAÏS *</p> <p>Joseph SHEA</p>

Mathématiques	Mécanique des fluides	Sciences humaines et sociales	Sports
<p>Michel SALAUN *</p> <p>Jérémy BIGOT</p>	<p>Patrick CHASSAING *</p> <p>Nicolas BINDER Yannick BURY Xavier CARBONNEAU Vincent CHAPIN Stéphane JAMME Laurent JOLY Jérôme FONTANE</p>	<p>Marie-Pierre BES *</p>	<p>Pascal DENOYER *</p>

\* Responsable d'unité de formation

(1) Référent PIP

(2) Référent Modules 2A/3A

(3) Référent Académique International

(4) Référent Recrutement

# PRESENTATION DES PARCOURS

En troisième année, les parcours proposés aux élèves de la Formation ENSICA sont composés de la manière suivante :

## **Parcours n°1 : classique ENSICA**

- Semestre 5 : Tronc commun ENSICA et choix de 3 modules ;
- Semestre 6 : Projet de fin d'études.

## **Parcours n°2 : cursus Informatique**

- Semestre 5 : Ensemble défini (240h) de modules d'informatique et, en complément, choix d'un domaine du catalogue SUPAERO;
- Semestre 6 : Projet de fin d'études.

## **Parcours n°3 : cursus Télécommunications & Réseaux**

- Semestre 5 : Ensemble défini (240h) de modules Télécommunications & Réseaux et en complément, choix d'un domaine du catalogue SUPAERO.
- Semestre 6 : projet de fin d'études.

## **Parcours n°4 : substitution en France ou à l'étranger**

- Semestre 5 : Choix des cours du catalogue de l'établissement d'accueil ;
- Semestre 6 : Projet de fin d'études obligatoire
- Il est possible d'effectuer deux semestres de substitution ou un double-diplôme en fonction des accords en vigueur avec les universités.

Les activités d'enseignements des trois premiers parcours sont présentées sous forme :

- de tableaux synthétiques dans la section 1 ;
- de fiches détaillées dans la section 2.

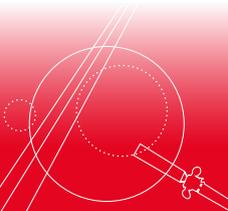
Les activités d'enseignements du parcours n°4 sont décrites dans l'offre de formation des établissements d'accueil.

Une formation complémentaire de 60 h vous est proposée, elle permet d'obtenir le **Diplôme d'Études Supérieures en Ingénierie de l'Innovation**.

Une autre formation complémentaire de 100 h vous permet d'obtenir le **Certificat Management de l'Innovation HEC-ISAE**. Il est recommandé d'avoir suivi les enseignements du DESII pour suivre ces cours.



## SECTION 1 - TABLEAUX SYNTHETIQUES



# PARCOURS N°1 : CLASSIQUE ENSICA

## SEMESTRE 5

ENSEIGNEMENTS	BS	SI	SSH	FG	Code	Coef- ficient	Heures encadrees	Travail perso	Temps total	ECTS
<b>TRONC COMMUN DE TECHNOLOGIE</b>						<b>17</b>	<b>70,00</b>	<b>36,5</b>	<b>106,5</b>	<b>5</b>
Dimensionnement des avions		*			5TGM7	4	15	7	22	1
Introduction aux hélicoptères		*			5TGM8	4	15	7.5	22.5	1
Introduction aux missiles et lanceurs spatiaux		*			5TGM9	4	18.75	15	33.75	1
Turbomachines		*			5TMF7	5	21.25	7	28.25	2
<b>METHODOLOGIE</b>						<b>4</b>	<b>21,25</b>	<b>15</b>	<b>36,25</b>	<b>1</b>
SCADE pour la conception des systèmes aéronautiques		*			5INF6	4	21.25	15	36.25	1
Grands projets industriels			*		5GPI3	8	36	10	46	2
<b>SCIENCES HUMAINES</b>						<b>17</b>	<b>73,5</b>	<b>20</b>	<b>93,5</b>	<b>4</b>
Problèmes et contexte de la prise de décision			*		5ESG8	5	22.5	5	27.5	1
Approfondissements (1 sur 5)			*		5ESG9	4	15	5	20	1
- Simulation de gestion					5ESG9-A1					
- Indicateurs développement durable					5ESG9-A2					
- Stratégie internationale d'entreprise					5ESG9-A3					
- Sociologie des usages des TIC					5ESG9-A4					
- Valorisation financière de l'entreprise					5ESG9-A5					
<b>LANGUES VIVANTES</b>						<b>11</b>	<b>49</b>	<b>29</b>	<b>78</b>	<b>2,5</b>
Anglais : Technical Symposium				*	5LV1	6	28	15	43	1.5
Langue vivante 2				*	5LV2	5	21	14	35	1
<b>OPTIONS DE TECHNOLOGIE OU CONCEPTS AVANCES</b>						<b>56</b>	<b>210</b>	<b>105</b>	<b>210</b>	<b>17,5</b>
Module Séquence 14					5-14 M**	24	90	45	90	7.5
Module Séquence 15					5-15 M**	16	60	30	60	5
Module Séquence 16					5-16 M**	16	60	30	60	5
<b>ASSIDUITE</b>						<b>2</b>				
<b>TOTAL SEMESTRE 5</b>	<b>0</b>	<b>301,25</b>	<b>73,5</b>	<b>49</b>		<b>107</b>	<b>423,75</b>	<b>205,5</b>	<b>629,25</b>	<b>30</b>

## SEMESTRE 6

ENSEIGNEMENTS	BS	SI	SSH	FG	Code	Coefficient	Heures encadrees	Travail perso	Temps total	ECTS
Projet de fin d'étude		*			6PFE				6 mois	30

**BS** : bases scientifiques  
**SI** : Sciences de l'ingénieur  
**SSH** : Sciences sociales et humaines  
**FG** : Formation générale

Pour les codes : 5 = 6<sup>e</sup> semestre

## PARCOURS N°1 : CLASSIQUE ENSICA

### Liste des modules

Les modules du parcours classique sont organisés en trois séquences.

Les élèves choisissent un ensemble de trois modules, soit un module dans chacune des trois séquences :

Un module est composé de plusieurs (de 2 à 5) Sous-modules;

Volumes horaires et crédits ECTS :

- Premier module (séquence 14) : 90 h et 7,5 ECTS
- Deuxième module (séquence 15) : 60 h et 5 ECTS
- Troisième module (séquence 16) : 60 h et 5 ECTS

Séq.	AS - Automatique	AS - Signal	GM - Espace	GM	MF	MF	SHS
<b>S14</b> 90h	Commande avancée des systèmes	Signal - Image	Conception de véhicules spatiaux	Mécanique des solides avancées	Mécanique des fluides avancée		
<b>S15</b> 60h	Outils avancés pour l'automatique		Environnement spatial et conception des satellites	Ingénierie structure avion	Couplage multiphysique		Gestion des ressources humaines et des connaissances
<b>S16</b> 60h		Systèmes satellitaires de navigation et d'observation	Missions et opérations spatiales	Hélicoptères	Turbomachines	Avant-projets avion	Droit des contrats et analyse du risque

**AS** : Avionique et systèmes

**GM** : Génie mécanique

**MF** : Mécanique des fluides

**SHS** : Sciences humaines et sociales



## SEQUENCE 14

Code	Enseignements	Ects
<b>5-14 MAS 141</b>	<b>Commande avancée des systèmes</b>	<b>7.5</b>
5-14 MAS 52	Systèmes multivariables	2.5
5-14 MAS 92	Applications spatiales de la commande robuste	2.5
5-14 MAS 82	Commandes des structures flexibles aéronautiques et spatiales	2.5
<b>5-14 MAS 142</b>	<b>Signal-Image</b>	<b>7.5</b>
5-14 MAS 51	Représentation et analyse des signaux	1.5
5-14 MAS 61	Traitement d'antennes	3
5-14 MAS 1421	Traitement d'image	2
5-14 MAS 1422	Théorie de la détection	1
<b>5-14 MGM 141</b>	<b>Conception de véhicules spatiaux</b>	<b>7.5</b>
5-14 MGM 1411	Aéroélasticité des structures minces	1.25
5-14 MGM 1412	Dynamique vibratoire satellite/lanceur	1.25
5-14 MGM 1413	Pilotage guidage	1.25
5-14 MGM 1414	Structures, Intégration, Lanceur	1.25
5-14 MGM 1415	Propulsion	2.5
<b>5-14 MGM 142</b>	<b>Mécanique des solides avancée</b>	<b>7.5</b>
5-14 MGM 52	Comportement des matériaux composites stratifiés aéronautiques et spatiaux	2.5
5-14 MGM 112	Comportement des matériaux métalliques	2.5
5-14 MGM 82	Simulation numérique et dynamique transitoire non-linéaire	2.5
<b>5-14 MMF 141</b>	<b>Mécanique des fluides avancée</b>	<b>7.5</b>
5-14 MMF 81	Physique et modélisation de la turbulence	2.5
5-14 MMF 92	Mécanique des fluides numérique	2.5
5-14 MMF 101	Programmation numérique parallèle	2.5



## SEQUENCE 15

Code	Enseignements	Ects
<b>5-15 MAS 151</b>	<b>Outils avancés pour l'automatique</b>	<b>5</b>
5-15 MAS 62	Commande optimale	2.5
5-15 MAS 1511	Estimation et identification des systèmes dynamiques	2.5
<b>5-15 MGM 151</b>	<b>Environnement spatial et conception satellites</b>	<b>5</b>
5-15 MGM 91	Mécanique et environnement spatial	2.5
5-15 MGM 101	Conception satellite	2.5
<b>5-15 MGM 152</b>	<b>Ingénierie Structure avion</b>	<b>5</b>
5-15 MGM 92	Production et maintenance avion	2.5
5-15 MGM 1522	Architecture structure avion	2.5
<b>5-15 MMF 151</b>	<b>Couplage multiphysique</b>	<b>5</b>
5-15 MMF 51	Aéroélasticité	2.5
5-15 MMF 71	Aéroacoustique	2.5
<b>5-15 MSH 151</b>	<b>Gestion des ressources humaines et des connaissances</b>	<b>5</b>
5-15 MSH 71	Ingénierie des facteurs humains	2.5
5-15 MSH 81	Gestion des connaissances	2.5



## SEQUENCE 16

Code	Enseignements	Ects
<b>5-16 MAS 161</b>	<b>Systèmes satellitaires de navigation et d'observation</b>	<b>5</b>
5-16 MAS 91	Traitement du signal pour la navigation	2.5
5-16 MAS 32	Systèmes d'observation de la terre	2.5
<b>5-16 MGM 161</b>	<b>Missions et opérations spatiales</b>	<b>5</b>
5-16 MGM 1611	Opérations spatiales et missions satellites	1.25
5-16 MGM 1612	Missions habitées et facteurs humains	1.25
5-16 MGM 1613	Missions pour les lanceurs	1.25
5-16 MGM 1614	Observation de la terre	1.25
<b>5-16 MGM 162</b>	<b>Hélicoptères</b>	<b>5</b>
5-16 MGM 72	Aéromécanique et systèmes des hélicoptères	2.5
5-16 MGM 102	Structures et mécanique des hélicoptères	2.5
<b>5-16 MMF 161</b>	<b>Aérodynamique avancée et systèmes de turbomachines</b>	<b>5</b>
5-16 MMF 61	Aérodynamique avancée des turbomachines	2.5
5-16 MMF 111	Le système turbomachine	2.5
<b>5-16 MMF 162</b>	<b>Avant-projets avion</b>	<b>5</b>
5-16 MMF 62	Avant-projet avion léger	2.5
5-16 MMF 91	Avant-projet avion d'affaire	2.5
<b>5-16 MSH 161</b>	<b>Droit des contrats et analyse du risque</b>	<b>5</b>
5-16 MSH 51	Analyse du risque	2.5
5-16 MSH 61	Droits des contrats	2.5



## PARCOURS N°2 : CURSUS INFORMATIQUE

Les activités d'enseignement comprennent :

a) un ensemble de modules d'informatique (240 h) présentés dans le tableau suivant :

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
5-12 MIN 321	Systèmes d'exploitation et systèmes d'exploitation temps-réel	25	2
5-12 MIN 322	Ordonnancement	25	2
5-12 MIN 323	Génie logiciel	30	3
5-12 MIN 324	Validation de logiciels	30	2
5-12 MIN 325	Langages de programmation temps-réel	30	2
5-12 MIN 326	Architecture des systèmes critiques	30	1
5-12 MIN 327	Réseaux	20	1
5-12 MIN 328	Sécurité informatique	15	1
5-12 MIN 329	Ingénierie dirigée par les modèles pour les systèmes temps-réel	20	2
5-12 MIN 330	Evaluation de performance	15	1

b) un domaine de l'offre de formation SUPAERO : Systèmes Aéronautiques (SAE) ; Systèmes Spatiaux (SSP) ; Systèmes Embarqués (SEM),...

La présentation détaillée des domaines figure dans le catalogue de la formation SUPAERO.

c) une formation générale :

- LV1 ( anglais )
- LV2 ( langue au choix : espagnol, allemand... )
- Economie-gestion ( Intelligence économique, stratégie d'entreprise... )

## PARCOURS N°3 : CURSUS TÉLÉCOMMUNICATIONS & RÉSEAUX

Les activités d'enseignement comprennent :

a) un ensemble de modules Télécommunications & réseaux (240 h) présentés dans le tableau suivant :

Code	Enseignements	Volume horaire	Ects
5-13 MIN 421	Traitement du signal	15	1
5-13 MIN 424	Réseaux et protocoles de communication	15	1
5-13 MIN 422	Electronique et architectures de traitement numérique	15	2
5-13 MIN 423	Communications numériques	30	2
5-13 MIN 425	Liaisons radiofréquences et propagation	30	2
5-13 MIN 426	Systèmes de communications spatiales	15	1
5-13 MIN 428	Communications par satellites pour les mobiles et l'aéronautique	30	2
5-13 MIN 429	Internet et multimédia par satellites	30	2
5-13 MIN 427	Systèmes de positionnement par satellite	15	1
5-13 MIN 430	Projet	30	3

b) un domaine de l'offre de formation SUPAERO : Systèmes Aéronautiques (SAE) ; Systèmes Spatiaux (SSP) ; Systèmes Embarqués (SEM)...

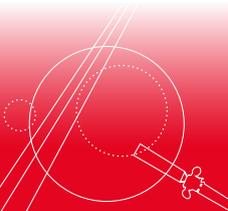
La présentation détaillée des domaines figure dans le catalogue de la formation SUPAERO.

c) une formation générale :

- LV1 ( anglais )
- LV2 ( langue au choix : espagnol, allemand... )
- Economie-gestion ( Intelligence économique, stratégie d'entreprise... )



## SECTION 2 - FICHES DÉTAILLÉES



**PARCOURS N°1**

**SEMESTRE 5**

**Tronc Commun de Technologie**



### 5TGM7 - Dimensionnement des avions

#### OBJECTIFS

Ce cours vise à donner à l'élève ingénieur ENSICA les compléments de base nécessaires à la compréhension globale des processus de dimensionnement des structures aéronautiques et des exigences réglementaires qui s'y rapportent.

#### Pré-requis

3TGM5

#### Organisation

6 Cours (15 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 16.25 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 7 h

Ects : 1

#### CONTENU

Principes et évolutions des architectures avions  
Généralités sur la certification des structures  
Charges Avion  
Charges en vol  
Charges au sol  
Fatigue des Structures

**Responsable(s) du module : Marc HUMBERT**

**Correspondant ISAE : Laurent MICHEL**

### 5TGM8 - Introduction aux hélicoptères

#### OBJECTIFS

A la fin de cet enseignement, les élèves doivent être capables de comprendre la spécificité des missions des hélicoptères et l'architecture qui en découle, ainsi que le fonctionnement général et la démarche de conception associée.

#### Organisation

10 Cours (12.5 h)  
1 BE (2.5 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 16.25 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 7.5 h

Ects : 1

#### CONTENU

Missions des hélicoptères & fonctions.  
Principes fondamentaux du véhicule & performances générales.  
Architecture générale y/c configurations avancées  
Aspect systèmes, revue des principaux sous-systèmes.

#### Bibliographie

F. Legrand, Théorie et technique de l'hélicoptère, SUPAERO, 1964  
P. Lefort, J. Hamann, L'hélicoptère, théorie et pratique, Chiron éditeur, 2002 (réédition)  
S. Newman, The foundations of Helicopter Flight, Arnold (London), 1994

**Responsable(s) du module : Vincent ROUTHIEAU**

**Correspondant ISAE : Frédéric LACHAUD**

## 5TGM9 - Introduction aux missiles et lanceurs spatiaux

### OBJECTIFS

Cet enseignement est un approfondissement des connaissances de base sur les techniques spatiales fondamentales, abordées sous forme d'une conférence en première année.

L'objectif est de donner un aperçu global des missions qui ont marqué l'histoire de l'aventure spatiale, de rappeler les lois fondamentales de la physique pour l'espace qui conditionnent toujours l'étagement, la propulsion, la sécurité, le lancement sol. Un éclairage est apporté sur les contraintes du respect de l'environnement terrestre. Une analyse comparative est réalisée sur les enjeux mondiaux liés à la capacité des puissances actuellement capables de lancer des missiles ou des lanceurs. L'enseignement se fait sous forme de cours en amphi et en petites classes, d'un BE d'application, et d'un projet (plusieurs équipes, 1 projet différent par équipe).

### Organisation

- 14 Cours (17.5 h)
- 1 BE (2.5 h)
- 2 PC (2.5 h)
- 1 Oral (3.75 h)
- 1 Test écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 27.5 h

Volume heures encadrées : 18.75 h  
Travail personnel estimé : 15 h  
Ects : 1

### CONTENU

Présentation générale des missiles et lanceurs

- Historique des missions lanceurs.
- Notion de performance.
- Equation de Tsiolkowski.
- Premiers éléments de fiabilité du système lanceur.

Matériaux et environnement terrestre

- Notions de mission, d'opérationnalité, de maintenance/ réparabilité/ réutilisation.

- Contraintes de dimensionnement.

- Autres contraintes ; notion de client.

- Effet des débris et micrométéorites

Dimensionnement mécanique et architecture

- Environnement mécanique lanceur.

- Logique de conception et de dimensionnement.

- Méthodes et principe de dimensionnement des étages.

- Essais de qualification des structures.

Le transport spatial du futur

- Démonstrateurs : échecs et réussites, prémices du futur.

- Lanceurs non conventionnels.

- Reusable Launch Vehicles (RLV) : limitations technologiques et innovations en cours.

- Tourisme spatial et véhicules trans-systèmes.

### Bibliographie

CNES, Cours de technologie spatiale - Techniques et technologies des véhicules spatiaux, Volume 1 Généralités et contraintes de développement, Editions PUF, 2002.

CNES, Cours de technologie spatiale - Techniques et technologies des véhicules spatiaux, Volume 2 Charges utiles, Editions PUF, 2002.

CNES, Cours de technologie spatiale - Techniques et technologies des véhicules spatiaux, Volume 3 Plateformes, Editions PUF, 2002.

S. Desbois, Présentation générale sur les missiles et lanceurs, ENSICA, 1986 (2nd fascicule en 1996).

M. Antonicelli, Les engins balistiques et leurs performances, ENSICA, 1988.

P. Marx, Le transport spatial. La propulsion fusée et les lanceurs de satellites, CNES, 1995.

Structure des véhicules spatiaux et essais mécaniques, Cépadués, collection CNES, 1994.

**Responsable(s) du module : Yves GOURINAT**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5TMF7 - Turbomachines

### OBJECTIFS

A partir d'un historique des turbomachines aéronautiques, expliquer leur fonctionnement thermodynamique et justifier les évolutions constatées.

Présenter la diversité des techniques nécessaires à leur conception et les problèmes posés par leur mise au point.

### Pré-requis

1TMF1  
3TMF3  
3TMF4  
2TMF2

### Organisation

9 Cours (11.25 h)  
3 BE (7.5 h)  
2 TD (2.5 h)  
1 Examen écrit (2 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 23.25 h

Volume heures encadrées : 21.25 h  
Travail personnel estimé : 7 h  
Ects : 2

### CONTENU

Historique des technologies.  
Fonctionnement compresseur et turbine, calcul du cycle.  
Fonctionnement en vol.  
Rendement thermique, rendement propulsif.  
Intérêt du double flux.  
Principes de régulation.  
Description technologique, mise au point.  
Technologies de demain.

### Bibliographie

Dixon, S, L. & Hall, C, A. Elsevier (Ed.) Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery BH, 2010  
Flack, Ronald, D. Series, C. A. (Ed.) Fundamentals of Jet Propulsion with Applications 2005  
Korpela, Seppo, A. Wiley (Ed.) Principles of Turbomachinery 2011  
Lakshminarayana, B. New-York, W. (Ed.) Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery Wiley Interscience, 1996  
Maclsaac, b. & Langton, R. WILEY (Ed.) Gas turbine Propulsion Systems 2011  
Mattingly, J. Hill, M. G. (Ed.) Elements of Gas Turbine Propulsion 1996

**Responsable(s) du module : Laurent PIERRE**  
**Correspondant ISAE : Xavier CARBONNEAU**

# Méthodologie

## 5INF6 - SCADE pour la conception des systèmes aéronautiques

### OBJECTIFS

L'appellation «systèmes temps réel» s'applique à des systèmes dont on exige un comportement correct tant du point de vue logique que temporel. L'aéronautique fait appel à des systèmes temps réel critiques en vies humaines et dont la complexité justifie un investissement en recherche dans des langages de modélisation et des outils de simulation et vérification formelle de modèles. L'objectif de cet enseignement est de présenter et faire utiliser dans un projet, l'atelier SCADE qui offre un générateur de code qualifié DO178B en plus d'un simulateur et d'un vérificateur de modèles.

### Pré-requis

3INF7

### Organisation

3 Cours (6.25 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)  
4 BE (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 22.5 h

Volume heures encadrées : 21.25 h  
Travail personnel estimé: 15 h  
Ects : 1

### CONTENU

- Caractérisation des systèmes temps réel et mise en évidence de leur omniprésence dans les systèmes aéronautiques et spatiaux
- Le langage SCADE
- Prise en main de DOORS et de l'atelier SCADE
- Projet : une étude de cas issue de l'industrie aéronautique.

### Bibliographie

<http://www.esterel-technologies.com/>

**Responsable(s) du module : Pierre DE SAQUI-SANNES**  
**Correspondant ISAE : Pierre DE SAQUI SANNES**



## 5GPI3 - Grands projets industriels

### OBJECTIFS

Les cours qui se déroulent sur les trois années du cycle de formation ont pour objectifs de :

- préparer les élèves à la réalité professionnelle,
- les aider à mieux assimiler leurs connaissances,
- éveiller leur vocation d'ingénieur.

Ils sont structurés en 4 modules (CF fiche 2 GPI 1).

#### Ingénierie Système

Le cours Ingénierie Système de troisième année complète le cycle de développement d'un système et a donc pour premier objectif de traiter les aspects Certification/Qualification, Gestion de la Configuration et Maintenance/Soutien Série. Le second objectif est de sensibiliser les élèves à la mise en application de l'ingénierie système dans l'industrie aéronautique et spatiale mais aussi dans d'autres domaines.

#### Conduite d'affaire

Le cours Conduite d'affaire de troisième année les aspects opérationnels d'un projet (clients, fournisseurs, risques, facteurs humains, etc) alors que le cours de 2ème année abordait les outils de structuration.

#### Qualité - Assurance produit

Les enseignements ont pour objectifs :

- d'expliquer ce qu'est la démarche qualité dans une entreprise, d'informer les élèves sur les différents modèles Qualité, de les sensibiliser sur l'intérêt du Manuel Qualité de l'entreprise
- de sensibiliser les élèves sur l'importance des normes et sur la maîtrise des processus,
- de présenter la recommandation RG Aéro 000040 utilisée dans les grands Programmes aérospatiaux pour élaborer les spécifications de management du programme et élaborer le plan d'Assurance de la Qualité correspondant.

### Organisation

Introduction et conférence (2.5h)

18 Cours (18.75 h)

BE + examen (16 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 37.25 h

Volume heures encadrées : 36 h

Travail personnel estimé: 10 h

Ects : 3

### CONTENU

Ingénierie Système

Cours

Certification / Qualification : Eléments Théoriques - Cadre réglementaire - Activités

Gestion de la Configuration : Identification des Configuration Items - Contrôle des changements - Audit & Revue - Etude de cas

Maintenance Soutien-série : Soutien Logistique, Enjeux & Eléments du soutien logistique - Soutien Série Spatial & Aéronautique Civile

TD : dans la lignée des TDs de 1ère et 2ème année, ces cours seront mis en application sur l'exemple du satellite en abordant les aspects suivants: Gestion de la Configuration, Suivi de la Configuration et de la Documentation 3 mini-conférences présentant la mise en application de l'ingénierie à travers 3 domaines différents : les systèmes aéronautiques, l'automobile, les télécommunications.

Chaque mini-conférence détaille un projet du domaine concerné et décrit les analogies et différences avec les secteurs aéronautique et spatial.

Conduite d'affaire

Cours : La gestion des clients et des fournisseurs - La gestion des risques - La gestion des hommes - La réponse à un appel d'Offre - La conduite d'une négociation

TD : Simulation de mise en place d'un projet - Simulation d'une conduite de négociation - Gestion des risques

Qualité - Assurance produit

Cours : La démarche qualité : concepts généraux, processus et organisation, normes, modèles, audits, gestion des fournisseurs - Maîtrise statistique des processus, plans d'expérience, les 6 sigma - Spécification de management d'un programme - Assurance Qualité d'un programme

TD : Elaboration du Manuel Qualité d'une Entreprise - Elaboration du Plan d'Assurance Qualité d'un projet

### Bibliographie

J.Cavallès, Méthodes de management de programme

DGA, Recommandation RG.Aéro 000 40

J-M. Juran, Juran's Quality Control Handbook.

B. Crosby, Quality is free.

L. Cruchan, La Qualité (collection que sais- je ?)

**Responsable(s) du module : Jean-Louis FRESON**

**Correspondant ISAE : Philippe GIRARD**

# Sciences Humaines

## 5ESG8 - Problèmes et contexte de la prise de décision

### OBJECTIFS

- Comprendre les difficultés de la prise de décision à chaque étape et identifier les acteurs de la décision et comprendre leurs pratiques.
- Insuffler culture du doute, de l'incertitude
- Montrer des exemples déstabilisants pour l'ingénieur
- Insister sur les relations humaines et les contextes sociaux
- Montrer la complexité des mondes sociaux
- Proposer des outils d'aide à la décision

### Organisation

- 2 Cours (2.5 h)
- 16 PC (20 h)
- 1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 23.75 h

Volume heures encadrées : 22.5 h  
Travail personnel estimé : 5 h  
Ects : 1

### CONTENU

- 1 conférence sur les accidents industriels
- Des cours fondamentaux (en ½ groupe):
- Sociologie de la décision
- décisions dans une économie internationale
- La rationalité des décisions
- Réseaux sociaux et décision
- = 1 seule évaluation
- Des approfondissements (au choix) :
- Simulation de gestion
- Simulation stratégie internationale
- Sociologie des usages des TIC
- Méthodes et outils comptables de la prise de décision (suite cours 2A)
- Indicateurs de développement durable

### Bibliographie

- Pierre Mercklé, Sociologie des réseaux sociaux, La Découverte
- P. Hugon, Economie politique internationale et mondialisation, Economica, 2001. J. Stiglitz, La grande désillusion, Fayard, 2002.
- U. Beck, La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité, Paris, Aubier, 2001.
- R. Boudon, L'art de se persuader des idées douteuses, fragiles ou fausses, Paris, Fayard, 1990.
- M. Crozier, Erhard Friedberg, L'Acteur et le système, 1977, Paris, Seuil, Coll Points.

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**  
**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

## 5ESG9 - Approfondissements (1 sur 5)

### OBJECTIFS

Après le cours théorique sur la prise de décision, il s'agit de mettre les élèves face à des situations de prise de décision, dans lesquelles ils vont rencontrer des contextes différents : la gestion d'une entreprise, la stratégie d'un groupe international, le choix d'une nouvelle technologie, ou la prise de décision pour réduire la pollution industrielle. Les approfondissements sont basés sur des exercices de simulation, en petits groupes, où l'élève participe au cours sous forme d'exercices, de tests ou d'analyse de situations.

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé : 5 h  
Ects : 1

### CONTENU

- A1 : Simulation de gestion
- A2 : Indicateurs développement durable
- A3 : Stratégie internationale d'entreprise
- A4 : Sociologie des usages des nouvelles technologies de l'information et de la communication
- A5 : Valorisation financière de l'entreprise

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**  
**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

### 5ESG9-A1 - Simulation de gestion

#### OBJECTIFS

- Initiation pratique à l'économie et à la gestion d'entreprise.
- Entraînement à la prise de décision collective.
  
- Durant ce séminaire les élèves deviendront capables : de mieux appréhender les paramètres multiples régissant le fonctionnement d'une entreprise,
- de justifier, préparer et mettre en application des décisions de gestion portées par un esprit de compétition et d'équipe,
- de travailler sur une simulation de gestion d'entreprise à horizon de deux ans, permettant de mesurer l'impact de leurs choix.

#### Organisation

12 PC (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 5 h

#### CONTENU

Le modèle permet après un enseignement traditionnel, analytique, reçu en deuxième année, de mettre en lumière l'aspect synthétique de la gestion. Il renvoie à l'ensemble des fonctions mentionnées ci-dessous :

- 1 - Introduction à la comptabilité
- 2 - Introduction à la gestion financière
- 3 - Introduction à la politique générale
- 4 - Introduction au marketing
- 5 - Introduction à la micro-économie
- 6 - Introduction à la psychosociologie

**Responsable(s) du module : Marcel GASQUET**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

### 5ESG9-A2 - Indicateurs développement durable

#### OBJECTIFS

Objectifs : Qui dit pilotage de projet dit mise en place et suivi d'indicateurs : avoir une vision globale, critique et pragmatique du pilotage du développement durable.

- Sensibiliser aux enjeux et à la nécessité d'un DD.
- Donner les principaux ordres de grandeurs des activités humaines qui ont un impact sur les émissions de gaz à effet de serre et le prélèvement des ressources naturelles pour être en mesure de les évaluer et de les hiérarchiser.
- Présentation des indicateurs du développement durable de la vision supra-nationale aux entreprises et établissements publics.
- Ouvrir des pistes d'opportunités par l'innovation, par une économie de cycles fermés.

#### Organisation

12 PC (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 5 h

#### CONTENU

Outils :

- Focus sur le bilan carbone
- Mettre en œuvre un logiciel éducatif (développé par CAP Sciences Bordeaux / ADEME) pour identifier les liens entre l'activité humaine et ses émissions de GES, mettre en œuvre différents scénarios décisionnels de réduction de nos émissions de GES afin de simuler notre capacité à respecter le facteur 4 à l'horizon 2050. Analyser les résultats obtenus.

**Responsable(s) du module : Vincent CHAPIN**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES,  
Vincent CHAPIN**

## 5ESG9-A3 - Stratégie internationale d'entreprise

### OBJECTIFS

Ce module d'enseignement vise à analyser la prise de décision qui conduit au développement multinational des grandes entreprises. Il cherche à comprendre les motivations qui poussent les firmes à investir à l'étranger, les modalités d'implantation qu'elles utilisent et l'impact des flux d'investissements étrangers directs pour les pays d'accueil comme pour les pays d'origine. Le jeu de rôle permet également de mettre en évidence les qualités des participants comme la prise d'initiative, l'art de la négociation ou encore l'esprit de synthèse.

### Organisation

12 PC (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 5 h

### CONTENU

Ce module d'animation comprend deux séquences. La première est consacrée à un jeu de rôle intitulé : « La société Curie devient une multinationale ». La deuxième est destinée à l'analyse de la multinationalisation des firmes.

En partant du jeu de rôle, l'animateur invite les groupes à réfléchir sur le processus de multinationalisation des firmes à l'aide d'un document de synthèse distribué à l'ensemble des participants. Ce dernier aborde les points suivants :

- Qu'est-ce qu'une firme multinationale ?
- Investissements directs étrangers : définitions et tendances récentes.
- Les stratégies de multinationalisation : du local au global.
- Pourquoi l'entreprise devient-elle multinationale ?
- Où la firme multinationale s'implante-t-elle ?
- Comment l'entreprise se multinationalise-t-elle ?
- La mondialisation et l'organisation de la firme en réseau.
- Les conséquences de l'amplification des flux d'investissements directs étrangers.
- La firme globale : mythe et réalité.

### Bibliographie

W. Andreff, Les multinationales globales, La Découverte, 2001.

M. Delapierre et C. Millelli, Les firmes multinationales, Vuibert, 1995.

John Dunning, Multinational enterprises and the global economy, Addison-Wesley, 1993.

Jean-Louis Muchielli, Multinationales et mondialisation, Editions du Seuil, 2000.

Kénichi Ohmae, L'entreprise sans frontières, Inter-éditions, 1991.

**Responsable(s) du module : Alexandre MINDA**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



### 5ESG9-A4 - Sociologie des usages des TIC

#### OBJECTIFS

La sociologie des usages est une des contributions principales des sciences sociales à l'analyse des TIC. Ce cours est une introduction aux différents modèles de la sociologie des usages en France et aux Etats-Unis. L'accent sera mis l'accent sur l'observation des comportements des usagers et les usages des TIC au travail.

#### Organisation

11 PC (13.75 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 13.75 h

Volume heures encadrées : 13,75 h

Travail personnel estimé: 5 h

#### CONTENU

- Séance 1 : Orientations et courants en sociologie des usages : diffusion, adoption et appropriation
- Séance 2 : les réseaux socio-techniques
- Séance 3 : TIC au travail : les workplaces studies
- Séance 4 : TIC et organisations

#### Bibliographie

B.Conein, N.Dodier, L. Thévenot (ss dir.), 1994, Les objets dans l'action, coll. Raisons Pratiques, Paris : Ed. de l'EHESS  
Kessous, E.et J.-L. Metzger., 2005, Le travail avec les technologies de l'information, coll. technique et scientifique des télécommunications. Paris: Hermès Lavoisier.

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

### 5ESG9-A5 - Valorisation financière de l'entreprise

#### OBJECTIFS

Présenter des méthodes et outils de la prise de décision et en gestion :

- présentation des principes comptables et des indicateurs de performance financière ;
- simulation prévisionnelle de gestion et valorisation financière de l'entreprise.

#### Pré-requis

5-DESII1

5-DESII2

5-DESII3

5-DESII4

ce cours devra être obligatoirement choisi par les élèves du DESII

#### Organisation

12 PC (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé: 5 h

#### CONTENU

Dans le cadre de cet enseignement, sont analysées et testées les techniques et les méthodes appliquées en gestion et en finance.

Simulations et scénarios.

Exercices et exemples avec comptes fictifs.

**Responsable(s) du module : Michel SALVA**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

# Langues vivantes

## 5LV1 - Anglais : Technical Symposium

### OBJECTIFS

Donner aux futurs ingénieurs des compétences en anglais suffisantes pour :

- comprendre leurs homologues anglophones dans des situations variées (séminaires, communications orales et écrites, rencontres plus informelles),
- pouvoir communiquer en anglais courant,
- savoir faire en anglais des exposés synthétiques dans des domaines relevant de la culture et de la technique.

De façon générale, l'objectif en anglais à l'ISAE-ENSICA est de mettre l'élève dans une situation professionnelle où il faut communiquer en anglais. Il s'agit moins d'un cours d'anglais qu'un cours en anglais.

### Pré-requis

3LV1

Volume heures encadrées : 28 h

Travail personnel estimé : 15 h

Ects : 1,5

### CONTENU

Module « tronc commun » : Technical Symposium (7 semaines)

- exposer sur un sujet scientifique devant un jury composé d'un ingénieur et d'un professeur d'anglais
- écrire un résumé (abstract)/format identique pour le PFE
- négocier
- l'organisation des sociétés/parler de son expérience

De façon générale, les élèves sont encouragés à convenir des sujets de cours avec leurs professeurs pour approfondir les sujets ou combler les lacunes.

Module « à la carte » : (7 semaines)

- 1 «carte» au choix sur 4 «cartes» proposées: civilisation américaine, publicité, art et architecture, théâtre, cinéma, civilisation britannique, débats, (les modules varient d'année en année)

**Responsable(s) du module : Joseph SHEA**

**Correspondant ISAE : Joseph SHEA**

## 5LV2 - Langue vivante 2

### OBJECTIFS

- Entretenir et développer un niveau linguistique préacquis (en conservant la langue 2 d'origine).
- Sensibiliser aux cultures non francophones et prendre conscience des spécificités interculturelles.

### Pré-requis

4LV2

Test spécifique pour AST, ERASMUS etc

Volume heures encadrées : 21 h

Travail personnel estimé : 14 h

Ects : 1

### CONTENU

- Enrichissement des structures et du vocabulaire.
- Approche de la civilisation par l'actualité politique, économique et culturelle (multimédia).
- Déblocage de l'expression orale (jeux de rôle, discussions, simulations).

Les élèves sont répartis en groupes de niveaux.

L'inscription à une langue étrangère 2 engage les élèves pour les années à l'école (essentiel pour assurer une progression continue).

### Bibliographie

Selon langue et niveau

**Responsable(s) du module : Alban AZAIS**

**Correspondant ISAE : Alban AZAIS**



## Sport ou expression artistique

### 5APS - Activités physiques et sportives

#### OBJECTIFS

Au travers d'une activité évolutive, les APS visent à amener progressivement l'élève à découvrir que l'investissement dans une activité (physique, artistique ou associative), que le microcosme dans lequel il agit, induit les mêmes types de relations et de comportements que ceux qu'un ingénieur rencontrera dans son métier ou dans son entreprise.

3 objectifs se dégagent:

- 1- Permettre au travers d'une activité hebdomadaire de développer des qualités propres aux APS (développement psycho-physiologique)
- 2- Permettre de développer des qualités liées à la pratique sportive.
  - \*Productivité (observation, analyse, synthèse, adaptation, assimilation, anticipation...)
  - \*Communication (tolérance, respect des règles, écoute, leadership...)
  - \*Qualités humaines (combativité, ténacité, audace, prise de risque, persévérance...)
- 3- Gestion de projet en vue de transfert dans le monde du travail.

Gestion administrative et financière des APS et de grands projets (AS, Raid/ISAE,...)

Volume heures encadrées : 30 h

#### CONTENU

Des cours sont prévus chaque semaine parmi les activités suivantes :

Arts du cirque, Badminton, Full-contact, Natation, Tennis, Tennis de table, Rugby, Football, Handball, Volley-ball, Basket-ball.

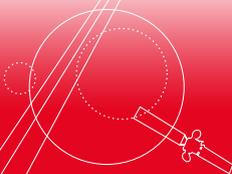
Des activités artistiques (Arts plastiques, Théâtre) sont également mises en place.

Les activités ne sont pas évaluées toutefois des dérogations exceptionnelles peuvent être demandées.

Elles seront étudiées par les responsables académiques.

**Responsable(s) du module : Pascal DENOYER**

**Correspondant ISAE : Pascal DENOYER**

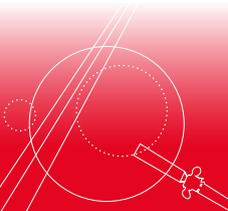


## **Modules**

**Options de technologie ou concepts avancés**



## SEQUENCE 14



## 5-14 MAS 141 - Commande avancée des systèmes

### OBJECTIFS

L'objectif est de présenter les concepts de l'automatique moderne nécessaires pour aborder les problèmes de contrôle et de commande des engins aérospatiaux.

On traite la modélisation et la commande modale des systèmes à plusieurs entrées et plusieurs sorties caractérisés par des interactions fortes. Une application au pilotage des avions est détaillée.

On s'intéresse également à la commande robuste, c'est à dire aux méthodes permettant de garantir un degré de performance en présence de perturbations ou d'incertitudes. A titre d'application, le contrôle d'attitude d'un satellite souple est largement traité.

On termine par le contrôle de structures mécaniques structurellement souples, de la modélisation jusqu'à la commande. On traite en particulier le problème d'un lanceur souple.

### Pré-requis

3AUT2

Volume heures encadrées : 83.75 h

Travail personnel estimé : 30 h

Ects : 7.5

### CONTENU : 3 sous-modules

Systèmes multivariables (5-14 MAS 52)

Applications spatiales de la commande robuste (5-14 MAS 92)

Commande des structures flexibles aéronautiques et spatiales (5-14 MAS 82)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes.

### Responsable(s) du module :

**Joël BORDENEUVE-GUIBE, Valérie BUDINGER**

**Correspondant ISAE : Joël BORDENEUVE-GUIBE**



## 5-14 MAS 141 - Commande avancée des systèmes

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 52 - Systèmes multivariables

##### OBJECTIFS

Ce cours permet de donner les outils nécessaires pour appréhender et résoudre les problèmes de commande des systèmes à plusieurs entrées et plusieurs sorties, qui représentent la majorité des systèmes aérospatiaux (avions, hélicoptères, missiles, lanceurs, etc).

L'accent est mis sur les aspects liés à la modélisation et sur les spécificités par rapport aux systèmes mono entrée mono sortie.

Les aspects commande sont abordés comme une extension directe du cas mono entrée mono sortie, principalement par utilisation de lois de commande à retour d'état. Les applications représentent une part importante du cours, à travers des exemples académiques d'une part, mais aussi par une étude de cas concrète relative au pilotage automatique d'un avion de transport.

##### Organisation

16 Cours (20 h)

3 BE (7.5 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé: 10 h

##### CONTENU

- Représentation des systèmes à plusieurs entrées et plusieurs sorties.
- Critères de gouvernabilité et d'observabilité.
- Commande par placement de pôles
- Commande par placement de structure propre
- Commande découplante.
- Commande décentralisée
- Etude de cas

##### Bibliographie

Fossard, Commande des systèmes multidimensionnels, Dunod, 1972.

Denis Arzelier, Représentation et analyse des systèmes linéaires, notes de cours ISAE/ENSICA, 2009.

J. Bordeneuve-Guibé, Commande des systèmes linéaires, notes de cours ISAE/ENSICA, 2008.

##### Responsable(s) du module :

**Joël BORDENEUVE-GUIBE**

**Correspondant ISAE : Joël BORDENEUVE-GUIBE**

## 5-14 MAS 141 - Commande avancée des systèmes

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 92 - Applications spatiales de la commande robuste

##### OBJECTIFS

Dans la mise en place d'un système de commande, il est nécessaire de tenir compte des variations toujours existantes de l'environnement du système (conditions extérieures et perturbations) et des variations des paramètres internes du système (dus soit à des variations de conditions extérieures soit à des modifications internes). La commande robuste a pour objectif de réaliser des systèmes de commande qui soient le plus insensibles possibles à ces variations et perturbations et fournissant un degré de performance garanti. Les méthodes et théorie développées dans les années 80 sont actuellement mises en place par les acteurs du domaine spatial (agences telles que le CNES, l'ESA, le DLR, entreprises telles que EADS-ST, EADS Astrium, Thalès Alenia Space) sur des applications aussi différentes que le contrôle d'attitude, le pilotage de lanceurs flexibles ou le maintien à poste de formation de satellites. L'un des objectifs du cours est d'illustrer à travers le problème particulier du contrôle d'attitude d'un satellite souple ces dernières avancées. La deuxième partie du cours est consacrée à cette problématique et sera présentée par un ingénieur du CNES.

##### Organisation

13 Cours (16.25 h)

5 BE (12.5 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 31.25 h

Volume heures encadrées : 28.75 h

Travail personnel estimé : 8 h

##### CONTENU

- Introduction à la conception des systèmes de commande. Les normes spatiales et temporelles. Outils d'analyse fréquentielle multivariable. Norme des signaux et des systèmes.
- Modélisation incertaine
- Formulation standard. Analyse du bouclage standard (LFT). Les fonctions de sensibilité.
- Stabilité interne. Analyse. Théorème du faible gain.
- Analyse robuste en stabilité.
- SR et incertitude structurée.
- Valeur singulière structurée. Mu complexe, réel et mixte.
- Analyse robuste en performance. Loopshaping.
- Synthèse robuste : LQG, LQG/LTR. Synthèse H2.
- Synthèse H infinie. Sensibilité mixte. Problème 4 blocs.
- Introduction au contrôle d'attitude.

##### Bibliographie

S. Skogestad et I. Postlethwaite, Multivariable feedback control : analysis and design, Wiley, 1996.

K. Zhou, Essentials of robust control, Prentice Hall international, 1996.

G. Duc & S. Font, Commande H infini et u-analyse, Hermes Collection pédagogique d'automatique, 1998.

D. Alazard, C. Cumer, P. Apkarian, M. Gauvrit, G. Ferreres, Robustesse et commande optimale, Cepadues Editions, 2000.

H. Kwakernaak & R. Sivan, Modern signals and systems., Prentice Hall International, 1991.

**Responsable(s) du module : Daniel ALAZARD**

**Correspondant ISAE : Joël BORDENEUVE-GUIBE**



## 5-14 MAS 141 - Commande avancée des systèmes

### 3<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 82 - Commandes des structures flexibles aéronautiques et spatiales

##### OBJECTIFS

Etudier les particularités des structures mécaniques peu amorties, comme les lanceurs, les grands satellites, les avions souples, etc.

Modéliser les structures avec des modes flexibles.

Connaitre les techniques d'identification de ces structures.

Etudier les techniques de commande adaptées à ces problèmes (Gain control : spillover, roll-off; Phase control; Adaptative control).

##### Organisation

14 Cours (17.5 h)

4 BE (10 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé : 8 h

##### CONTENU

1<sup>o</sup> partie : Cours et BE sur les structures flexibles

- Dynamique des structures
- Mise en équations par la méthode de Lagrange
- Positivité
- Réduction modale
- Contrôle

2<sup>o</sup> partie : Application

- Modélisation d'une structure souple avec un logiciel par éléments finis et calcul d'un modèle réduit avec Matlab
- Calcul des lois de commande pour la réduction de vibration (Matlab-Simulink)

##### Bibliographie

Junkins and Kim, Dynamics and Control Flexible Structures , AIAA Education Series, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, D. C., 1993.  
André Preumont and Kazuto Seto, Active Control of Structures, Wiley, 2008

Jeanneau, Commande fréquentielle semi-adaptative des structures flexibles, Thèse de doctorat de SUPAERO, 2000.  
G. Duc, S. Font, Commande H-infini et analyse : des outils pour la robustesse, Hemès, 1999.

M. Hatch, Vibration Simulation Using Matlab and Ansys, Chapman & Hall/CRC, 2000

Gerardin G., Rixen D., Mechanical vibrations: theory and applications to structural dynamics, John Wiley&sons, 1997.

**Responsable(s) du module : Daniel ALAZARD**

**Correspondant ISAE : Valérie BUDINGER**

## 5-14 MAS 142 - Signal-Image

### OBJECTIFS

Le module signal-image présente les différents moyens de représenter et d'analyser des signaux et des images, ainsi que les principaux traitements associés. Ce module comprend un bloc image donnant les bases de représentation des images et les traitements usuels (restauration, débruitage, segmentation). Cette partie est plutôt orientée vers l'imagerie satellitaire mais d'autres applications (e.g., médical) sont présentées. La partie signal se focalise sur les techniques de traitement d'antennes, c'est-à-dire la réception simultanée de signaux sur plusieurs antennes à des fins de filtrage spatio-temporel, de localisation et de détection. Ce bloc mélange des aspects recherche et un projet applicatif autour d'une maquette.

### Pré-requis

3SIG5  
3SIG6  
3TMA5  
2TMA3

Volume heures encadrées : 90 h  
Travail personnel estimé : 15 h  
Ects : 7.5

### CONTENU : 4 sous-modules

Représentation et analyse des signaux (5-14 MAS 51)  
Traitement d'image (5-14 MAS 1421)  
Traitement d'antennes (5-14 MAS 61)  
Théorie de la détection (5-14 MAS1422)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes.

**Responsable(s) du module : Francois VINCENT,  
Stéphanie BIDON, Olivier BESSON**  
**Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-14 MAS 142 - Signal-Image

### 1<sup>er</sup> sous-module

### 5-14 MAS 51 - Représentation et analyse des signaux

### OBJECTIFS

Le cours a pour but de présenter la diversité des outils de représentation des signaux déterministes ou aléatoires et l'usage que l'on peut en faire pour mettre en évidence des caractéristiques particulières du signal dans les domaines du temps et/ou des fréquences.

### Organisation

12 Cours (15 h)  
2 BE (5 h)  
1 Oral (0.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 20.5 h

Volume heures encadrées : 20 h  
Travail personnel estimé : 6 h

### CONTENU

Représentations globales (Fourier, Haar, Hadamard, etc.).  
Représentation temps-fréquence (Transformée de Fourier glissante, distribution, classe de Cohen : Wigner-Ville).  
Représentation temps-échelle (Transformée en ondelettes continue, décomposition en ondelettes orthogonales, bi-orthogonales, analyse multirésolution).

### Bibliographie

P. Flandrin, Temps-Fréquence, Hermès, 1993.  
C-L. Nikias et A. Petropulu, Higher Order Spectra Analysis, Prentice Hall, 1993.  
P. Stoica et R.L. Moses, Introduction to Spectral Analysis, Prentice Hall, 1997.  
S-M. Kay, Modern Spectral Estimation, Prentice Hall, 1987.  
S-L. Marple, Digital Spectral Analysis with Applications, Prentice Hall, 1987

**Responsable(s) du module : Carole THIEBAUT**  
**Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-14 MAS 142 - Signal-Image

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 1421 - Traitement d'image

##### OBJECTIFS

Le cours de traitement d'image fournit une introduction à la formation des images et aux principaux traitements appliqués aux images.

##### Organisation

1 BE (2.5 h)  
5 Cours (13.75 h)  
3 BE (10 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 25 h

Volume heures encadrées : 25 h  
Travail personnel estimé : 5 h

##### CONTENU

Introduction au traitement d'image  
Restauration  
Débruitage, déquantification  
Segmentation  
Représentations parcimonieuses

##### Bibliographie

F. Malgouyres, «Méthodes variationnelles en traitement d'images», <http://www.math.univ-toulouse.fr/~fmalgouy/enseignement/imageIMAT.html>  
Michael Elad, «Sparse and Redundant Representations: From Theory to applications in Signal and Image Processing», Springer.  
Gilles Aubert, Pierre Kornprobst, «Mathematical Problems in Image Processing: Partial differential equations and the calculus of variations», Springer.

**Responsable(s) du module : François MALGOUYRES**  
**Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-14 MAS 142 - Signal-Image

### 3<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 61 - Traitement d'antennes

##### OBJECTIFS

Dans de nombreuses applications, la dimension spatiale procurée par l'utilisation de plusieurs antennes réparties dans l'espace permet d'améliorer la réception de signaux. C'est par exemple le cas en radar pour obtenir une meilleure localisation de cibles, en communications mobiles où les réseaux d'antennes sont prévus dans les futures normes, ou dans le domaine biomédical. L'objectif du cours est de présenter les moyens de récupérer un signal ou d'en localiser la provenance à l'aide de réseaux d'antennes.

##### Organisation

14 Cours (17.5 h)  
6 BE (15 h)  
1 Oral (0.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 33 h

Volume heures encadrées : 32.5 h  
Travail personnel estimé : 5 h

##### CONTENU

Modélisation.  
Filtrage spatial et formation de faisceaux.  
Réseaux partiellement adaptatifs et réjection d'interférences.  
Localisation de sources.

##### Bibliographie

H-L. Van Trees, Optimum Array Processing, John Wiley, 2002.  
D-G. Manolakis, V. Ingle et S. Kogon, Statistical and Adaptive Signal Processing, Mc Graw Hill, 2000.  
S. Marcos, les méthodes à haute résolution : Traitement d'antennes et analyse spectrale, Hermes, 1998.  
S. Haykin, Ed., Advances in Spectrum Analysis and Array Processing, vol. II, 1991  
P-S. Naidu, Sensor Array Signal Processing, CRC Press, 2001

**Responsable(s) du module : François VINCENT,**  
**Olivier BESSON**  
**Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-14 MAS 142 - Signal-Image

### 4<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MAS 1422 - Théorie de la détection

##### OBJECTIFS

Introduction au principe de base de la détection de signaux déterministes

##### Organisation

2 BE (5 h)

3 Cours (7.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 12.5 h

Volume heures encadrées : 12.5 h

Travail personnel estimé: 7 h

##### CONTENU

- Introduction (but, exemples d'application) et notions de base (test d'hypothèse binaire, probabilités de fausse alarme et de détection, lemme de Neyman-Pearson)
- Détection d'un signal déterministe connu dans du bruit Gaussien (filtrage adapté, corrélation réplique-signal)
- Détection d'un signal déterministe de paramètres inconnus dans du bruit Gaussien (test d'hypothèse composite, GLRT (Generalized Likelihood Ratio Test))
- Étude théorique de détecteurs et implémentation sur signaux radar

##### Bibliographie

E.J. Kelly, An adaptive detection algorithm, IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, 22(1) : 115-127, March 1986.

F.C. Robey, D.R. Fuhrmann, E.J. Kelly and R. Nitzberg, A CFAR adaptive matched filter detector, , IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, 28(1) : 208-216, January 1992.

S.M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol 1: Estimation Theory, Prentice Hall Signal Processing series, 1993.

S.M. Kay, Fundamentals of statistical signal processing : Vol 2 : Detection theory, Prentice Hall Signal Processing series, 1998.

**Responsable(s) du module : Stéphanie BIDON**

**Correspondant ISAE : Stéphanie BIDON**



## 5-14 MGM 141 - Conception de véhicules spatiaux

### OBJECTIFS

Ce module a pour objectif principal de donner les compétences nécessaires à la conception de nouvelles familles de lanceurs et aborde les notions fondamentales du dimensionnement général du lanceur et de ses sous-systèmes structurels, de la dynamique et de l'ambiance vibratoire des lanceurs au sol et en vol, de l'interaction entre le lanceur et sa charge utile, du pilotage et du guidage du lanceur en fonction de la mission, des différents types de propulsion et de leur efficacité. Les cours et séances pratiques sont alternés de manière à permettre aux élèves d'approfondir les notions jusqu'à un niveau master recherche (dynamique vibratoire et propulsion). Une séance de tir de moteur au banc est prévue en collaboration avec des chercheurs partenaires. Ce module permet donc d'aborder la conception des véhicules spatiaux selon plusieurs points de vue complémentaires et donne la formation nécessaire à l'ingénieur des structures et systèmes de lanceurs. Ce module est le premier volet de l'itinéraire Espace.

### Pré-requis

1SIG2  
1TMC1  
1TMC2  
1TGM1  
3SIG5  
3AUT2  
5TGM9  
2AUT1  
2TMC4  
2TMC7

Volume heures encadrées : 88.75 h  
Travail personnel estimé : 36 h  
Ects : 7.5

### CONTENU : 5 sous-modules

Aéroélasticité des structures minces (5-14 MGM 1411)  
Dynamique vibratoire satellite lanceur 5-14 MGM 1412)  
Pilotage guidage (5-14 MGM 1413)  
Structures, intégration, lanceurs (5-14 MGM 1414)  
Propulsion (5-14 MGM 1415)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

### Bibliographie

F. Bruhn, Analysis and design of Flight Vehicle Structures, Tri State Offset Company, 1965.  
J.J.F. Imbert, Analyse des structures par éléments finis, Cepadues collection SupAéro, 1991.  
S. Laroze, Mécanique des structures, Masson, 1988.  
A. Girard, N. Roy, Dynamique des structures industrielles, Editions Hermes Science, 2003. Techniques de l'ingénieur, Traité de Génie mécanique, 1997  
P. Masselin et G. Salessy, Guidage des missiles balistiques et spatiaux, ENSICA, 1988  
J-C. Vannier, Guidage-Pilotage des engins balistiques et spatiaux- Composants liés, ENSICA, 1994  
J-C. Radix, Systèmes inertiels à composants liés - Strap down, Cepadues collection SupAéro, 1991.

**Responsable(s) du module : Alain GIRARD, Christine ESPINOSA, Adrien PAVIE, Gilles GORDEENKO, Gérald PIGNIE, Nicolas COURONEAU-MORTREUIL, Jérôme ANTHOINE**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-14 MGM 141 - Conception de véhicules spatiaux

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 1411 - Aéroélasticité des structures minces

##### OBJECTIFS

Connaître les modes de déformation et les méthodes de dimensionnement des structures souples en interaction fluide-structure.

Ce module est un module de perfectionnement pour le calcul des structures en dynamique vibratoire. est articulé en deux parties: interactions fluides-structures, interactions lanceur-satellite. Cette partie du cours traite des interactions fluides structures orientées vers le comportement des structures, des modes de vibration souples, et des modes instables associés à l'instabilité aéroélastique (« flutter »).

##### Pré-requis

3SIG5  
3AUT2  
2TMC4  
2TMC7

##### Organisation

6 Cours (7.5 h)  
3 BE (7.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 6 h

##### CONTENU

Introduction, process industriels.  
Aéroélasticité statique.  
Equation aéroélastique et modèles d'état.  
Flutter flexion-rotation.  
Identification.  
Aéroservoelasticité (contrôle avion souple + modèles turbulence)  
Contrôle de modes souples.

##### Bibliographie

E.F. Bruhn, Analysis and design of Flight Vehicle Structures, Tri State Offset Company, 1965.  
J.N. Giraudbit, Conception structurale des véhicules aérospatiaux, ENSAE, 1991.  
J.F. Imbert, Analyse des structures par éléments finis, Cepadues collection SupAéro, 1991.  
S. Laroze, Mécanique des structures, Masson, 1988.

**Responsable(s) du module : Adrien PAVIE**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-14 MGM 141 - Conception de véhicules spatiaux

### 2<sup>e</sup> sous-module

## 5-14 MGM 1412 - Dynamique vibratoire satellite/lanceur

### OBJECTIFS

Savoir analyser et vérifier le comportement dynamique des véhicules spatiaux, en particulier les interactions entre le lanceur et son satellite.

Ce module est un module de perfectionnement pour le calcul des structures en dynamique vibratoire. est articulé en deux parties: interactions fluides-structures, interactions lanceur-satellite. Cette partie du cours s'intéresse plus particulièrement aux systèmes couplés tels les systèmes lanceur satellite. Elle aborde les interactions de systèmes via l'introduction de fonctions de transfert, et s'intéresse aux méthodes de dimensionnement qui tiennent compte de la nature de la sollicitation appliquée (phase de vol par exemple).

### Pré-requis

1SIG2  
1TMC1  
3SIG5  
2TMC4  
2TMC7

### Organisation

5 cours (6,25 h)  
4 PC (5 h)  
1 BE (2,50 h)  
1 examen écrit (éval. commune 1411) (1,25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 13.75 h  
Travail personnel estimé: 6 h

### CONTENU

Introduction : les lanceurs et les satellites, l'environnement dynamique lanceur, les problèmes à résoudre ;  
La dynamique des structures : généralités, le système à 1 degré de liberté, les systèmes à n degrés de liberté ;  
La dynamique lanceur / satellite : l'analyse couplée lanceur / satellite, les essais.

### Bibliographie

A. Girard, N. Roy, Dynamique des structure industrielles, Editions Hermes Science, 2003.  
Techniques de l'ingénieur, Traité de Génie mécanique, 1997.  
A. Girard, Dynamique des structures spatiales, notes de cours ENSICA, 1997.  
J.F. Imbert, Analyse des structures par éléments finis, Cepadues collection SupAéro, 1991.  
S. Laroze, Mécanique des structures, Masson, 1988.

**Responsable(s) du module : Alain GIRARD**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-14 MGM 141 - Conception de véhicules spatiaux

### 3<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 1413 - Pilotage guidage

##### OBJECTIFS

Apporter les notions de pilotage et de guidage des véhicules spatiaux et approfondir les connaissances d'automatique appliquée aux lanceurs.

Cette partie traite de pilotage et guidage.

##### Pré-requis

1SIG2  
1TMC1  
3AUT2  
5TGM9

##### Organisation

9 cours (11,25 h)  
3 TD (3,75 h)  
1 examen écrit (éval. commune 1414) (1,25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 16.25 h

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé : 6 h

##### CONTENU

Equations du vol.  
Guidage. Pilotage.  
Architecture des chaînes de guidage-pilotage et aspects opérationnels  
Evolution et systèmes futurs.

##### Bibliographie

P. Masselin et G. Salessy, Guidage des missiles balistiques et spatiaux, ENSICA, 1988.  
J-C. Vannier, Guidage-Pilotage des engins balistiques et spatiaux- Composants liés, ENSICA, 1994.  
J-C. Radix, Systèmes inertiels à composants liés - Strap down, Cepadues collection SupAéro, 1991.  
Ariane 5 : structures et technologies, Cepadues collection CNES, 1993.

**Responsable(s) du module : Gérald PIGNIE**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-14 MGM 141 - Conception de véhicules spatiaux

### 5<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 1415 - Propulsion

##### OBJECTIFS

Approfondir les connaissances dans le domaine de la propulsion des lanceurs. Donner des connaissances pratiques et théoriques fondamentales sur les différents modes de propulsion. Mettre en œuvre un essai de propulsion au banc.

##### Pré-requis

5TGM9  
5-6 MGM 71

##### Organisation

17 Cours (21.25 h)  
2 BE (5 h)  
2 TD (2.5 h)  
2 Examens écrits (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28.75 h  
Travail personnel estimé : 12 h  
Ects : 2.5

##### CONTENU

Introduction générale à la propulsion : Présentation des différents modes de propulsion (chimique, électrique, nucléaire, ...).

##### Propulsion Aérobic

Principes fondamentaux ; Avantages et applications. Architecture et systèmes d'injection. Prises d'air. Méthodes de dimensionnement et calcul des performances  
Principes de la propulsion par super-statoréacteur  
Les statofusées

##### Propulsion Bi-Liquide

Principes fondamentaux ; Avantages et applications  
La chambre propulsive.  
Les turbopompes ; Intégration avec la chambre.  
L'ensemble propulsif.

##### Propulsion Hybride

Principes fondamentaux ; Avantages et applications.  
Optimisation des performances.  
Application aux fusées sondes.  
Essais au sol et en vol et codes de dimensionnement.

##### Propulsion Solide

Un peu d'histoire ; Choix de la propulsion solide.  
Principes ; Les différents sous-ensembles.  
Le propergol solide.  
Conception balistique, mécanique et optimisation.  
La sécurité pyrotechnique ; Les essais et la simulation.  
Les organisations étatiques et l'industrie.  
Introduction aux instabilités de combustion (Fauga).

##### Bibliographie

T. Leblond, Propulsion des missiles, ENSICA, 1990.  
J. Boisson, La propulsion par fusée. Moteurs à poudre, ENSICA, 1988.  
P. Masselin et G. Salessy, Guidage des missiles balistiques et spatiaux, ENSICA, 1988.  
J-C. Vannier, Guidage-Pilotage des engins balistiques et spatiaux-Composants liés, ENSICA, 1994.  
J-C. Radix, Systèmes inertiels à composants liés - Strap down, Cepadues collection SupAéro, 1991.  
Ariane 5 : structures et technologies, Cepadues collection CNES, 1993.  
Structure des véhicules spatiaux et essais mécaniques, Cepadues collection CNES, 1994.  
A. Busemann, N-X. Vinh et R-D. Culp, Hypersonic flight mechanics, NASA Report, 1976.

##### Responsable(s) du module :

**Nicolas COURONEAU-MORTREUIL, Jérôme ANTHOINE**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-14 MGM 142 - Mécanique des solides avancée

### OBJECTIFS

Ce module a pour objectif de donner aux élèves des éléments de réflexion sur des concepts avancés de mécanique en vue de poursuivre dans de bonnes conditions dans la recherche et le développement en mécanique dans un cadre industriel ou académique. Il regroupe les trois options du Master Recherche Génie Mécanique proposées à l'ISAE-ENSICA.

Ce module se décompose en quatre parties principales. Après une introduction présentant le cadre thermodynamique dans lequel sont développées les lois de comportement, une première partie vise à fournir les bases scientifiques et présenter les méthodes pratiques concernant la modélisation du comportement des matériaux et structures métalliques (thermoélasticité, plasticité, endommagement, fatigue thermomécanique). Une deuxième partie s'attache quant à elle à donner aux élèves la capacité d'une part de comprendre et de modéliser les mécanismes d'endommagement et de rupture des matériaux composites structuraux aéronautiques et spatiaux, d'autre part d'identifier ces lois de comportement complexes par des essais et de les utiliser dans des codes de calcul selon l'application visée. La troisième partie permet aux élèves d'appréhender les problèmes et les outils de résolution mis en œuvre dans des simulations numériques des phénomènes en dynamique non linéaire : crash, impacts. Enfin, la dernière partie a pour objectif de confronter l'ensemble de ces connaissances à des problématiques industrielles.

### Pré-requis

1TMC2

1TMF1

4-1 MGM 11

4-2 MGM 21

4-3 MGM 31

Ects : 7.5

### CONTENU : 3 sous-modules

Comportement des matériaux composites stratifiés aéronautiques et spatiaux (5-14 MGM 52)

Comportement des matériaux métalliques (5-14 MGM 112)

Simulation numérique et dynamique transitoire non linéaire (5-14 MGM 82)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes.

**Responsable(s) du module : Catherine MABRU**

**Correspondant ISAE : Catherine MABRU**



## 5-14 MGM 142 - Mécanique des solides avancée

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 52 - Comportement des matériaux composites stratifiés aéronautiques et spatiaux

##### OBJECTIFS

Comprendre et modéliser les mécanismes d'endommagement et de rupture des matériaux composites structuraux aéronautiques.

Savoir utiliser les lois de comportement complexes implémentées dans les codes de calculs industriels en fonction des applications visées.

Savoir identifier les essais permettant d'identifier des lois de comportement.

Savoir choisir les algorithmes de calculs appropriés en fonction des applications.

##### Organisation

14 Cours (17.5 h)

3 BE (7.5 h)

2 Cours (5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé : 10 h

##### CONTENU

- Introduction au comportement mécanique des composites stratifiés aéronautiques
- Introduction à la tolérance aux dommages en aéronautique
- Rappel sur le calcul numérique non linéaire
- La mécanique de la rupture
- La mécanique de l'endommagement

1 projet final appliqué

##### Bibliographie

J. Lemaitre et J.-L. Chaboche, «Mécanique des matériaux solides», Dunod, 2004.

**Responsable(s) du module : Frédéric LACHAUD**

**Correspondant ISAE : Laurent MICHEL**

## 5-14 MGM 142 - Mécanique des solides avancée

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 112 - Comportement des matériaux métalliques

##### OBJECTIFS

Cet enseignement vise à fournir les bases scientifiques et présenter les méthodes pratiques concernant la modélisation du comportement des matériaux et structures métalliques (thermoélasticité, plasticité, endommagement, fatigue thermomécanique). Les perspectives d'application concernent plus particulièrement la fabrication aéronautique.

##### Organisation

17 Cours (21.25 h)

3 BE (7.5 h)

1 Oral (0.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 29.25 h

Volume heures encadrées : 28.75 h

Travail personnel estimé : 15 h

##### CONTENU

- 1 - Etude théorique du comportement thermo-mécanique : mise en place des équations, couplages (option Master recherche).
- 2 - Résolution d'un problème de thermoélasticité par la méthode des éléments finis (option Master recherche).
- 3 - Plasticité, rupture ductile et endommagement dans les matériaux métalliques (option Master recherche).
- 4 - Fatigue thermomécanique - Applications R&D aubes de turbine (option Master recherche).
- 5 - Applications industrielles : thermoélasticité et dimensionnement structure avion
- 6 - Applications industrielles : thermoélasticité et dimensionnement système d'échangeur

##### Bibliographie

J. Lemaitre et J.-L. Chaboche, «Mécanique des matériaux solides», Dunod, 2004.

**Responsable(s) du module : Catherine MABRU,**

**Rémy CHIERAGATTI**

**Correspondant ISAE : Rémy CHIERAGATTI**

## 5-14 MGM 142 - Mécanique des solides avancée

### 3<sup>e</sup> sous-module

#### 5-14 MGM 82 - Simulation numérique et dynamique transitoire non-linéaire

##### OBJECTIFS

Appréhender les problèmes et les outils de résolution mis en œuvre dans des simulations numériques des phénomènes en dynamique non linéaire : crash, impacts.

##### Connaissances visées

Savoir manipuler un code de calcul et vérifier ses propres données et hypothèses ; savoir analyser les résultats de manière critique ; savoir appréhender un modèle mécanique et un modèle numérique associé en dynamique non linéaire ; savoir présenter son travail dans une étude d'ingénierie.

##### Pré-requis

- 4-1 MGM 11
- 4-2 MGM 21
- 4-3 MGM 31

##### Organisation

- 13 Cours (16.25 h)
- 4 BE (10 h)
- 2 TD (2.5 h)
- 1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé : 5 h

##### CONTENU

L'accent est mis sur les méthodes et outils de résolution en mécanique hydrodynamique non linéaire, afin de comprendre l'intérêt et les limitations des méthodes disponibles et recommandées :

Présentation du contexte industriel et de l'usage chez AIRBUS.

Ingénierie en dynamique non linéaire explicite et historique.

Problèmes mécaniques et mathématiques liés au caractère dynamique transitoire et non linéaire.

Choix des méthodes de résolution et des modélisations : discrétisation spatiale, intégration en temps, comportement des matériaux, contact, instabilités numériques.

Méthodes de travail en ingénierie et de contrôle des résultats.

Illustration sur des cas d'étude académiques et industriels.

Un BE de comparaison des modèles et résultats pour un impact de volatile sur un bord d'attaque d'une aile AIRBUS.

Réalisation d'un projet de type étude d'ingénierie sur un cas avec étude paramétrique.

##### Bibliographie

- 1. <http://jean.garrigues.perso.centrale-marseille.fr/>
- 2. A. Ybrahimbegovic, Mécanique non linéaire des solides déformables, Ed. Hermès Lavoisier, 2006.
- 3. A. Curnier, Méthodes numériques en mécanique des solides, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1993.
- 4. T. Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran, Non Linear finite elements for continua and structures, Ed. John Wiley & Sons Ltd, 2000.

**Responsable(s) du module : Christine ESPINOSA**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-14 MMF 141 - Mécanique des fluides avancée

### OBJECTIFS

Les écoulements industriels, en particulier ceux rencontrés en ingénierie aéronautique, sont pleinement turbulents et sont désormais traités au moyen de simulations numériques et de calculs haute performance. L'objectif est donc de former les étudiants à la physique et la modélisation de la turbulence et de leur donner les outils numériques spécifiques nécessaires au traitement de ces écoulements turbulents.

On aborde d'abord la physique et les propriétés de la turbulence avant de présenter son traitement statistiques ainsi que les principaux modèles de fermeture au premier ordre utilisés actuellement.

On s'intéresse ensuite à la simulation numérique des écoulements fluides en abordant les principaux concepts nécessaires à la maîtrise et à la validation des outils de simulation numérique modernes.

On termine par la calcul haute performance nécessaire à la simulation numérique des écoulements turbulents. À cet effet, on présente les concepts fondamentaux du calcul parallèle à haute performance ainsi que les outils et paradigmes de parallélisation les plus répandus dans l'industrie.

### Pré-requis

3TMF3

3TMF4

2TMF2

2TMA3

Ects : 7.5

### CONTENU : 3 sous-modules

Physique et modélisation de la turbulence (5-14 MMF 81)

Mécanique des fluides numérique (5-14 MMF 92)

Programmation numérique parallèle (5-14 MMF 101)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes.

**Responsable(s) du module : Jerome FONTANE**

**Correspondant ISAE : Jerome FONTANE**

## 5-14 MMF 141 - Mécanique des fluides avancée

### 1<sup>er</sup> sous-module

## 5-14 MMF 81 - Physique et modélisation de la turbulence

### OBJECTIFS

Dans un premier temps, il s'agit de donner une large ouverture sur la turbulence en Mécanique des fluides sans privilégier telle ou telle orientation de recherche dans ce domaine. L'accent est mis sur les propriétés physiques du phénomène à l'origine de certaines des spécificités du traitement mathématique. Dans un deuxième temps, il s'agit de donner les éléments permettant de comprendre et d'utiliser les méthodes modernes de calcul des écoulements turbulents, basés sur la modélisation statistique en un point. L'enseignement doit permettre aux étudiants :

- de connaître et de comprendre les idées actuelles sur le phénomène et ses modes d'action ;
- de poser le problème de modélisation et de fermeture dans le cadre de l'approche statistique de la turbulence ;
- de connaître les principaux modèles de fermeture au premier ordre utilisés actuellement, leur contenu physique et leurs carences.

### Organisation

14 Cours (17.5 h)

1 BE (2.5 h)

4 TD (5 h)

1 Examen écrit (2 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 27 h

Volume heures encadrées : 25 h

Travail personnel estimé : 20 h

### CONTENU

Rappels : définition et caractérisation du régime turbulent, description statistique en un point, turbulence homogène et turbulence isotrope. Théorie des corrélations en deux points : tenseur de corrélation en THI isovolume, échelles de longueur, dynamique des corrélations. Approche spectrale en THI : tenseurs spectraux, spectres mono-dimensionnels, dynamique spectrale, hypothèses de Kolmogorov.

Modélisation à haut nombre de Reynolds, point de vue spectral - coût d'une simulation directe de la turbulence, formalisation du problème de fermeture, comportement du matériau turbulent, fermeture au premier ordre, élaboration du modèle, carences de ce modèle, extensions, éléments d'une fermeture du second ordre, éléments d'une modélisation sous-maille - modèle de Smagorinsky et extensions.

Couche limite turbulente : la loi logarithmique et les évolutions de grandeurs moyennes qui s'en déduisent. Spécificités de la turbulence de paroi : anisotropie, effets de viscosité, bilans d'énergies et dissipation. Modélisation : modèles algébriques, modèles à deux équations de transport, notion d'amortissement, régularisation des échelles.

### Bibliographie

P. Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides : Analyse du phénomène en vue de sa modélisation à l'usage de l'ingénieur, CEPADUES, 2000.

R. Schiestel, Modélisation et simulation des écoulements turbulents, Hermes, 1993.

T. Cebeci & A.M.O. Smith, Analysis of turbulent boundary layers, Academic press, 1974.

Pierre Sagaut, Introduction à la simulation des grandes échelles pour les écoulements de fluide incompressible, Springer 1998.

**Responsable(s) du module : Laurent JOLY**

**Correspondant ISAE : Laurent JOLY, Jerome FONTANE**



## 5-14 MMF 141 - Mécanique des fluides avancée

### 2<sup>e</sup> sous-module

## 5-14 MMF 92 - Mécanique des fluides numérique

### OBJECTIFS

Ce module est une introduction à la simulation numérique avancée en mécanique des fluides et en aérodynamique. Il s'appuie sur la connaissance des équations qui régissent le mouvement des fluides et des méthodes numériques de résolution des grands systèmes linéaires. Il a pour objectif de donner une vision globale du domaine en présentant les points de vues industriels (usage, mise en oeuvre) et de chercheurs (nouveaux développements et modèles). Les principaux concepts nécessaires à la maîtrise et à la validation des outils de simulation numérique modernes sont présentés. Une large part du volume horaire est consacré à la mise en oeuvre pratique de logiciels de simulation numérique afin de développer le savoir-faire et l'esprit critique des élèves sur les modèles mis en oeuvre et les résultats obtenus.

- Un projet de simulation numérique à définir en concertation avec les professeurs est mené en groupe par les élèves afin d'appréhender le design, l'analyse ou l'optimisation de l'écoulement autour d'un objet ou d'un système fluide.

### Organisation

11 Cours (13.75 h)

5 BE (12.5 h)

4 TD (5 h)

1 Oral (0.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 31.75 h

Volume heures encadrées : 32,5 h

Travail personnel estimé : 15 h

### CONTENU

Contexte et enjeux de la simulation numérique aujourd'hui. Stratégies «simulation numérique» d'une PME et d'un groupe aéronautique.

Mise en oeuvre et maîtrise d'un code de calcul de mécanique des fluides.

Modèles continus et modèles discrets.

Consistance, Stabilité et Convergence de modèles discrets.

Conditions initiales et aux limites.

Dissipation et dispersion.

Pratique et validation de simulations.

Bibliographie

H. Lomax, T. Pulliam, D. Zingg, Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, Springer-Verlag, 2001.

C. Hirsch, Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. 1 et 2, Wiley, 1992.

J-H. Ferziger & M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer-Verlag, 2001.

CFD Online : portail internet CFD (<http://www.cfd-online.com/>).

**Responsable(s) du module : Vincent CHAPIN**

**Correspondant ISAE : Vincent CHAPIN**



## 5-14 MMF 141 - Mécanique des fluides avancée

### 3<sup>e</sup> sous-module

## 5-14 MMF 101 - Programmation numérique parallèle

#### OBJECTIFS

Donner les compétences tant informatiques que mathématiques appliquées pour le développement d'outils logiciels numériques performants, plus spécialement dans le domaine de la simulation de phénomènes complexes sur des architectures de calculateurs parallèles multi-coeurs.

A la fin de cet enseignement, les étudiants doivent être capables de concevoir et réaliser un logiciel numérique (méthode de résolution et implantation informatique) pour la simulation de problèmes de grande taille avec comme préoccupations majeures la qualité du résultat numérique et la minimisation du temps d'exécution en environnement parallèle. A cette fin, les étudiants doivent maîtriser les concepts fondamentaux du calcul parallèle à haute performance et posséder une bonne pratique des outils et paradigmes de parallélisation les plus répandus dans l'industrie.

#### Organisation

3 BE (7.5 h)  
18 PC (22.5 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 31.25 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé : 15 h

#### CONTENU

- Résolution des équations aux dérivées partielles.
- Méthodes directes et itératives en algèbre linéaire.
- Méthodes de décomposition de domaines.
- Résolution des systèmes linéaires de grande taille: algèbre linéaire pleine et creuse.

#### Bibliographie

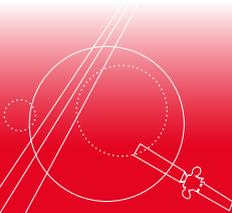
Algorithms and Theory of Computation Handbook, CRC press, 1998, ISBN 0-8493-2649-4.  
B. Wilkinson et M. Allen, Parallel Computing, Prentice Hall, 1998, ISBN 0-13-671710-1.  
Large Scale Scientific and Industrial Problems J. J. Dongarra, I. S. Duff, D. C. Sorensen, and H. van der Vorst, Numerical Linear Algebra on High-Performance Computers SIAM, 1998.

**Responsable(s) du module : Luc GIRAUD**

**Correspondant ISAE : Michel SALAUN**



## SEQUENCE 15



## 5-15 MAS 151 - Outils avancés pour l'automatique

### OBJECTIFS

Présenter les outils de l'automatique nécessaires pour aborder les problèmes d'asservissement de systèmes aérospatiaux complexes. On aborde notamment l'identification des systèmes dynamiques, l'estimation de paramètres, le filtrage de Kalman, et la théorie de la commande optimale.

Ects : 5

### CONTENU : 2 Sous-modules

Identification et estimation des systèmes dynamiques (5-15 MAS 1511)

Commande Optimale (5-15 MAS 62)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Yves BRIERE**

**Correspondant ISAE : Yves BRIERE**



## 5-15 MAS 151 - Outils avancés pour l'automatique

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-15 MAS 1511 - Identification et estimation des systèmes dynamiques

##### OBJECTIFS

L'efficacité et la robustesse d'un système de contrôle dépend de la précision du modèle du système et de l'estimation de ses paramètres internes. Ces connaissances sont généralement obtenues à partir d'essais et de mesures sur le système réel.

L'objectif de ce cours est d'être capable de choisir, programmer et régler la solution appropriée pour un problème donné d'estimation ou d'identification.

##### Organisation

7 Cours (12.5 h)

8 BE (20 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 32.5 h

Volume heures encadrées : 32.5 h

Travail personnel estimé: 15 h

##### CONTENU

Le cours donne une vue générale des méthodes d'identification et de la théorie de l'estimation (filtrage de Kalman) appliqués à l'automatique :

- Identification des systèmes dynamiques
- Identification des systèmes en boucle fermée
- Filtrage de Kalman et estimation Bayésienne
- Filtrage de Kalman étendu et extensions

Le cours est complété par trois BE :

- Identification avion
- Filtrage de Kalman pour une IMU
- Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

##### Bibliographie

M-D. Landau, Commande des systèmes, Hermès science, Ed. Lavoisier

T. Söderström and P. Stoica , System Identification, Prentice Hall, 1989.

V. Klein and E. A. Morelli, Aircraft System Identification, Theory and Practice, AIAA Education Serie, 2006

Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews, Kalman Filtering: Theory and Practice, Prentice Hall ed., 1993

**Responsable(s) du module : Yves BRIERE**

**Correspondant ISAE : Yves BRIERE**

## 5-15 MAS 151 - Outils avancés pour l'automatique

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-15 MAS 62 - Commande optimale

##### OBJECTIFS

Donner les outils nécessaires pour appréhender et résoudre les problèmes de commande des systèmes complexes. En particulier, montrer que les techniques développées ont joué un rôle historique fondamental dans la conquête spatiale et sont actuellement largement utilisées dans les principales agences spatiales

##### Organisation

8 Cours (10 h)

7 BE (17.5 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé : 10 h

##### CONTENU

Le cours de commande optimale est un prolongement naturel des cours d'Automatique et d'optimisation paramétrique de première et deuxième années. Pour un système donné (véhicule aérospatial, modèle économique, portefeuille d'actions,...), l'objectif est de choisir parmi toutes les stratégies possibles de commande, celle qui optimise un critère de performance donné (consommation, temps, investissement,...). Le cours est constitué de deux parties. La première vise à fournir les outils théoriques et numériques (calcul des variations, principe du maximum de Pontryagin) permettant la résolution de différentes classes de problèmes de commande optimale. La deuxième partie présentée par un ingénieur de recherche du CNES, est particulièrement dédiée à l'application de la théorie précédente pour l'optimisation de trajectoires spatiales interplanétaires.

##### Bibliographie

V. Alexéev, V. Tikhomirov, S. Fomine, Commande optimale, MIR, 1979  
M. Athans, P.L. Falb, Optimal control, McGraw-Hill, 1966  
O. Bolza, Calculus of variations, AMS Chelsea Publishing, 1973  
A.E. Bryson, Y.C. Ho, Applied optimal control, Blaisdell Publishing Company, 1969  
L.M. Hocking, Optimal control, Oxford applied mathematics and computing science series, 1991  
G. Leitman, An introduction to optimal control, Mc Graw-Hill, 1966  
A. Locatelli, Optimal control: An introduction, Birkhäuser, 2001  
D.S. Naidu, Optimal control systems, CRC Press, 2003  
E. Trélat, Contrôle optimal : théorie et applications, Vuibert, 2005.

**Responsable(s) du module : Denis ARZELIER**

**Correspondant ISAE : Yves BRIERE**



## 5-15 MGM 151 - Environnement spatial et conception satellites

### OBJECTIFS

Fournir un ensemble de connaissances indispensables tant pour les utilisateurs des systèmes spatiaux que pour les concepteurs dans le domaine de la mécanique spatiale, de l'environnement spatial et de la conception des satellites.

Ce module contient deux parties.

La première partie s'attache à fournir les éléments de mécanique spatiale nécessaires à l'étude des trajectoires des véhicules spatiaux. Elle offre par ailleurs une formation sur l'environnement spatial qui induit des contraintes tant sur le dimensionnement des structures que sur la définition des missions ou leur exploitation.

La seconde partie s'intéresse à la conception et l'architecture des satellites et de leurs sous-systèmes principaux.

### Pré-requis

1TMC1  
5TGM9

Volume heures encadrées : 60 h  
Travail personnel estimé: 30 h  
Ects : 5

### CONTENU : 2 Sous-modules

Mécanique et environnement spatial (5-15 MGM 1511)

Conception satellite (5-15 MGM 1512)

Les fiches détaillées de ces sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

### Bibliographie

T. Duhamel, P. Marchal, Dynamique et stabilisation d'attitude des satellites, Polycopié ENSAE, 1996.

B. Escudier, J.Y. Pouillard, Mécanique spatiale, Polycopié ENSAE, 1997.

J. Bourrieau, L. Levy, J.P. David, Environnement spatial, Polycopié ENSAE, 1996.

J.P. Carrou, Mécanique spatiale, Cépadues CNES Techniques Spatiales, 1995.

G. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépadues collection CNES, 1987.

Le mouvement des satellites. Conférences et exercices de mécanique spatiale, Cépadues collection CNES, 1983.

Technologie de l'environnement spatial, Ecole de printemps, Cépadues collection CNES, 1986.

Matériaux en environnement spatial., Cépadues collection CNES, 1992.

Environnement spatial : prévention des risques liés aux phénomènes de charge., Cépadues CNES Techniques spatiales, 1992.

Techniques et technologies des véhicules spatiaux., Cépadues collection CNES, 1994.

Qualité, composants et expertise, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

Le management des grands projets spatiaux, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

G. Maral et M. Bousquet, Satellite Communications Systems, Editions Wiley, 1994.

De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS, Cépadues collection CNES, 1993.

Intelligence artificielle, robotique et automatique appliquées à l'espace, Cépadues collection CNES, 1992.

Espace et environnement, Cépadues collection Enseignement et Espace, 1995.

Systèmes et services à petits satellites, Cépadues collection CNES, 1993.

Téledétection spatiale, Cépadues collection CNES, 1993.

Systèmes spatiaux de localisation et de navigation, Cépadues collection CNES, 1989.

Missions, technologies et conception des véhicules mobiles planétaires, Cépadues collection CNES, 1993.

**Responsable(s) du module : Bénédicte ESCUDIER,  
Christine ESPINOSA**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-15 MGM 151 - Environnement spatial et conception satellites

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-15 MGM 1511 - Mécanique et environnement spatial

##### OBJECTIFS

Fournir d'une part les éléments de mécanique spatiale nécessaires à l'étude des trajectoires des véhicules spatiaux, et d'autre part une formation sur l'environnement spatial.

Ce module associé au module 5-15 MGM1512 (conception satellite) forme un ensemble de connaissances indispensables tant pour les utilisateurs des systèmes spatiaux que pour les concepteurs.

##### Pré-requis

1TMC1

5TGM9

5-14 MGM 141 recommandé

##### Organisation

19 Cours (23.75 h)

2 BE (5 h)

1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28,75 h

Travail personnel estimé: 15 h

##### CONTENU

###### Mécanique spatiale

Mouvement képlerien et orbites caractéristiques.

Problème de visibilité et d'éclipses. Repères.

Perturbations agissant sur les satellites en orbite autour de la Terre : caractéristiques, modélisation.

Influence des perturbations.

Equations de Gauss et de Lagrange. Calcul des effets des perturbations.

Extrapolation d'orbite.

Transferts orbitaux. Transfert de Hohman.

Mise et maintien à poste des satellites.

Restitution d'orbite. Mesures.

Trajectoires interplanétaires.

###### Environnement spatial

Rappels sur la physique de l'environnement spatial : physique du Soleil et milieu interplanétaire, magnétosphère terrestre et particules piégées.

Effets sur les véhicules spatiaux.

Calcul du flux de particules.

Calcul de dose et de blindage (dégradation des composants et des matériaux).

Vols habités.

##### Bibliographie

T. Duhamel, P. Marchal, Dynamique et stabilisation d'attitude des satellites, Polycopié ENSAE, 1996.

B. Escudier, J.Y. Pouillard, Mécanique spatiale, Polycopié ENSAE, 1997.

J. Bourrieau, L. Levy, J.P. David, Environnement spatial, Polycopié ENSAE, 1996.

J.P. Carrou, Mécanique spatiale, Cépadues CNES Techniques Spatiales, 1995.

G. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépadues collection CNES, 1987.

Le mouvement des satellites. Conférences et exercices de mécanique spatiale, Cépadues collection CNES, 1983.

Mécanique spatiale pour les satellites géostationnaires, Cépadues collection CNES, 1986.

Technologie de l'environnement spatial, Ecole de printemps, Cépadues collection CNES, 1986.

Matériaux en environnement spatial., Cépadues collection CNES, 1992.

Environnement spatial : prévention des risques liés aux phénomènes de charge., Cépadues CNES Techniques spatiales, 1992.

Techniques et technologies des véhicules spatiaux., Cépadues collection CNES, 1994.

Qualité, composants et expertise, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

Le management des grands projets spatiaux, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

**Responsable(s) du module : Bénédicte ESCUDIER**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-15 MGM 151 - Environnement spatial et conception satellites

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-15 MGM 1512 - Conception satellite

##### OBJECTIFS

Fournir une formation sur la conception des satellites. L'ensemble de ces connaissances est indispensable tant pour les utilisateurs des systèmes spatiaux que pour les concepteurs.

Ce module associé au module 5-15 MGM 1511 (Mécanique et environnement spatial) forme un ensemble de connaissances indispensables tant pour les utilisateurs des systèmes spatiaux que pour les concepteurs.

##### Pré-requis

1TMC1

5TGM9

5-14 MGM 141 recommandé

##### Organisation

17 Cours (21.25 h)

2 BE (5 h)

2 PC (2.5 h)

1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28,75 h

Travail personnel estimé : 15 h

Ects : 2.5

##### CONTENU

Architecture générale des satellites.

Etude des principaux sous-systèmes composant les satellites (véhicules ou plates-formes associées à différentes charges utiles).

Alimentation électrique.

Structure.

Contrôle thermique.

Propulsion.

Système de contrôle d'attitude et d'orbite.

Télémesure-télécommande.

Application aux satellites de télécommunications.

Développement et essais des satellites.

##### Bibliographie

T. Duhamel, P. Marchal, Dynamique et stabilisation d'attitude des satellites, Polycopié ENSAE, 1996.

B. Escudier, J.Y. Pouillard, Mécanique spatiale, Polycopié ENSAE, 1997.

J. Bourrieau, L. Levy, J.P. David, Environnement spatial, Polycopié ENSAE, 1996.

J.P. Carrou, Mécanique spatiale, Cépadues CNES Techniques Spatiales, 1995.

G. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépadues collection CNES, 1987.

Le mouvement des satellites. Conférences et exercices de mécanique spatiale, Cépadues collection CNES, 1983.

Mécanique spatiale pour les satellites géostationnaires, Cépadues collection CNES, 1986.

Technologie de l'environnement spatial, Ecole de printemps, Cépadues collection CNES, 1986.

Matériaux en environnement spatial., Cépadues collection CNES, 1992.

Environnement spatial : prévention des risques liés aux phénomènes de charge., Cépadues CNES Techniques spatiales, 1992.

Techniques et technologies des véhicules spatiaux., Cépadues collection CNES, 1994.

Qualité, composants et expertise, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

Le management des grands projets spatiaux, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

**Responsable(s) du module : Bénédicte ESCUDIER**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-15 MGM 152 - Ingénierie Structure avion

### OBJECTIFS

Aborder la problématique du choix de solutions techniques en architecture de structure avion, notamment au stade de l'avant-projet.  
Compléter la formation des élèves en gestion de production et maintenance avion.

### Pré-requis

Il est conseillé d'avoir suivi les modules de 2A Matériaux pour cellules d'aéronefs (4-1 MGM 11), Calcul des structures (4-2 MGM 21), Dimensionnement des structures (4-3 MGM 31) et Projet de conception (4-4 MGM 41).

Ects : 5

### CONTENU : 2 sous-modules

Production et maintenance avion (5-15 MGM 92)  
Architecture structure avion (5-15 MGM 1522)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Jacques HUET**

**Correspondant ISAE : Jacques HUET**



### 5-15 MGM 152 - Ingénierie Structure avion

#### 1<sup>er</sup> sous-module

### 5-15 MGM 92 - Production et maintenance avion

#### OBJECTIFS

Cet enseignement a pour but de donner aux élèves une formation complémentaire en Gestion de Production et en Maintenance des avions.

#### Organisation

22 PC (27.5 h)  
1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27,5 h  
Travail personnel estimé: 10 h

#### CONTENU

Gestion de production (1)

Organisation générale de la production  
Système intégré de gestion  
Maquettes numériques  
Assemblages  
Gestion des configurations  
Logistique

Elaboration d'un programme de maintenance de la structure d'un avion de transport civil (2)

Raisons du programme de maintenance.  
Organisation. Relation constructeur, compagnies, autorités.  
Analyse corrosion.  
Analyse fatigue et tolérance aux dommages.  
Analyse dommage accidentel.  
Inspection par échantillonnage.  
Analyse des dommages sur la flotte et actions correctives.

**Responsable(s) du module : Jean-Michel SAFRA**  
**Correspondant ISAE : Jacques HUET**

### 5-15 MGM 152 - Ingénierie Structure avion

#### 2<sup>e</sup> sous-module

### 5-15 MGM 1522 - Architecture structure avion

#### OBJECTIFS

Aborder la problématique du choix de solutions techniques en architecture de structure avion, notamment au stade de l'avant-projet.

#### Organisation

9 Cours (11.25 h)  
7 TD (8.75 h)  
8 PC (10 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 30 h

#### CONTENU

Avants-projets :  
- Définition préliminaire d'un projet d'avion  
- Maturation du projet  
- Conception d'un avant-projet  
Conduire une étude comparative en structure

**Responsable(s) du module : Jacques HUET**  
**Correspondant ISAE : Jacques HUET**

## 5-15 MMF 151 - Couplage multiphysique

### OBJECTIFS

C'est une petite révolution qui monte doucement depuis fort longtemps que celle des couplages multiphysiques. De quoi s'agit-il ? On le sait tous mais on l'oublie volontiers, dès que l'on étudie un système. Tous les systèmes conçus par les ingénieurs mettent en jeu des interactions, des couplages entre plusieurs phénomènes physiques de natures différentes (mécanique des solides, mécanique des fluides, acoustique, thermique, chimique, électromagnétiques ...). Ce sont les couplages multi-physiques. Lors de la simulation numérique de ces phénomènes physiques, il est de plus en plus souvent nécessaire de modéliser ces interactions pour prédire une réponse du système la plus représentative possible de la réalité physique de ce système. Les exemples abondent. Dans le domaine aéronautique, on parle d'avion souple pour dire le couplage entre les efforts aérodynamiques et les déformations de la structure (c'est l'aéroélasticité ou interaction fluide/structure). On parle également de l'aéroacoustique des moteurs, etc... D'un point de vue numérique, cela nécessite le couplage des codes de calculs et des solveurs adaptés. En cela les couplages multi-physiques font appel à la fois aux différentes sciences de l'ingénieur considérées dans le couplage mais également aux mathématiques, à l'analyse numérique et à l'informatique pour faire communiquer les différents codes de calculs.

### Pré-requis

1SIG2

En préparation de ces cours, il est fortement recommandé de suivre le module de deuxième année 4-3 MMF 22 (Acoustique).

Ects : 5

### CONTENU : 2 sous-modules

Ce module se compose de deux unités :

- Aéroélasticité (5-15 MMF 51)
- Aéroacoustique (5-15 MMF 71)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Vincent CHAPIN**  
**Correspondant ISAE : Vincent CHAPIN**



## 5-15 MMF 151 - Couplage multiphysique

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-15 MMF 51 – Aéroélasticité

##### OBJECTIFS

Donner des compétences sur la physique et le dimensionnement industriel des situations de couplage fluide-structure.

##### Organisation

17 Cours (21.25 h)

1 BE (2.5 h)

1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 25 h

Volume heures encadrées : 23.75 h

Travail personnel estimé: 20 h

##### CONTENU

Présentation des phénomènes. Paramètres adimensionnels. Détachement tourbillonnaire. Le flottement.

Aéroélasticité quasi statique des structures flexibles. Cycle limite d'oscillation. Etude linéarisée et Simulation non-linéaire.

Analyse prédictive du flottement en régime subsonique. Méthode expérimentale en soufflerie.

Aéroélasticité industrielle.

Flottement dynamique et structure avion. Modélisation par représentation d'états. Stabilité et contrôle d'un avion souple en flottement. Aspects pilotage, asservissements et confort. Essais en vol.

##### Bibliographie

H-J. Morand et R. Ohayon, Interactions fluides structures, Masson, 1992.

H. Dowell, E.F. Crawley, H-C. Curtiss, D-A. Peters, R-H. Scanlan et F. Sisto, A Modern Course in Aeroelasticity, Kluwer USA, 1995.

**Responsable(s) du module : Grigorios DIMITRIADIS**

**Correspondant ISAE : Vincent CHAPIN**

## 5-15 MMF 151 - Couplage multiphysique

### 2<sup>e</sup> sous-module

## 5-15 MMF 71 – Aéroacoustique

### OBJECTIFS

Cet enseignement constitue un approfondissement de l'acoustique de deuxième année. Il vise à former aux problèmes d'acoustique complexe en présence d'un écoulement. La pratique industrielle de l'aéroacoustique des aéronefs est abordée en fin de module. Une première partie présente des concepts d'acoustique moderne et d'acoustique fondamentale avec un volume horaire consacré à l'application. La seconde partie, plus développée, explore le champ très vaste de l'aéroacoustique avec le souci de focaliser la formation sur les cas d'applications de l'industrie aéronautique. L'aéroacoustique est la science qui traite du bruit produit par les écoulements instationnaires. Le cours est axé sur les mécanismes de production de bruit par les surfaces portantes, et plus spécifiquement sur le bruit de raies émis par les machines tournantes.

### Organisation

16 Cours (20 h)  
1 BE (2.5 h)  
5 TD (6.25 h)  
1 Oral (0.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 29.25 h

Volume heures encadrées : 28.75 h  
Travail personnel estimé : 10 h

### CONTENU

- Théorie acoustique linéaire et non-linéaire,
- Sismique, contrôle non destructif,
- Systèmes acoustiques Non Linéaires, thermoacoustique, « Métamatériaux » et « Fractals » acoustiques,
- Mesure (aéro)acoustiques (intensimétrie, impédance,...),
- Théories analytiques de l'aérodynamique instationnaire,
- Rayonnement des sources en rotation,
- Bruit des rotors libres,
- Mécanismes d'interaction de sillages,
- Propagation guidée en conduit avec écoulement et applications au bruit des turbomachines.

### Bibliographie

M. Bruneau, Manuel d'Acoustique Fondamentale, Hermes (1998) ;  
D.R. Raichel, The science and application of acoustics, Springer (2000) ;  
F.J. Fahy, Foundations of Engineering acoustics, Academic Press (2001) ;  
S.W. Rienstra & A. Hirschberg, An Introduction to Acoustics, Eindhoven University of Technology (2004)

**Responsable(s) du module : Michel ROGER**  
**Correspondant ISAE : Vincent CHAPIN**



## 5-15 MSH 151 - Gestion des ressources humaines et des connaissances

### OBJECTIFS

il s'agit de sensibiliser les élèves à la dimension humaine et collective de leur futur emploi d'ingénieur ou de cadre.

La première partie sert à intégrer la dimension humaine dans la gestion de projets en tenant compte de multiples facteurs :

- l'organisation des entreprises et des projets en service, en matrice, en équipe projet, etc.
- les habitudes de travail des ingénieurs et techniciens sur les projets
- les contraintes liées au travail collectif (partage des informations, attente des réponses, communication, leadership)
- les outils de communication modernes liés aux nouvelles technologies de la communication.

la deuxième partie de ce module sert à montrer les apports de la Gestion des connaissances (transmission, conservation, outils de traçage, etc.) dans l'amélioration des situations de travail.

A cet effet, les étudiants travailleront concrètement sur un sujet auquel ils ont déjà été confronté (projet étudiant, expérience en stage, etc).

Par ailleurs, différents contextes industriels seront présentés dans lequel la Gestion des connaissances s'est avérée primordiale pour la sauvegarde des expertises. Les élèves ingénieur seront sensibilisés aux risques liés à la perte des savoirs et savoir-faire dans les entreprises.

Ects : 5

### CONTENU: 2 sous-modules

Ingénierie des facteurs humains (5-15 MSH 71)  
Gestion des connaissances (5-15 MSH 81)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



## 5-15 MSH 151 - Gestion des ressources humaines et des connaissances

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-15 MSH 71 - Ingénierie des facteurs humains

##### OBJECTIFS

L'objet de ce cours est d'intégrer la dimension humaine dans la gestion de projets en tenant compte de multiples facteurs :

- l'organisation des entreprises et des projets en service, en matrice, en équipe projet, etc.
- les habitudes de travail des ingénieurs et techniciens sur les projets
- les contraintes liées au travail collectif (partage des informations, attente des réponses, communication, leadership)
- les outils de communication modernes liés aux nouvelles technologies de la communication.

##### Organisation

24 PC (30 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé: 5 h

##### CONTENU

Au-delà des aspects de gestion des ressources humaines propres à l'évaluation des personnels engagés dans les projets industriels, l'accent sera mis sur quatre thèmes, combinant approches théoriques et nombreux cas concrets qui sont :

- la dynamique de l'équipe (sachant que l'organisation projet est nécessairement hiérarchique),
- la négociation de la libération de ressources en particulier humaines (techniques de négociation),
- la communication au sein d'une équipe,
- l'animation d'une équipe.

##### Bibliographie

La bible du manager, ESF Editeur, 2011

C. Marsan, Gérer et surmonter les conflits, Dunod, 2010

F. Balta, J.-L. Muller, La systémique avec les mots de tous les jours, ESF Editeur, 2009

V. Lenhardt, Les responsables porteurs de sens, Insep Consulting, 2002.

René de Lassus, L'ennéagramme: les 9 types de personnalité, Marabout, 2006

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



## 5-15 MSH 151 - Gestion des ressources humaines et des connaissances

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-15 MSH 81 - Gestion des connaissances

##### OBJECTIFS

L'objet de ce cours est de montrer les apports de la Gestion des connaissances (transmission, conservation, outils de traçage, etc.) dans l'amélioration des situations de travail.

A cet effet, les étudiants travailleront concrètement sur un sujet auquel ils ont déjà été confronté (projet étudiant, expérience en stage, etc).

Par ailleurs, différents contextes industriels seront présentés dans lequel la Gestion des connaissances s'est avérée primordiale pour la sauvegarde des expertises. Les élèves ingénieur seront sensibilisés aux risques liés à la perte des savoirs et savoir-faire dans les entreprises.

##### Organisation

2 BE (5 h)

1 TD (1.25 h)

18 PC (22.5 h)

1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28.75 h

Travail personnel estimé : 5 h

##### CONTENU

L'enseignement comportera des interventions de spécialistes des questions de gestion de connaissances qui aborderont les points suivants :

- objectifs et situations du Knowledge Management
  - capitalisation et pérennité des connaissances dans les entreprises
  - communautés de pratique et réseaux d'échanges
  - outils de bases de données cognitives
  - sauvegarde des expertises (le cas du CNES)
  - outils performants du Data Mining
  - veille technologique
  - simulation de projet de gestion des connaissances
- Les cours seront structurés autour d'exemples, d'études de cas et de mises en situation concrète.

##### Bibliographie

M. FERRARY, Y. PESQUEUX (2011), Management de la connaissance. Knowledge management, apprentissage organisationnel et société de la connaissance, Paris, Economica.

M.-P. BES (1998), La capitalisation active des connaissances : principes, contextes et obstacles, Gérer et comprendre, n° 54, p. 38-51.

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

## SEQUENCE 16



## 5-16 MAS 161 - Systèmes satellitaires de navigation et d'observation

### OBJECTIFS

Ce module présente un aperçu de deux applications majeures du satellite, à savoir les systèmes de navigation (localisation) type GPS ou Galiléo et les systèmes d'observation de la terre. L'architecture globale de tels systèmes, leurs principes, les applications possibles ainsi que les aspects traitement du signal sont abordés. Systèmes de navigation par satellite (GNSS) : principe, architecture, applications, aspects récepteurs. Systèmes d'observation de la terre : radars à synthèse d'ouverture, radars altimétriques, traitement des signaux et des images.

### Pré-requis

3SIG5  
3SIG6  
3TMA4  
4SIG7

Volume heures encadrées : 60 h  
Travail personnel estimé : 10 h  
Ects : 5

### CONTENU : 2 sous-modules

Traitement du signal pour la navigation (5-16 MAS 91)  
Systèmes d'observation de la terre (5-16 MAS 32)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Michel MONNERAT,  
Laurent REY, Jean-Claude SOUYRIS  
Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-16 MAS 161 - Systèmes satellitaires de navigation et d'observation

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-16 MAS 91 - Traitement du signal pour la navigation

##### OBJECTIFS

Ce module constitue une introduction au traitement du signal appliqué aux systèmes de navigation par satellite. Il vise à fournir les bases théoriques nécessaires à la compréhension des phénomènes liés au dimensionnement ou à la réception du signal de navigation et propose également une étude approfondie des systèmes de navigations existants et futurs (GPS, Glonass, Galileo etc...). Les points suivant seront en particulier étudiés : les principes de base de la navigation par satellite, les traitements réalisés au niveau d'un récepteur, les différentes sources d'erreur agissant sur la précision du positionnement, les performances des systèmes de navigation.

##### Organisation

18 Cours (22.5 h)  
3 BE (7.5 h)  
1 PC (1.25 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 32.5 h

Volume heures encadrées : 31.25 h  
Travail personnel estimé : 6 h

##### CONTENU

Fondamentaux :

Triangulation (principe, étude mathématique des différentes sources d'erreur, les données nécessaires au calcul du point, la place du signal vis-à-vis des sources d'erreur)

Signal

Les différentes formes d'onde, analyse du besoin en localisation

Les différents types de multiplexage et analyse des impacts sur les performances dans le contexte de la navigation par satellite

Présentation des différents moyens de localisation par satellites :

Les différents systèmes : GPS, Glonass, Galileo, etc...

Les augmentations locales et régionales : Les besoins, les systèmes existants et futurs, les performances

Les alternatives (ARGOS, moyens terrestres etc...)

Les traitements récepteurs

Acquisition du signal, Poursuite et estimation de distances, Démodulation, Calcul du point

Techniques de lutte contre les différentes sources d'erreur (multitrajet, cross correlation etc...)

Technique d'hybridation

Performances des systèmes

##### Bibliographie

Bradford W Parkinson and James J Spilker Jr, Global Positioning System : Theory and Applications, Volumes I, II, AIAA, 1996.

D. Kaplan, C. Hegarty, Understanding GPS : Principles and Applications, 2nd ed., Artech house, 2005.

**Responsable(s) du module : Michel MONNERAT,  
Christophe MACABIAU  
Correspondant ISAE : Olivier BESSON**



## 5-16 MAS 161 - Systèmes satellitaires de navigation et d'observation

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MAS 32 - Systèmes d'observation de la terre

##### OBJECTIFS

Ce module porte sur les systèmes d'observation de la terre (imagerie et altimétrie) utilisant des techniques radar. Une approche système doit permettre aux élèves d'aborder les étapes de conception, de dimensionnement et de développement de tels systèmes, puis d'approfondir les techniques de traitement du signal associées.

##### Organisation

24 Cours (30 h)  
1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 32.5 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé : 4 h

##### CONTENU

Radar à synthèse d'ouverture  
- Traitement des signaux et obtention des images  
- Modes spéciaux (polarimétrie, interférométrie)  
- Applications, exemples

Systèmes radar  
- Développement d'un projet radar  
- Aspects système  
- Conception et caractérisation instrumentale

##### Bibliographie

«Processing of synthetic aperture radar images», Henri Maître Editor, John Wiley, 2013

**Responsable(s) du module : Laurent REY,  
Jean-Claude SOUYRIS  
Correspondant ISAE : Olivier BESSON**

## 5-16 MGM 161 - Missions et opérations spatiales

### OBJECTIFS

Cet enseignement aborde en quatre parties les notions nécessaires à la mise en œuvre de missions pour des systèmes spatiaux ou des missions habitées, avec le point de vue des opérations spatiales ou des sciences spatiales d'observation de la Terre. Les missions lanceurs sont abordées sous la forme d'un projet long où plusieurs équipes montent un plateau projet technique et financier avec un objectif de conception optimale pour une mission donnée. L'observation de la Terre est abordée sous la forme de cours d'approfondissement qui visent une meilleure compréhension des principes et technologies, et des enjeux de l'observation par satellite. Ce module est le troisième volet de l'itinéraire Espace et complète les formations d'approfondissement des modules 5-14 MGM 141 et 5-15 MGM 151 par une initiation aux méthodes et contraintes opérationnelles en couvrant leurs différents aspects.

### Pré-requis

1TMC1  
5TGM9

Volume heures encadrées : 57,5 h  
Travail personnel estimé : 45 h  
Ects : 5

### CONTENU : 4 Sous-modules

Opérations spatiales et missions satellites (5-16 MGM 1611)  
Missions habitées et facteurs humains (5-16 MGM 1612)  
Missions pour les lanceurs (5-16 MGM 1613)  
Observation de la terre (5-16 MGM 1614)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

### Bibliographie

P. Carrou, Mécanique spatiale, Cépadues CNES Techniques Spatiales, 1995.  
G. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépadues collection CNES, 1987.  
Le mouvement des satellites. Conférences et exercices de mécanique spatiale, Cépadues collection CNES, 1983.  
Mécanique spatiale pour les satellites géostationnaires, Cépadues collection CNES, 1986.  
Technologie de l'environnement spatial, Ecole de printemps, Cépadues collection CNES, 1986.  
Matériaux en environnement spatial., Cépadues collection CNES, 1992.  
Environnement spatial : prévention des risques liés aux phénomènes de charge., Cépadues CNES Techniques spatiales, 1992.  
Techniques et technologies des véhicules spatiaux., Cépadues collection CNES, 1994.  
Qualité, composants et expertise, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.  
Le management des grands projets spatiaux, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

**Responsable(s) du module : Matthieu CLERMONT, Christine ESPINOSA, Julidé LEONARD-TOPSAKAL, Jean-Baptiste BEHAR, Sébastien BARDE**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-16 MGM 161 - Missions et opérations spatiales

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-16 MGM 1611 - Opérations spatiales et missions satellites

##### OBJECTIFS

Proposer des compléments sur les charges utiles et expériences embarquées.

##### Pré-requis

1TMC1  
5TGM9  
5-15 MGM 151  
5-14 MGM 141

##### Organisation

4 Cours (5 h)  
7 PC (8.75 h)  
1 Test écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 12.5 h

Volume heures encadrées : 11.25 h

Travail personnel estimé : 5 h

##### CONTENU

Objectifs opérationnels.  
Fonctionnalités. Sous-systèmes.  
Ingénierie des opérations :  
- Organisation et stratégie de mise et maintien à poste,  
- Infrastructures sol,  
- Métiers opérations satellite,  
- Mode opératoire manœuvre et établissement,  
- Mise à poste.  
- Organisation d'un centre de contrôle (chez Astrium)

##### Bibliographie

P. Carrou, Mécanique spatiale, Cépadues CNES Techniques Spatiales, 1995.  
G. Zarrouati, Trajectoires spatiales, Cépadues collection CNES, 1987.  
Le mouvement des satellites. Conférences et exercices de mécanique spatiale, Cépadues collection CNES, 1983.  
Mécanique spatiale pour les satellites géostationnaires, Cépadues collection CNES, 1986.  
Technologie de l'environnement spatial, Ecole de printemps, Cépadues collection CNES, 1986.  
Matériaux en environnement spatial., Cépadues collection CNES, 1992.  
Environnement spatial : prévention des risques liés aux phénomènes de charge, Cépadues CNES Techniques spatiales, 1992.  
Techniques et technologies des véhicules spatiaux., Cépadues collection CNES, 1994.  
Qualité, composants et expertise, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.  
Le management des grands projets spatiaux, Cépadues CNES Technologie spatiale, 1988.

##### Responsable(s) du module :

**Julidé LEONARD-TOPSAKAL**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-16 MGM 161 - Missions et opérations spatiales

### 2<sup>e</sup> sous-module

## 5-16 MGM 1612 - Missions habitées et facteurs humains

### OBJECTIFS

Proposer des compléments sur les expériences embarquées et missions habitées.

### Pré-requis

1TMC1

5TGM9

5-15 MGM 151

5-14 MGM 141

### Organisation

10 Cours (12.5 h)

1 BE (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé : 5 h

Ects : 1.25

### CONTENU

Vols habités et ISS

Environnement : problématique et expériences scientifiques.

Vols paraboliques.

Opérations vol habité.

Expériences de biologie spatiale.

Médecine spatiale ; expériences de physiologie ; Facteur humain.

Vols de longue durée ; préparation de l'équipage.

### Bibliographie

G. Maral et M. Bousquet, Satellite Communications Systems, Editions Wiley, 1994.

De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS, Cepadues collection CNES, 1993.

Intelligence artificielle, robotique et automatique appliquées à l'espace, Cepadues collection CNES, 1992.

Espace et environnement, Cepadues collection Enseignement et Espace, 1995.

Systèmes et services à petits satellites, Cepadues collection CNES, 1993.

Téledétection spatiale, Cepadues collection CNES, 1993.

Systèmes spatiaux de localisation et de navigation, Cepadues collection CNES, 1989.

Physiologie spatiale, Cepadues collection CNES, 1983.

L'apport de la conquête spatiale à l'humanité, Cepadues collection CNES, 1992.

Missions, technologies et conception des véhicules mobiles planétaires, Cepadues collection CNES, 1993.

**Responsable(s) du module : Sébastien BARDE**

**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-16 MGM 161 - Missions et opérations spatiales

### 3<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MGM 1613 - Missions pour les lanceurs

##### OBJECTIFS

Concevoir un lanceur pour une mission, grâce au travail de plusieurs équipes organisées en plateau projet.

##### Pré-requis

1TMC1  
5TGM9  
5-15 MGM 151  
5-14 MGM 141

##### Organisation

6 Cours (7.5 h)  
3 PC (3.75 h)  
1 BE (3.75 h)  
1 Rapport écrit

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 15 h  
Ects : 1.25

##### CONTENU

Définition de la mission  
Définition des équipes  
Mise en place du management  
Etudes techniques d'un futur lanceur européen, équipes: architecture d'ensemble, 1er étage propulsif, 2ème étage, ingénierie système (logiciel d'estimation de coût à prévoir, possibilités d'exploitation civile/militaire, variantes, autres missions que GTO)  
Remise des rapports

**Responsable(s) du module : Matthieu CLERMONT**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

## 5-16 MGM 161 - Missions et opérations spatiales

### 4<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MGM 1614 - Observation de la terre

##### OBJECTIFS

Comprendre les principes et technologies nécessaires à la télédétection, et les enjeux de l'observation globale de la terre possible par satellite. Approfondir les connaissances sur les interactions entre les propriétés physiques et électromagnétiques de la matière. Connaître des exemples de missions spatiales dédiées aux observations particulières.

##### Pré-requis

1TMC1  
5TGM9  
5-15 MGM 151  
5-14 MGM 141

##### Organisation

9 Cours (11.25 h)  
2 PC (2.5 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 13.75 h  
Travail personnel estimé: 15 h  
Ects : 1.25

##### CONTENU

Partie I : comment ?  
Principes de télédétection  
- Introduction contexte historique  
- Liens propriétés physiques – signal électromagnétique  
- Principaux types d'instruments  
Technologies de télédétections  
- Instruments passifs  
- Instruments actifs

Partie II : pourquoi ?  
Observation des surfaces : Identification, caractérisation, missions  
Observation de l'atmosphère : Météorologie, climat, haute atmosphère, missions  
Observation des océans et régions polaires  
- Problématiques océans - missions  
- Problématiques région polaires - missions  
Observation de la terre solide  
- Topographie  
- Champ de gravité  
- Champ magnétique  
- Missions

**Responsable(s) du module : Jean-Baptiste BEHAR**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**



## 5-16 MGM 162 – Hélicoptères

### OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de donner aux élèves les connaissances relatives aux phénomènes physiques essentiels régissant le vol des hélicoptères (aérodynamique, aéroacoustique, mécanique du vol) et la capacité d'appréhender leur impact sur les performances et les qualités de vol au moyen de modèles élémentaires. A la fin de cet enseignement, les élèves connaissent également les éléments spécifiques de la conception des hélicoptères dans les domaines des structures, rotors, transmissions et dispositifs antivibratoires

Ects : 5

### CONTENU : 2 sous-modules

Aéromécanique et systèmes des hélicoptères (5-16 MGM 72)

Structures et mécanique des hélicoptères (5-16 MGM 102)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

### Bibliographie

F. Legrand, Théorie et technique de l'hélicoptère, SUPAERO 1964.

P. Lefort, J. Hamann, l'hélicoptère théorie et pratique, Chiron Editeur 2002

**Responsable(s) du module : Frédéric LACHAUD**

**Correspondant ISAE : Frédéric LACHAUD**

## 5-16 MGM 162 - Hélicoptères

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-16 MGM 72 - Aéromécanique et systèmes des hélicoptères

##### OBJECTIFS

A la fin de cet enseignement, les élèves doivent connaître les phénomènes physiques essentiels régissant le vol des hélicoptères (aérodynamique, aéroacoustique, mécanique du vol) et appréhender leur impact sur les performances et les qualités de vol au moyen de modèles élémentaires. Analyser les fonctions requises des systèmes et les contraintes d'intégration sur les plateformes hélicoptères, comprendre les processus et méthodes de conception correspondants.

##### Organisation

15 Cours (18.75 h)  
4 BE (10 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28.75 h  
Travail personnel estimé : 15 h

##### CONTENU

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

##### Bibliographie

F. Legrand, Théorie et technique de l'hélicoptère, SUPAERO, 1964  
S. Newman, The foundations of Helicopter Flight, Arnold (London), 1994  
Johnson W. , Helicopter Theory, Princeton University Press, 1980  
Prouty R.W., Helicopter Aerodynamics , Rotor & Wing International, PJS Publications Int., (2 vol), 1985, 1988  
Concise encyclopaedia of Aeronautics & Space Systems (partie hélicoptères), Marc Pelegrin & Walter M. Hollister, Pergamon Press

**Responsable(s) du module : François TOULMAY**  
**Correspondant ISAE : Frédéric LACHAUD**



## 5-16 MGM 162 - Hélicoptères

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MGM 102 - Structures et mécanique des hélicoptères

##### OBJECTIFS

A la fin de cet enseignement, les élèves doivent connaître les éléments spécifiques de la conception des hélicoptères dans les domaines des structures, rotors, transmissions et dispositifs antivibratoires.

##### Pré-requis

1TGM1  
5TGM8

##### Organisation

17 Cours (21.25 h)  
3 BE (7.5 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 28,75 h  
Travail personnel estimé: 15 h

##### CONTENU

- 1. Analyse du comportement dynamique, stabilité dynamique et contrôle des vibrations ;
- 2. Technologies intervenant dans la conception du véhicule hélicoptère : cellule, pales, moyeux, commande de vol ;
- 3. Architecture et conception des éléments de transmissions de puissance (arbres et boîtes de transmission) ;
- 4. Dimensionnement statique et dynamique des pièces vitales métalliques.

##### Bibliographie

F. Legrand, Théorie et technique de l'hélicoptère, SUPAERO, 1964.  
P. Lefort, J. Hamann, L'hélicoptère, théorie et pratique, Chiron éditeur, 2002.  
A-R-S. Bramwell, Helicopter Dynamics, E. Arnold, 1976.  
W. Johnson, Helicopter Theory, Princeton University Press, 1980.

**Responsable(s) du module : Benjamin Kerdreux**  
**Correspondant ISAE : Frédéric Lachaud**

## 5-16 MMF 161 - Aérodynamique avancée et systèmes de turbomachines

### OBJECTIFS

Le double objectif de ce module est de :

- présenter une vision détaillée du dimensionnement aérothermodynamique d'une turbomachine avec des outils typiques de ceux utilisés dans l'industrie;
- donner une vision d'ensemble du système turbomachine en montrant les nécessités d'une approche pluridisciplinaire : aérothermodynamique, mécanique, combustion, matériaux, procédés de fabrication, régulation, vibrations et acoustique.

### Pré-requis

1TMC1  
1TGM1  
1TMF1  
3TMF4  
5TMF7

Ects : 5

### CONTENU: 2 sous-modules

Aérodynamique avancée des turbomachines (5-16 MMF 61)

Le Système Turbomachine (5-16 MMF 111)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Xavier CARBONNEAU**  
**Correspondant ISAE : Xavier CARBONNEAU**



## 5-16 MMF 161 - Aérodynamique avancée et systèmes de turbomachines

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-16 MMF 61 - Aérodynamique avancée des turbomachines

##### OBJECTIFS

Présenter une vision détaillée du dimensionnement aérothermodynamique d'une turbomachine avec des outils typiques de ceux utilisés dans l'industrie.

##### Organisation

9 Cours (11.25 h)

6 BE (15 h)

1 TD (1.25 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé: 10 h

##### CONTENU

Aérodynamique compresseur.

Aérodynamique turbine.

Dimensionnement d'un corps haute-pression de turbomachine.

Aspects instationnaires du dimensionnement des turbomachines.

Influence des aspects technologiques sur les performances.

Ventilation interne.

##### Bibliographie

S. L. Dixon & C. A. Hall, Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, Butterworth-Heinemann, 2010

Ronald D. Flack, Fundamentals of Jet Propulsion with Applications, Cambridge University Press, 2005

Seppo A. Korpela, Principles of Turbomachinery, Wiley, 2011

B. Lakshminarayana, Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery, Wiley Interscience, 1996

B. MacIsaac & R. Langton, Gas Turbine Propulsion Systems, Wiley, 2011

J. Mattingly, Elements of Gas Turbine Propulsion, McGraw-Hill Education, 1996

**Responsable(s) du module : Laurent PIERRE**

**Correspondant ISAE : Xavier CARBONNEAU**

## 5-16 MMF 161 - Aérodynamique avancée et systèmes de turbomachines

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MMF 111 - Le système turbomachine

##### OBJECTIFS

Donner une vision d'ensemble du système turbomachine en montrant les nécessités d'une approche pluridisciplinaire : aérothermodynamique, mécanique, combustion, matériaux, procédés de fabrication, régulation, vibrations et acoustique.

Organisation

18 Cours (22.5 h)

2 BE (5 h)

1 Examen écrit (2 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 29.5 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé : 10 h

##### CONTENU

Combustion.  
Aérothermique.  
Mécanique.  
Matériaux.  
Régulation.  
Vibrations.  
Procédés de fabrication.  
Turbomoteurs.

##### Bibliographie

S. L. Dixon & C. A. Hall, Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, Butterworth-Heinemann, 2010  
Ronald D. Flack, Fundamentals of Jet Propulsion with Applications, Cambridge University Press, 2005  
Seppo A. Korpela, Principles of Turbomachinery, Wiley, 2011  
B. Lakshminarayana, Fluid dynamics and heat transfer of turbomachinery, Wiley Interscience, 1996  
B. Maclsaac & R. Langton, Gas Turbine Propulsion Systems, Wiley, 2011  
J. Mattingly, Elements of Gas Turbine Propulsion, McGraw-Hill Education, 1996

**Responsable(s) du module : Xavier CARBONNEAU**

**Correspondant ISAE : Xavier CARBONNEAU**



## 5-16 MMF 162 - Avant-projets avion

### OBJECTIFS

L'objectif est d'aborder les différentes phases de la conception générale d'un avion civil, à partir d'un cahier des charges bien établi. Il s'agit de mettre en application sur des exemples concrets les notions acquises au cours des enseignements de mécanique, d'aérodynamique et de mécanique du vol afin de répondre au cahier des charges imposé. Les aspects réglementaires sont également évoqués en compléments des règles générales de dimensionnement utilisées au stade des avant-projets.

Ects : 5

### CONTENU : 2 Sous-modules

Avant-projet avion léger (5-16 MMF 62)  
Avant-projet avion d'affaires (5-16 MMF 91)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Responsable(s) du module : Stéphane JAMME**  
**Correspondant ISAE : Stéphane JAMME**

## 5-16 MMF 162 - Avant-projets avion

### 1<sup>er</sup> sous-module

## 5-16 MMF 62 - Avant-projet avion léger

#### OBJECTIFS

Ce module permet d'approcher, à travers un projet concret, les différentes phases de conception d'un avion civil de petite taille en insistant sur la prise en compte des règlements de certification dès la phase d'avant-projet. Il donne la possibilité à l'élève de participer à la conception d'un avion subsonique de faible tonnage conforme au règlement de certification européen JAR 23. Cet enseignement constitue un bon complément aux cours théoriques d'aérodynamique et de mécanique du vol.

#### Pré-requis

4TMF5  
4TMF6

#### Organisation

12 Cours (15 h)  
6 BE (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 10 h  
Ects : 5

#### CONTENU

Cahier des charges d'un projet.  
Aérodynamique de l'avion.  
Prévision de performances.  
Qualités de vol.  
Technologie.  
Charges en vol et au sol.

#### Bibliographie

J.-C. Wanner, La mécanique du vol, Dunod, 1969.  
J. Roskam, Airplane Design, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 1990.

**Responsable(s) du module : Christophe ROBIN**  
**Correspondant ISAE : Stéphane JAMME**



## 5-16 MMF 162 - Avant-projets avion

### 2<sup>e</sup> sous-module

## 5-16 MMF 91 - Avant-projet avion d'affaire

#### OBJECTIFS

Il s'agit de passer en revue les grandes étapes de la conception générale d'un avion d'affaire au stade avant-projet : savoir établir les principales caractéristiques géométriques, les masses et centrages, qualités de vol, vitesses caractéristiques et performances d'un tel avion. L'approche proposée correspond à la mise en pratique d'enseignements plus théoriques abordés plus tôt dans le cursus. Les séances sont encadrées par des ingénieurs de bureau d'étude.

#### Pré-requis

4TMF5  
4TMF6

#### Organisation

12 BE (30 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé : 15 h

#### CONTENU

En prenant pour sujet d'étude un avion d'affaires, on examine successivement :

- géométrie
- masses et centrage
- polaires basses et grandes vitesses
- vitesse minimale de contrôle
- performances de décollage
- performances en croisière
- qualités de vol longitudinales et transversales
- D.O.C.

#### Bibliographie

J-C. Wanner, Dynamique du vol et pilotage des avions, ONERA.  
G. Leblanc, La mécanique du vol de l'avion, EPNER.

**Responsable(s) du module : Romain BICHARD**

**Correspondant ISAE : Stéphane JAMME**



## 5-16 MSH 161 - Droit des contrats et analyse du risque

### OBJECTIFS

Le module vise à traiter des problèmes juridiques et managériaux concrets et récurrents dans l'industrie : comment surveiller l'application d'un contrat industriel ? quel recours ? comment se prémunir contre les risques industriels au sens large ? comment se protéger ? que faut-il éviter ?

La première partie vise à donner des bases juridiques à la conduite de projets industriels conduits avec d'autres partenaires. Il s'agit de bien connaître les droits et devoirs des contractants industriels notamment dans un contexte de sous-traitance.

Dans la deuxième partie, il s'agit de sensibiliser les élèves à la gestion des risques dans le processus de développement d'un projet industriel : son rôle, la méthode et une démarche pour sa mise en place. La question des risques de change sera également traitée.

Ects : 5

### CONTENU : 2 sous-modules

Analyse du risque (5-16 MSH 51)

Droit des contrats (5-16 MSH 61)

Les fiches détaillées de ces Sous-modules sont présentées dans les pages suivantes

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



## 5-16 MSH 161 - Droit des contrats et analyse du risque

### 1<sup>er</sup> sous-module

#### 5-16 MSH 51 - Analyse du risque

##### OBJECTIFS

Sensibiliser les élèves à la gestion des risques dans le processus de développement d'un projet industriel : son rôle, la méthode et une démarche pour sa mise en place.

##### Organisation

10 Cours (12.5 h)

12 PC (15 h)

1 Examen écrit (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 27.5 h

Travail personnel estimé: 10 h

##### CONTENU

Dans le cadre de ce module, seront données et mises en œuvre par les élèves les techniques et les méthodes appliquées de :

Analyse économique du risque :

- Approche socio-économique du risque.
- Qualification du risque.

Analyse et évaluation industrielle du risque :

- Identification et analyse (Probabilité d'occurrence, causes et impact/conséquence).
- Les acteurs et leur rôle.
- Evaluation du risque.

- Définition d'actions préventives et/ou de secours.

Détermination de l'assurance risque (y compris sur le plan financier).

Préparation au traitement de l'état de crise.

Approche financière de la gestion du risque :

- Risque de change.
- Risque de taux.
- Risque de solvabilité.

##### Bibliographie

Practical Project Risk Management - The ATOM Methodology - David Hillson

Project Risk Management : Processes, Techniques & Insights (second edition) - Chapman C.B & Ward S.C. 2003

Managing Project Risk & Uncertainty - Chapman C.B & Ward S.C. 2002

**Responsable(s) du module : Dalila ZAOUCHI**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

## 5-16 MSH 161 - Droit des contrats et analyse du risque

### 2<sup>e</sup> sous-module

#### 5-16 MSH 61 - Droits des contrats

##### OBJECTIFS

Cet enseignement vise à donner des bases juridiques à la conduite de projets industriels conduits avec d'autres partenaires. Il s'agit de bien connaître les droits et devoirs des contractants industriels notamment dans un contexte de sous-traitance.

##### Organisation

24 PC (30 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé: 5 h

##### CONTENU

Thème général : Droit des contrats d'affaire

Le contrat d'affaire :

Les différents types de contrats spéciaux des affaires

- La vente
- Le contrat d'entreprise
- Le mandat

La gestion des risques contractuels :

- Responsabilité contractuelle (par exemple du sous-traitant)
- Action directe des contractants

##### Bibliographie

René David, Xavier Blanc-Jouvan, Le Droit anglais, PUF, collection Que sais-je ?, 2003

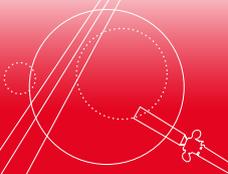
**Responsable(s) du module : Jérôme FISCHER**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



## SEMESTRE 6

### Projet de fin d'études



## 6PFE - Projet de fin d'étude

### OBJECTIFS

Les projets de fin d'études constituent une transition entre la formation scolaire et le métier d'ingénieur. Ils placent les élèves dans une situation se rapprochant le plus possible de la vie active. De plus en plus d'élèves effectuent leur projet à l'étranger. Les élèves ayant une attirance vers la recherche peuvent effectuer un Master recherche, première année des études doctorales, durant leur troisième année. Ils effectuent alors un projet de six mois en centre de recherche ou en université étrangère.

#### Au plan technique

- Résolution en temps limité d'un problème industriel ou de recherche.
- Utilisation de sources d'informations : recherches bibliographiques, contacts personnels, et aboutissement à un résultat concret (réalisation, expérimentation, simulation) sanctionnant des prévisions théoriques.
- Prise en compte de contraintes de nature industrielle : plan de travail, délais, coûts, etc.
- Edition d'un mémoire, rapport de synthèse.

#### Au plan humain

- Travail en équipe
- Contacts extérieurs fréquents avec des personnels de tous niveaux.
- Soutenance publique.

#### Au plan administratif

- Formalités courantes : demandes d'achats, ordres de missions, comptes rendus, demandes de congés
- Circuits de communication : correspondance, téléphone, télex, messages, etc.

Ects : 30

### CONTENU

#### Calendrier

Jusque fin novembre : recueil des propositions et sélection initiale.

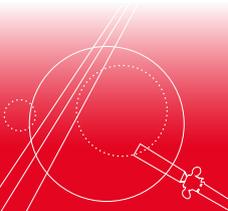
- 1er décembre : présentation des sujets.
- Mi-janvier : choix des élèves.
- De janvier à début mars, travail à temps partiel : contacts avec le proposant, recherches bibliographiques, structuration de l'étude, planigramme, devis.
- De mars à août (exceptionnellement juin), travail à temps plein sur l'étude : missions, séjours de courte durée, ou temps complet (en principe rétribué comme stage) chez le proposant.
- Courant septembre (ou exceptionnellement en juin) : édition du rapport de synthèse, soutenance publique à l'Ecole.

#### Encadrement

- Maître de stage : un ingénieur appartenant aux services du proposant spécialiste dans le secteur technique concerné, chargé de guider les élèves et de superviser leurs travaux au plan technique.
- Moniteur : un cadre scientifique appartenant à une Unité de Formation ENSICA, antenne locale technique et administrative.
- Tout expert ou conseiller selon les besoins.



## PARCOURS N°2 : CURSUS INFORMATIQUE



## Cursus Informatique

### OBJECTIFS

Le logiciel joue un rôle toujours plus prépondérant dans les systèmes complexes, que ce soit dans le domaine aéronautique, spatial, systèmes bancaires, grands systèmes d'information. La mise en place de tels logiciels requiert une expertise significative, aussi bien technique (connaissances des systèmes d'exploitation, langages, standards) que scientifique (sémantique des langages, techniques de validation, vérification, preuve de logiciels).

Le but du cursus «Systèmes Informatiques» est de présenter les éléments clés dans la conception des systèmes informatiques complexes. Il vient s'appuyer sur les techniques de conception logiciel vues en tronc commun : langages impératifs et orienté objet, algorithmique et structures de données, conception orientée objet et UML.

Les modules couvrent le cycle de développement de systèmes complexes à travers plusieurs points de vue :  
Mise en œuvre de systèmes : realtime operating systems, realtime programming languages ;  
Conception, modélisation, architecture: model-driven engineering, software engineering, avionics and space architecture, security, networks;  
Validation et vérification: scheduling, software validation.  
Chaque module sera illustré par des études de cas concrètes.

Par ailleurs, un projet utilisant tous les cours présentés dans l'approfondissement sera effectué par les étudiants. Ce projet commencera tôt dans l'année et servira de fil rouge.

### CONTENU

Systèmes d'exploitation et systèmes d'exploitation temps-réel (5-12 MIN 321)  
Ordonnancement (5-12 MIN 322)  
Génie logiciel (5-12 MIN 323)  
Validation de logiciel (5-12 MIN 324)  
Langages de programmation temps-réel (5-12 MIN 325)  
Architecture des systèmes critiques (5-12 MIN 326)  
Réseaux ( 5-12 MIN 327)  
Sécurité informatique (5-12 MIN 328)  
Ingénierie dirigée par les modèles pour les systèmes temps-réel (5-12 MIN 329)  
Evaluation de performance (5-12 MIN 330)

En préparation de ces cours, il est fortement recommandé de suivre le module de deuxième année Langages C, Python (4-2 MIN 12).

**Responsable(s) du module : Jérôme HUGUES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**



### 5-12 MIN 321 - Systèmes d'exploitation et systèmes d'exploitation temps-réel

#### OBJECTIFS

L'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants une compréhension la plus complète possible du fonctionnement d'un système d'exploitation. Nous verrons d'abord les bases générales puis les aspects temps réel qui caractérisent les systèmes d'exploitation des systèmes embarqués critiques.

#### Organisation

5 BE (12.5 h)  
5 Cours (12.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 25 h

Volume heures encadrées : 25 h  
Travail personnel estimé : 10 h  
Ects : 2

#### CONTENU

- gestion des processus et de la mémoire et les appels systèmes disponibles depuis le langage C
- norme POSIX et extensions pour le temps réel
- système d'exécution temps réel embarqué RTEMS
- standard ARINC653 pour l'avionique modulaire intégrée (IMA)

#### Bibliographie

A. Burns et A. Wellings. Real-time Systems and Programming Languages. 4th edition, Addison Wesley, 2009.

**Responsable(s) du module : Jérôme HUGUES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

### 5-12 MIN 322 - Ordonnancement

#### OBJECTIFS

L'ordonnancement de tâches est un problème fondamental de la conception des systèmes temps réel. Une question récurrente est de savoir si une configuration de tâches donnée est ordonnançable sous un certain nombre d'hypothèses et en application de telle ou telle politique d'ordonnancement. Ce module présente les principales politiques d'ordonnancement monoprocesseur et multi-processeurs en mettant l'accent sur l'ordonnançabilité de tâches dans les systèmes aéronautiques.

#### Organisation

4 BE (10 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)  
1 Cours (2.5 h)  
1 Cours (3.75 h)  
2 BE (7.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 25 h

Volume heures encadrées : 23.75 h  
Travail personnel estimé : 8 h  
Ects : 2

#### CONTENU

- Les points suivants seront abordés :
- ordonnancement mono-processeur : tâches périodiques indépendantes - algorithmes RM et EDF
  - ordonnancement monoprocesseur : tâches aperiodiques et périodiques indépendantes
  - ordonnancement monoprocesseur : tâches dépendantes (précédences et partage de ressources)
  - analyseur d'ordonnançabilité (Cheddar)
  - ordonnancement multi-processeurs
  - calcul des WCETs

#### Bibliographie

Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications, Giorgio C. Buttazzo, Springer Verlag, 2004.  
A survey of hard real-time scheduling for multiprocessor systems Robert I. Davis and Alan Burns ACM Computing Surveys (CSUR) Surveys Volume 43 Issue 4, October 2011

**Responsable(s) du module : Ahlem MIFDAOUI**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 323 - Génie logiciel

### OBJECTIFS

Le logiciel joue un rôle critique dans le domaine aérospatial, depuis des logiciels mission critical (par exemple les systèmes spatiaux à bord de satellites) jusqu'aux logiciels life critical (pour les commandes de vol Fly-by-Wire par exemple). L'objectif de ce cours est de présenter les caractéristiques principales des projets logiciels, de se concentrer sur un point particulier pour les systèmes aérospatiaux (le test) and d'introduire les principales standards industriels (DO-178B/C pour l'avionique, ECSS-E-40C pour le spatial, ISO26262 pour l'automobile). Ces documents définissent des actions précises qui couvrent le cycle de vie complet du logiciel (élicitation d'exigences, conception, programmation, test, validation, ...).

### Organisation

2 Cours (2.5 h)  
6 BE (7.5 h)  
2 BE (5 h)  
6 Cours (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 20 h  
Ects : 3

### CONTENU

Nous aborderons plus précisément dans ce cours les points suivants :

- conduite de projet (principales caractéristiques des projets logiciel, cycles de vie du logiciel, élicitation d'exigences)
- test du logiciel (développement guidé par les tests, frameworks de test, mock objects, couverture de code)
- standards : DO-178B/C pour les systèmes aéronautiques, ISO26262 pour les systèmes automobiles, ECSS-E40C pour les systèmes spatiaux

Les étudiants appliqueront les notions vues en cours durant les mini-projets des autres cours. De plus, un projet global sera proposé aux étudiants durant le cursus. Des revues de projet formels impliquant les professeurs mais également des professionnels seront faites tout au long de ce projet.

### Bibliographie

- [1] Frederick P. Brooks. The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering. Addison-Wesley Professional, 1995.
- [2] James W. Grenning. Test Driven Development for Embedded C. Pragmatic Bookshelf, 2011.
- [3] Andrew Hunt et David Thomas. The Pragmatic Programmer: From Journeyman to Master. Addison-Wesley Professional, 1999.

**Responsable(s) du module : Christophe GARION**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**



## 5-12 MIN 324 - Validation de logiciels

### OBJECTIFS

La validation logicielle est l'activité qui consiste à vérifier qu'un logiciel satisfait ses exigences. Cela peut être fait classiquement en testant le logiciel, mais pour des systèmes complexes et critiques, les méthodes formelles et la simulation sont maintenant utilisées pour prouver que ces systèmes sont corrects par rapport à leurs spécifications. La simulation permet d'intégrer des équipements simulés et réels et un environnement pour valider des systèmes complexes. Les méthodes formelles fournissent des théories mathématiques et des outils pratiques pour raisonner sur la correction d'un logiciel. Le but de ce cours est de présenter quatre approches différentes pour valider tout ou partie d'un logiciel:

Organisation  
4 BE (10 h)  
8 Cours (20 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 5 h  
Ects : 2

### CONTENU

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

Un cas d'étude (pilote automatique, système de contrôle d'attitude satellite) sera utilisée durant tout le module et les sessions pratiques pour montrer les avantages et les inconvénients de chaque approche.

### Bibliographie

- [1] P. Cousot and R. Cousot. "Abstract interpretation: a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fix- points". In: Conference Record of the Fourth Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages. Los Angeles, California: ACM Press, New York, NY, 1977, pp. 238–252. url: <http://www.di.ens.fr/~cousot/COUSOTpapers/POPL77.shtml>.
- [2] P. Cousot and R. Cousot. "Inductive Definitions, Semantics and Abstract Interpretation". In: Conference Record of the Ninthteenth Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages. Albuquerque, New Mexico: ACM Press, New York, NY, Jan. 1992, pp. 83– 94. url: <http://www.di.ens.fr/~cousot/COUSOTpapers/POPL92.shtml>.
- [3] M. Gordon. Background reading on Hoare logic. Lecture notes. University of Cambridge, 2012. url: <http://www.cl.cam.ac.uk/~mjc/Teaching/2011/Hoare/Notes/Notes.pdf>.
- [4] D. Gries. The science of programming. Springer-Verlag, 1987.
- [5] M. Huth and M. Ryan. Logic in Computer Science – modelling and reasoning about systems. Cambridge University Press, 2004. url: <http://www.cs.bham.ac.uk/research/projects/lics/>.

**Responsable(s) du module : Christophe GARION**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 325 - Langages de programmation temps-réel

### OBJECTIFS

La mise en oeuvre de logiciels embarqués repose sur des paradigmes particulier pour passer de l'espace des solutions (tâches, fonctions) à un logiciel concret. Plusieurs langages ont été définis afin de répondre aux exigences particulières en matière de portabilité et de sécurité-innocuité et sécurité-immunité, dans un environnement virtualisé (RTSJ) ou de représentation du modèle de calcul synchrone (SCADE). L'objectif de ce cours est de présenter ces trois langages de programmation différents, et leur utilisation efficace pour la mise en oeuvre des systèmes temps réel.

### Organisation

13 Cours (13.75 h)  
5 BE (12.5 h)  
3 TP (3.75 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé : 10 h  
Ects : 2

### CONTENU

Nous présenterons dans ce cours :

- Ada 2012 : la programmation impérative; la concurrence (tâche, objets protégés, rendez-vous); programmation temps réel, le profil Ravenscar; mise en oeuvre d'un run-time au-dessus d'un RTOS existant, ou sur des systèmes nus;
- RTSJ (Real-Time Specifications for Java) : modèle de la concurrence de Java (Moniteurs de Hoare, les API pour la concurrence); RTSJ API (ordonnancement en temps réel et le modèle de mémoire);
- SCADE langage synchrone : modèle de calcul synchrone; SCADE, la validation et la vérification des modèles, génération de code; lien vers la certification.

### Bibliographie

- [1] E. Bruno and G. Bollella. Real-Time Java Programming: With Java RTS. 1st. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2009. isbn: 0137142986, 9780137142989.
- [2] A. Burns and A. Wellings. Real-time Systems and Programming Languages. 4th edition, Addison Wesley, 2009.
- [3] Peter C. Dibble. Real-Time Java Platform Programming. Second edition. BookSurge Publishing, 2008.
- [4] B. Goetz. Java concurrency in practice. Addison-Wesley, 2006.
- [5] J. McCormick, F. Singhoff, and J. Hugues. Building Parallel, Embedded, and Real-Time Applications with Ada. Cambridge University Press, UK, 365 pages. ISBN-13: 9780521197168., July 2010.

**Responsable(s) du module : Jérôme HUGUES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 326 - Architecture des systèmes critiques

### OBJECTIFS

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

### Organisation

11 Cours (30 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 30 h  
Volume heures encadrées : 30 h  
Ects : 1

### CONTENU

- Architecture des systèmes informatiques
- Conférences industrielles sur les domaines avionique, spatial, automobile

**Responsable(s) du module : Jérôme HUGUES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 327 - Réseaux

### OBJECTIFS

L'objectif du cours est de donner les compétences pour la maîtrise des réseaux embarqués.

La notion centrale est celle du déterminisme des latences dans les réseaux qui est fondamentale pour la certification des architectures réseaux avioniques: les réseaux avioniques traditionnels intègrent des mécanismes qui garantissent ce déterminisme, tandis que la nouvelle génération des réseaux embarqués est dérivée de réseaux locaux qui n'ont pas été conçus a priori pour apporter ce déterminisme. Dans ce cas, des mécanismes supplémentaires et des preuves mathématiques sont nécessaires pour apporter une notion de déterminisme suffisante sous la forme de bornes sur les latences.

### Organisation

8 Cours (18.75 h)

1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 20 h

Volume heures encadrées : 18.75 h

Ects : 1

### CONTENU

Introduction aux réseaux : modèle en couches, protocoles standards et cas avionique.

Principes d'échanges des données et mécanismes de synchronisation.

Méthodes d'accès au medium.

Principes des réseaux locaux.

Bus avioniques classiques et qualités de service des réseaux embarqués.

Réseaux avioniques de nouvelle génération : exemple de l'AFDX et du SpaceWire.

### Bibliographie

Industrial communication systems. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 24-1. ISBN 978-1-4398-0281-6

Computer Networking: A Top-Down Approach, 6th Edition. James F. Kurose and Keith W. Ross, Pearson, 2012. ISBN 978-0132856201

**Responsable(s) du module : Fabrice FRANCES**

**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 328 - Sécurité informatique

### OBJECTIFS

La sécurité informatique vise à protéger les ordinateurs et systèmes d'informations contre les attaques malveillantes. Ces problématiques englobent de nombreux aspects des systèmes informatiques (matériel, logiciels, environnement, comportement des usagers, etc.) au cours de leur cycle de vie. Le niveau de sécurité atteint est fondamental pour la confiance que les utilisateurs ont envers ces systèmes informatiques, de plus en plus intrusifs dans leurs activités de tous les jours. Malheureusement, comme le montrent de nombreux événements récents ou anciens, un tel niveau ne semble pas actuellement atteint.

Le but de ce cours est d'aborder dans une première partie les principaux éléments fondamentaux de la sécurité informatique et dans une deuxième partie les techniques de programmation sécurisée et les outils nécessaires à la mise en place d'une politique de sécurité.

### Organisation

5 Cours (15 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé: 10 h

Ects : 1

### CONTENU

Les points suivants seront plus étudiés plus en détail :

- quelques attaques spécifiques de logiciels ou de matériel afin de mieux comprendre leur fonctionnement et l'impact réel;
- les diverses des sources d'information fiables et disponibles pour identifier et caractériser les vulnérabilités informatiques ainsi
- que signaler les incidents;
- les politiques de sécurité des systèmes d'information et organisationnel et les standards établis dans l'industrie
- les mécanismes fondamentaux de sécurité offerts par la cryptographie, les politiques formelles, d'authentification distribuée et de systèmes d'autorisation;
- protection réseau, détection d'intrusion et pare-feu;
- règles de programmation sécurisée, notamment en C, ainsi que des techniques et les outils disponibles pour le développement de tels logiciels.

### Bibliographie

Bell, LaPadula, Secure Computer Systems: Unified Exposition and Multics Interpretation, 1975.  
C. Weissman, BLACKER: Security for the DDN, Examples of A1 Security Engineering Trades, 1992.

**Responsable(s) du module : Pierre SIRON**

**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**



## 5-12 MIN 329 - Ingénierie dirigée par les modèles pour les systèmes temps-réel

### OBJECTIFS

Ce cours vise à introduire les concepts de la modélisation suivant le standard SysML, un profil UML permettant de supporter les activités de l'Ingénierie Système. Par la présentation de SysML, nous aborderons la vérification sur base de modèles ainsi que le test de systèmes temps-réel.

### Organisation

6 BE (17.5 h)  
1 Cours (2.5 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 20 h

Volume heures encadrées : 20 h  
Travail personnel estimé : 5 h  
Ects : 2

### CONTENU

Les points suivants seront abordés :

- SysML (System Modeling Language)
- définition des exigences et traçabilité;
- analyse basée sur des cas d'utilisation;
- conception architecturale et comportemental.
- AVATAR (Langage de modélisation pour systèmes temps réel basé sur SysML)
- définition d'une sémantique formelle de SysML;
- présentation de l'outil Open Source TTool;
- simulation de modèles AVATAR avec TTool;
- vérification formelle de modèles AVATAR à l'aide de TTool et UPPAAL;
- génération de séquences de test
- méthode
- systèmes centralisés;
- modélisation de protocoles et validation d'architectures de communication.

### Bibliographie

[1] Pascal Roques. SysML par l'exemple - Un langage de modélisation pour systèmes complexes. Editions Eyrolles, 2009.

**Responsable(s) du module : Pierre DE SAQUI- SANNES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**

## 5-12 MIN 330 - Evaluation de performance

### OBJECTIFS

Dans le contexte des réseaux embarqués critiques, la vérification des contraintes temporelles et fonctionnelles au pire cas est une propriété essentielle pour non seulement garantir le bon fonctionnement du système dans son environnement, mais aussi et surtout pour des contraintes de certification très strictes notamment en avionique et spatial.

L'évaluation de performance au pire cas de ces systèmes critiques est ainsi essentielle. Ce module présente les principales techniques de validation utilisées dans ce contexte et tout particulièrement la théorie d'ordonnancement pour les systèmes distribués, la théorie du Network Calculus et la théorie des graphes. Des études de cas pour les réseaux aéronautiques et satellites seront détaillées.

### Organisation

4 Cours (10 h)  
2 BE (2.75 h)  
1 Examen écrit (1.25 h)

Temps total d'enseignement dont examen : 15 h

Volume heures encadrées : 13.75 h  
Travail personnel estimé: 7 h  
Ects : 1

### CONTENU

Les points suivants seront abordés dans ce module :

- l'extension de la théorie d'ordonnancement pour les systèmes distribués avec une étude de cas pour les bus avioniques traditionnels de type CAN et Mil STD 1553B
- les concepts de base de la théorie du Network Calculus, utilisée pour la certification du réseau avionique AFDX, et son application dans ce cas d'étude
- les concepts de base de la théorie des graphes et son application pour la validation du réseau satellite Spacewire

### Bibliographie

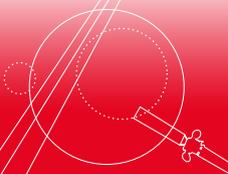
Network Calculus: A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet, Jean-Yves Le Boudec and Patrick Thiran, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, 2001.

Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications, Giorgio C. Buttazzo, Springer Verlag, 2004.

**Responsable(s) du module : Ahlem MIFDAOUI**  
**Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**



## PARCOURS N°3 : CURSUS TÉLÉCOMMUNICATIONS & RÉSEAUX



## Cursus Télécommunications et réseaux

### OBJECTIFS

Ce cursus traite des systèmes de télécommunications par satellites.

L'enseignement dispensé a pour objectif d'apporter aux étudiants une connaissance exploitable des outils, techniques et technologies nécessaires pour la conception de ces systèmes complexes.

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, télécommunications et réseaux;
- Acquérir une bonne maîtrise des outils de conception et simulation du domaine.

Volume heures encadrées : 240 h

### CONTENU

Traitement du signal (5-13 MIN 421)  
Réseaux et protocoles de communication (5-13 MIN 424)  
Electronique et architectures de traitement numérique (5-13 MIN 422)  
Communications numériques (5-13 MIN 423)  
Liaisons radiofréquences, antennes et propagation (5-13 MIN 425)  
Systèmes de communications spatiales (5-13 MIN 426)  
Communications par satellites pour les mobiles et l'aéronautique (5-13 MIN 428)  
Internet et services multimédia par satellites (5-13 MIN 429)  
Systèmes de positionnement par satellites (5-13 MIN 427)  
Projet (5-13 MIN 430)

**Responsable(s) du module : Jérôme LACAN**

**Correspondant ISAE : Emmanuel LOCHIN,**

**Jérôme LACAN**



### 5-13 MIN 421 - Traitement du signal

#### OBJECTIFS

Acquérir les bases de traitement du signal.

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 15 h

#### CONTENU

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.

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Vincent CALMETTES**  
**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 424 - Réseaux et protocoles de communication

#### OBJECTIFS

Introduction aux réseaux de télécommunications et architecture de l'Internet

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 15 h

#### CONTENU

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).

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Emmanuel LOCHIN**  
**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 422 - Electronique et architectures de traitement numérique

#### OBJECTIFS

Acquérir les bases d'électronique nécessaire pour les communications par satellite.

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 15 h

#### CONTENU

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 oeuvre d'architectures programmées à base de processeurs numériques des signaux (DSP) et de cibles câblées pour l'implantation des algorithmes.

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Pierre MAGNAN,  
Vincent CALMETTES  
Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 423 - Communications numériques

#### OBJECTIFS

Acquérir les bases en communications numériques pour les communications par satellite.

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 30 h

#### CONTENU

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).

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Marie-Laure BOUCHERET,  
Jérôme LACAN  
Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**



### 5-13 MIN 425 - Liaisons radiofréquences et propagation

#### OBJECTIFS

Acquérir les bases en radio-fréquence et en propagation dans le contexte des communications par satellite.

Volume heures encadrées : 30 h  
Travail personnel estimé: 30 h

#### CONTENU

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..

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : José RADZIK,  
Laurent CASTANET  
Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 426 - Systèmes de communications spatiales

#### OBJECTIFS

Présentation d'un panorama des systèmes satellitaires permettant de comprendre les relations entre les techniques étudiées en détail dans les autres modules.

Volume heures encadrées : 15 h  
Travail personnel estimé: 15 h

#### CONTENU

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. L'étudiant dispose ainsi d'un panorama complet du système lui permettant de comprendre les relations entre les techniques étudiées en détail dans les autres modules.

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Michel BOUSQUET  
Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 428 - Communications par satellites pour les mobiles et l'aéronautique

#### OBJECTIFS

Acquérir une vision globale des systèmes satellitaires pour les mobiles et pour les communications aéronautiques

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé: 30 h

#### CONTENU

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

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Jérôme LACAN**

**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 429 - Internet et multimédia par satellites

#### OBJECTIFS

Acquérir une vision globale des services satellitaires pour les terminaux fixes.

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé: 30 h

#### CONTENU

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

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : José RADZIK**

**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**



### 5-13 MIN 427 - Systèmes de positionnement par satellite

#### OBJECTIFS

Acquérir les bases en système de positionnement par satellites.

Volume heures encadrées : 15 h

Travail personnel estimé: 15 h

#### CONTENU

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.

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley

**Responsable(s) du module : Mohamed Sahmoudi**

**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

### 5-13 MIN 430 - Projet

#### OBJECTIFS

Mettre en œuvre certains des concepts utilisés dans les systèmes satellitaires.

Volume heures encadrées : 30 h

Travail personnel estimé: 90 h

#### CONTENU

Le projet intégré à l'approfondissement TR est une composante importante de l'enseignement dispensé. Ce projet est programmé sur 30 heures et fait appel à un travail personnel significatif de la part des étudiants. L'objectif est de contribuer à la constitution d'un outil de simulation et d'évaluation des performances d'un système de communication par satellites. Plusieurs domaines de modélisation sont identifiés (couche physique, techniques d'accès, intégration à un réseau terrestre de type IP), les étudiants se répartissent les tâches de développement afin que chaque groupe contribue au produit final. Une soutenance présente les étapes du développement et les résultats obtenus. Les techniques retenues se fixent pour objectif un système avancé, le projet constitue en effet une initiation à la recherche.

#### Bibliographie

Gerard Maral and Michel Bousquet, «Satellite Communications Systems», Edition 5, December 2009, Wiley.

**Responsable(s) du module : José RADZIK**

**Correspondant ISAE : Jérôme LACAN**

# PRESENTATION DES ITINERAIRES

## ITINERAIRES - Codage et choix des modules

### Itinéraires conseillés

Le programme de la Formation ENSICA comprend des enseignements de tronc commun et des modules électifs.

Les modules sont organisés en séquences (4 en 2A et 3 en 3A).

Les itinéraires conseillés, présentés dans la suite du document, sont plus une aide à la cohérence d'un parcours qu'un passage obligé. Ils sont souvent incomplets. Ceci permet une adaptation au « goût » de chacun.

ITINERAIRE I1 - Système avion  
ITINERAIRE I2 - Mécanique des fluides  
ITINERAIRE I3 - Signal Radar Navigation  
ITINERAIRE I4 - Pilotage – guidage  
ITINERAIRE I5 - Réseaux – télécommunications  
ITINERAIRE I6 - Systèmes Informatiques  
ITINERAIRE I7 – Structures  
ITINERAIRE I8 – Machines  
ITINERAIRE I9 - Processus industriels  
ITINERAIRE I10 – Espace  
ITINERAIRE I11 - Les modules SHS

### Règles de choix des modules

- 1 - On choisit un seul module par séquence. Donc 4 modules en 2ème année et 3 en 3ème année.
- 2 - On effectue ce choix en faisant attention aux pré-requis obligatoires des modules de 3ème année.

Les informations concernant les pré-requis nécessaires pour des modules de 3ème année (codés 5...) sont également indiquées dans les fiches de présentation des modules 3A.

### Codage des modules

Exemple 4-1 MAS 12

4 : 4ème semestre

1 : 1ère séquence

MAS : Module de l'Unité de Formation (UF) Avionique Système

MGM : Module de l'UF Génie Mécanique

MMF : Module de l'UF Mécanique des Fluides

MIN : Module de l'UF Informatique

MSH : Module de l'UF Sciences Humaines

Derniers chiffres : identification du module

Exemple : 4-3 MGM 33, Module programmé au 4ème semestre, faisant partie de la séquence 3, dépendant du département de Génie Mécanique et identifié MGM 33.

**Responsable du module : Tanguy PERENNOU**

**Correspondant ISAE : Tanguy PERENNOU**



### ITINERAIRE I1 - Système avion

#### OBJECTIFS

Cet itinéraire pluridisciplinaire donne les compétences nécessaires pour conduire des projets dans le domaine de l'aéronautique. Des cellules aux moteurs, en passant par les systèmes informatiques et avioniques, il s'agit d'un parcours complet autour de l'avion qui, venant en complément des enseignements du tronc commun, fournit un aperçu global de ce système complexe.

#### CONTENU

2A :

- 4-1 MAS 11, Systèmes de bord
- 4-2 MMF 23, Turbomachines
- 4-3 MAS 33, Pilotage-guidage
- 4-4 MAS 41, Instruments de bord

3A :

- 5-14 MAS 141, Commande avancée des systèmes
- 5-15 MGM 152, Ingénierie structure avion
- 5-16 MMF 162, Avant-projets avion

**Responsable du module : Stéphane JAMME**

**Correspondant ISAE : Stéphane JAMME**

### ITINERAIRE I2 - Mécanique des fluides

#### OBJECTIFS

L'objectif de cet itinéraire est d'approfondir un certain nombre de disciplines abordées dans le tronc commun et/ou de développer des applications avancées de la mécanique des fluides. Le choix de cet itinéraire devrait faciliter une adaptation à un premier emploi dans le domaine concerné.

Par ailleurs, un choix de modules de cet itinéraire, complété par le tronc commun du Master recherche DET (Dynamique des fluides énergétique et thermique), peut être considéré comme une spécialisation et une formation à la recherche dans ce domaine.

#### CONTENU

2A :

- 4-1 MMF 11 - Logiciels de mécanique des fluides numérique
- 4-3 MMF 22 - Acoustique
- 4-4 MMF 41 - Approche expérimentale en mécanique des fluides

3A :

- 5-14 MMF 141 - Mécanique des fluides avancée
- 5-15 MMF 151 - Couplage multiphysique
- 5-16 MMF 161 - Aérodynamique avancée et systèmes de turbomachines

**Responsable du module : Laurent JOLY**

**Correspondant ISAE : Laurent JOLY**



## ITINERAIRE I3 - Signal Radar Navigation

### OBJECTIFS

Cet itinéraire doit conduire à la compréhension des systèmes de détection, localisation, navigation et imagerie que l'on trouve dans les applications aéronautiques et spatiales. Le traitement du signal est à la base de toutes ces applications que ce soit au niveau de la mise en forme des signaux, du filtrage ou de l'extraction d'informations pertinentes. L'itinéraire permet d'avoir une vue d'ensemble des différents systèmes radar et navigation par satellite, tout en offrant un approfondissement sur les nouvelles méthodes de traitement du signal utilisées dans ces systèmes.

### Pré-requis

3SIG5  
3SIG6  
3TMA4  
2TMA3

Volume horaire : 240 h  
Travail personnel estimé : 20 h

### CONTENU

4-1 MAS 12 Estimation  
4-2 MAS 22 Systèmes RF et hyperfréquences  
4-4 MAS 21 Radar et traitement du signal  
  
5-14 MAS 142 Signal Image  
5-15 MAS 151 Outils avancés pour l'automatique (conseillé)  
5-16 MAS 161 Systèmes satellitaires de navigation et d'observation

**Responsable du module : Olivier BESSON**  
**Correspondant ISAE : Olivier BESSON**



## ITINERAIRE I4 - Pilotage - guidage

### OBJECTIFS

Il s'agit ici de donner tous les éléments à la fois de base et technologiques sur les systèmes de pilotage, guidage, navigation dans toutes les applications aéronautiques et spatiales. Les enseignements de base concernent essentiellement les techniques actuelles de l'automatique utilisées pour la résolution de problèmes complexes de commande automatique (avion souple, mise à poste de satellites par exemple). La partie plus technologique concerne les capteurs et l'instrumentation de bord, les systèmes de visualisation embarqués, le pilotage, le guidage, la navigation. Les enseignements sont assurés par des experts de l'industrie (Airbus, Astrium, Thalès, Sagem), et des scientifiques en liaison avec le monde de la recherche (ONERA, ENAC, LAAS/CNRS).

### COMPOSITION

Le module 4-1 MAS 13 Commande des systèmes par ordinateur réalise le lien entre l'automatique théorique traitée dans le cas continu et l'automatique appliquée embarquée sur ordinateur ou DSP.

- Le module 4-2 MMF 21 Qualité de vol traite de l'avion naturel, c'est à dire sans systèmes de stabilisation, et de l'influence du dimensionnement des gouvernes sur le système dynamique « avion ».
- Le module 4-3 MAS 33 Pilotage - Guidage présente les techniques classiques de pilotage automatique des aéronefs, les commandes de vol électriques ainsi que les techniques modernes de l'automatique appliquées aux programmes en cours chez Airbus (A380, A400M, etc.)
- Le module 4-4 MAS 43 Navigation présente une étude du système de gestion du vol (FMS) et de ses fonctionnalités opérationnelles.
- Le module 5-14 MAS 141 Commande avancée des systèmes aborde les aspects les plus modernes de l'automatique appliquée aux systèmes aérospatiaux : on y traite notamment, la commande modale des systèmes à plusieurs entrées et plusieurs sorties, la commande robuste pour le pilotage et le contrôle d'attitude, la commande des structures flexibles peu amorties.
- Le module 5-15 MAS 151 Outils avancés pour l'automatique donne les outils nécessaires pour appréhender et résoudre les problèmes de commande optimale des systèmes complexes, ainsi que l'estimation et le filtrage des systèmes dynamiques.

### CONTENU

- 4-1 MAS 13 Commande des systèmes par ordinateur
- 4-2 MMF 21 Qualité de vol
- 4-3 MAS 33 Pilotage - Guidage
- 4-4 MAS 43 Navigation
- 5-14 MAS 141 Commande avancée des systèmes
- 5-15 MAS 151 Outils avancés pour l'automatique

Cet itinéraire peut-être complété par le module 5-16 MAS 161, Systèmes satellitaires de navigation et d'observation

**Responsable du module : Joël BORDENEUVE-GUIBE**  
**Correspondant ISAE : Joël BORDENEUVE-GUIBE**

## ITINERAIRE I5 - Réseaux - télécommunications

### OBJECTIFS

Cet itinéraire répond à un besoin de formation dans le domaine des technologies de l'information caractérisé par la convergence des techniques des télécommunications et des réseaux. La forte demande industrielle en expertise et innovation dans ces domaines est une assurance pour le devenir professionnel des élèves suivant cette formation. En outre, les activités aéronautiques et spatiales de la région Midi-Pyrénées sont aussi demandeuses de formations de haut niveau dans cette spécialité.

Cet itinéraire est construit sur la base d'un ensemble de modules à dominante réseaux (unité de formation informatique) et télécommunications (unité de formation avionique et systèmes). Les modules de réseaux informatiques proposent une initiation aux aspects systèmes (systèmes d'exploitation), ainsi qu'une formation avancée en matière d'architectures de réseaux informatiques. Ces derniers modules abordent les concepts et la mise en œuvre des principales solutions pour les communications dans des cadres variés : multimédias, haut débit, grande distance, réseaux locaux, réseaux sans fil... Les modules de télécommunications abordent à la fois les aspects systèmes (notamment pour les télécommunications par satellite) et les aspects signaux. Les premiers permettent de mieux appréhender l'architecture et les différents constituants du système alors que les seconds permettent de comprendre les étapes nécessaires de mise en forme de l'information.

### CONTENU

2A :  
Estimation (4-1 MAS 12)  
Systèmes RF et hyperfréquences (4-2 MAS 22)  
Introduction aux systèmes multimedia (4-4 MIN 41)

3A :  
Cursus Télécommunications et réseaux (5-13 MIN 131)

**Responsable du module : Olivier BESSON,  
Jérôme LACAN  
Correspondant ISAE : Olivier BESSON,  
Jérôme LACAN**

## ITINERAIRE I6 - Systèmes Informatiques

### OBJECTIFS

Le but du cursus "Systèmes Informatiques" est de présenter les éléments clés dans la conception des systèmes informatiques complexes. Il vient s'appuyer sur les techniques de conception logiciel vues en tronc commun : langages impératifs et orienté objet, algorithmique et structures de données, conception orientée objet et UML.

### CONTENU

2A :  
4-2 MIN 12 (Langages : C, Python)

3A :  
5-12 MIN 121 (Cursus Informatique)

**Responsable du module : Jérôme HUGUES  
Correspondant ISAE : Jérôme HUGUES**



### ITINERAIRE I7 - Structures

#### OBJECTIFS

Les enseignements de Génie mécanique délivrés en 1ère année et tronc commun de 2ème année ont donné aux élèves les notions de base en mécanique des structures, en science des matériaux, en fabrication et les principes de modélisation et de calcul des structures d'aéronefs.

Cet itinéraire de 2A constitue une suite logique à cet enseignement de base. Il a pour objectif de donner les compléments et notions avancées permettant au futur ingénieur de travailler et d'évoluer au sein d'un bureau d'études dans le domaine de la conception et du calcul de structures des cellules d'aéronefs.

Pour ce qui concerne les modules de 3A les étudiants ont le loisir de poursuivre dans le domaine du calcul des structures :

- orienté avion avec les modules 5-14 MGM 142, 5-15 MGM 152, et 5-16 MMF 162,

- orienté Spatial avec les modules 5-14 MGM 141, 5-15 MGM 151, et 5-16 MGM 161,

ou de sortir du domaine afin d'élargir leur profil.

Mais il serait intéressant de suivre le module 5-14 MGM 142 «Mécanique Avancée» qui leur permettra de compléter utilement leurs connaissances dans le domaine du calcul des structures.

#### CONTENU

2A :

4-1 MGM 11 Matériaux pour cellules d'aéronefs

4-2 MGM 21 Calcul des structures

4-3 MGM 31 Dimensionnement des structures

4-4 MGM 41 Projet de conception

3A, dans le domaine aéronautique :

5-14 MGM 142 Mécanique avancée

5-15 MGM 152 Ingénierie structure avion

5-16 MMF 162 Avant-projets avion

ou dans le domaine Spatial :

5-14 MGM 141 Conception de véhicules spatiaux

5-15 MGM 151 Environnement spatial et conception des satellites

5-16 MGM 161 Missions et opérations spatiales

**Responsable du module : Laurent MICHEL**

**Correspondant ISAE : Laurent MICHEL**

### ITINERAIRE I8 - Machines

#### OBJECTIFS

A la fin de cet itinéraire, les élèves doivent être capables d'analyser, de modéliser, de concevoir et de calculer des parties de chaînes de transmission de puissance (moteur inclus) utilisées en aéronautiques.

Cet itinéraire se décompose en trois grandes parties :

- Choix des matériaux pour la transmission de puissance

- Conception et dimensionnement des liaisons (Tribologie)

- Fiabilité et fatigue

#### CONTENU

2A :

4-1 MGM 12 - Choix des matériaux pour la transmission de puissance

4-2 MGM 22 - Tribologie

4-3 MGM 32 - Fiabilité et fatigue

**Responsable du module : Rémy CHIERAGATTI**

**Correspondant ISAE : Rémy CHIERAGATTI**



## ITINERAIRE I9 - Processus industriels

### OBJECTIFS

A la fin de cet itinéraire, les élèves doivent être capables de définir tout élément de spécification nécessaire à la fabrication aéronautique et doivent connaître les moyens actuels et les problématiques associés de la conception à la réalisation d'un produit en général et d'un produit aéronautique en particulier.

Cet itinéraire comporte deux grandes parties :

Industrialisation (du matériau à la pièce) :

Formulation du besoin (technique, économique, risque, cotation).

Moyens (science des matériaux, procédés d'obtention, essais spécifiques, problèmes liés à l'industrialisation).

Qualité des procédés et des produits (assurance qualité, suivi, maîtrise, contrôle).

Processus industriel :

Différents types de modélisation, outils du commerce, architecture des systèmes, ingénierie numérique.

TGAO, CFAO, métrologie et cotation tridimensionnelles. Intégration des connaissances métier.

Robotique.

Le parti a été pris de faire intervenir, pour la partie « Industrialisation (du matériau à la pièce) », des intervenants spécialistes du milieu aéronautique, et pour la partie « Processus industriel », des experts de la branche automobile (PSA). En effet le cycle de conception, et de vie de ces deux familles de produits de haute technologie étant très différents, le domaine automobile est reconnu comme étant précurseur des autres industries en ce qui concerne les moyens mis en oeuvre. L'objectif est donc, par cet intermédiaire, de donner des notions aux futurs ingénieurs sur les moyens qui seront utilisés demain dans l'aéronautique.

Enfin, sur le plan pratique, l'objectif qui est cité ci-dessus ne s'applique bien entendu qu'aux élèves qui auront suivi l'intégralité de l'itinéraire qui présente à cet effet une cohérence globale. Dans tous les cas, il est conseillé (mais non obligatoire) de choisir les modules par paires (Du matériau à la pièce 1 et 2) et (Processus industriel 1 et 2) pour assurer un minimum de cohérence sur les parties de l'objectif de l'itinéraire.

### CONTENU

2A :

4-1 MGM 13 - Du matériau à la pièce 1

4-2 MGM 23 - Du matériau à la pièce 2

4-3 MGM 33 - Processus industriels 1

4-4 MGM 42 - Processus industriels 2

**Responsable du module : Rémy CHIERAGATTI**  
**Correspondant ISAE : Rémy CHIERAGATTI**



### ITINERAIRE I10 - Espace

#### OBJECTIFS

Cet itinéraire offre un panorama équilibré des techniques spatiales (mécanique spatiale, environnement espace, architecture lanceurs et satellites, propulsion, pilotage-guidage des missiles et lanceurs, technologies structures et systèmes lanceurs et véhicules spatiaux, missions et opérations humaines ou systèmes, observation de la Terre) constituant la « panoplie » de l'ingénieur et du chef de projet de systèmes spatiaux pour les industries et institutions du secteur Espace. La formation met l'accent sur la mécanique, l'architecture et la conception des spatonefs, et donne des compétences corrélatives dans le domaine système et missions.

Acquisitions requises, Cours utiles : 1TMC1, 1TMC2, 1TGM1, 2TMC3-7, 3TGM5, 5TGM9

Modules nécessitant un pré-requis : 4-3 MGM 31, 4-4 MGM 41.

#### Pré-requis

4-1 MGM 11  
4-2 MGM 21  
4-3 MGM 31  
5-15 MGM 151  
5-14 MGM 141

Modules nécessitant un pré-requis : 4-3 MGM 31, 4-4 MGM 41.

Volume horaire : 330 h  
Travail personnel estimé : 81 h

#### CONTENU

PR = Prérequis pour ...

2A :  
4-1 MGM 11 (Mat. cellules aéronefs) PR 31  
4-2 MGM 21 (Calcul des structures) PR 31  
4-3 MGM 31 (Dimnt. des structures) PR 41  
4-4 MGM 41 (Projet de conception)

3A :  
5-14 MGM 141 Conception des véhicules spatiaux  
5-15 MGM 151 Environnement spatial et conception satellites  
5-16 MGM 161 Missions et opérations spatiales

**Responsable du module : Christine ESPINOSA**  
**Correspondant ISAE : Christine ESPINOSA**

### ITINERAIRE I11 - Les modules SHS

#### OBJECTIFS

Deux modules SHS de base de 60 heures sont proposés à l'ensemble des élèves. Il s'agit de les former au travail collaboratif et à la prise en compte de la coopération au travail.

Les élèves du DESII devront en suivre au moins 1.

#### CONTENU

Gestion des ressources humaines et des connaissances (5-15 MSH 151)  
Droit des contrats et analyse du risque (5-16 MSH 16)

**Responsable du module : Marie-Pierre BES**  
**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**



# FORMATIONS COMPLEMENTAIRES

## 1 - Diplôme d'Etudes Supérieures de l'Ingénierie de l'Innovation

Le Diplôme d'Etudes Supérieures de l'Ingénierie de l'Innovation est délivré aux élèves ingénieur du cursus ENSICA qui acceptent de suivre une formation complémentaire, de réaliser un dossier d'innovation.

L'objectif du DESII est de sensibiliser les élèves ingénieur à la gestion de l'innovation et de la recherche en Sciences de l'ingénieur.

Le programme d'enseignement représente 60h, soit quatre cours de 15h. L'enseignement dispensé pendant le semestre 5.

5-DESII1 - cours 1 : Recherche, partenariats et brevets	
<b>OBJECTIFS</b> Acquisition de connaissances en matière de Recherche, partenariats et brevets.  <b>Pré-requis</b> 5ESG9-A5  Volume heures encadrées : 15 h	<b>CONTENU</b> Recherche, partenariats et brevets (12h) : visite d'un laboratoire, analyse de partenariats science-industrie, manipulation des bases de données de brevets  <b>Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES</b> <b>Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES</b>
5-DESII2 - cours 2 : Pilotage public de l'innovation	
<b>OBJECTIFS</b> Acquisition de connaissance en matière de pilotage public de l'innovation.  Volume heures encadrées : 15 h	<b>CONTENU</b> Pilotage public de l'innovation : aides publiques à différentes échelles (europe, nationale, locale) ensemble des dispositifs incitatifs à l'innovation et l'entrepreneuriat.  <b>Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES</b> <b>Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES</b>
5-DESII3 - cours 3 : Business Plan	
<b>OBJECTIFS</b> Réalisation d'un Business Plan  Volume heures encadrées : 15 h	<b>CONTENU</b> Faire un Business Plan sur son dossier d'innovation : - comment présenter un dossier innovant à un financeur ? à un concours ? à un éventuel partenaire. - faire la preuve que le marché existe avec un diagnostic des besoins et des concurrents. - présenter également un prévisionnel comptable et financier cohérent.  <b>Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES</b> <b>Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES</b>



### 5-DESII4 - cours 4 : Finalisation du dossier d'innovation

#### OBJECTIFS

Montage d'un projet innovant.

#### Pré-requis

5ESG9-A5

Volume heures encadrées : 15 h

#### CONTENU

Montage projet innovant : Intervention entreprise

Réalisation d'un dossier d'innovation développant une idée originale :

Bref descriptif technique avec les fonctionnalités

Marché visé

Concurrents et partenaires

Business Plan comptable

Développements possibles

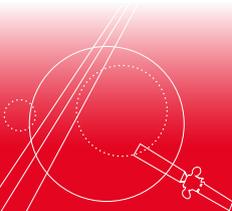
Les meilleurs dossiers participent au concours CRECE au nom de l'ISAE

**Responsable(s) du module : Marie-Pierre BES**

**Correspondant ISAE : Marie-Pierre BES**

## 2 - Certificat Management de l'Innovation HEC-ISAE

Le programme «Certificat Management de l'Innovation» s'adresse aux élèves de troisième année de l'Ecole HEC et élèves ingénieurs de l'ISAE, y compris les polytechniciens en formation complémentaire à HEC Paris ou à SUPAERO. Le Certificat est une formation de deux mois, composée d'une centaine d'heures de cours, qui seront essentiellement dispensées à HEC Paris. Elle comporte des cours des professeurs participant à la Chaire ainsi que de professionnels du Groupe Safran. Cette formation accueille 20 à 25 élèves par an.





# ISAE

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

**Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace** issu du rapprochement SUPAERO et ENSICA  
10, avenue Édouard-Belin - BP 54032 - 31055 Toulouse CEDEX 4 - FRANCE  
Adresse géographique du campus ENSICA : 1, place Émile Blouin - Toulouse  
Tél. : 33 (0)5 61 33 80 80 - Télécopie : 33 (0)5 61 33 83 30 - Site Internet : [www.isae.fr](http://www.isae.fr)