

3ème année formation SUPAERO

Année scolaire 2012-2013

Sommaire

3ème année formation SUPAERO	2
Présentation	2
Présentation du domaine	3
Présentation de l'approfondissement.....	4
Parcours de formation et projet professionnel	5
Masters 2 Recherche	6
Les conférences d'entreprises	6
Conditions de validation	7
Tronc commun.....	8
Les domaines	10
Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE)	10
Domaine Systèmes embarqués (SEM)	13
Domaine Systèmes Energétiques (SEN)	16
Domaine Système Intelligents et Décision (SID)	19
Domaine systèmes complexes et simulation (SXS).....	22
Domaine Systèmes Spatiaux (SSP).....	25
Les approfondissements.....	29
Approfondissement Aérodynamique (AE)	29
Approfondissement Sciences de l'Univers (SU)	33
Approfondissement Automatique (AU).....	37
Approfondissement génie industriel (GI).....	40
Approfondissement Ingénierie Financière (IF)	43
Approfondissement Systèmes Informatiques (IN).....	47
Approfondissement Propulsion (PR).....	52
Approfondissement Signal et Image (SI)	56
Approfondissement Structures (ST)	59
Approfondissement Télécommunications, Navigation (TN).....	62

3ème année formation SUPAERO

Responsable de programmes : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Inspecteur d'étude : Serge QUEHAN, Sophie MARRONNIER

Présentation

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

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

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

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

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

Présentation du domaine

• Qu'est-ce qu'un domaine ?

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

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

La liste des domaines et des professeurs responsables est :

SAE - Systèmes Aéronautiques - Y. Gourinat
SEM - Systèmes Embarqués - J. Cardoso
SEN - Systèmes Energétiques - N. Garcia Rosa
SID - Systèmes Intelligents et Décision - E. Rachelson
SSP - Systèmes Spatiaux - B. Escudier
SXS - Systèmes complexes et Simulation - D. Matignon

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

• Préciser le secteur industriel de référence

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

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

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

• Le périmètre scientifique et les prérequis

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

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

• Composition du domaine

Le domaine est constitué de 180 heures de cours, petites classes, TP et autres activités programmées obligatoires hors conférences industrielles communes qui s'ajoutent à 150 heures de tronc commun (90 heures de Langues Vivantes et 60 heures de management) et 240 heures pour l'approfondissement, soit un total de 570 heures programmées pour deux trimestres.

Le domaine comprend nécessairement :

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

Il comprend généralement certains cours prolongeant les disciplines du périmètre disciplinaire et les appliquant aux systèmes de référence. Il comprend exceptionnellement et de façon limitée des cours disciplinaires indispensables à la simple compréhension des cours précédents et qui ne pourraient trouver leur place dans le Tronc Commun Scientifique et Technique des deux premières Années.

Présentation de l'approfondissement

• Principes généraux

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

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

• Modalités générales de construction des approfondissements

- Durée : 240 heures
- Ouverture sur le maximum de domaines utilisant effectivement la discipline
- Cours de base dans la discipline en approfondissement du tronc commun
- Cours avancés dans la discipline
- BE ou projets d'application
- Retour en application de la discipline vers le domaine

• Liste des approfondissements et des professeurs responsables

AE - Aérodynamique - A. Bonnet
 AU - Automatique - F. Dehais
 IN - Systèmes Informatiques - C. Garion / Jérôme Hugues
 IF - Ingénierie Financière - L. Germain
 GI - Génie industriel - A. Haït
 PR - Propulsion - J. Gressier
 SI - Signal et Image - E. Zenou
 ST - Structures - J. Morlier
 SU - Sciences de l'univers - D. Mimoun
 TN - Télécommunications, Navigation - J. Radzik

Parcours de formation et projet professionnel

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

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

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

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

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

Les nombreux contacts qu'entretient SUPAERO avec les industriels et les laboratoires de recherches permettent donc de proposer aux étudiants des projets de fin d'études, à caractère industriel ou orientés vers la recherche pour poursuivre éventuellement les études par une formation par la recherche (doctorat). Enfin, SUPAERO entretient également des partenariats avec les principales universités étrangères dans le secteur aérospatial (MIT, Stanford, GeorgiaTech,,... aux USA, Cranfield University, TU Delft, TUM... en Europe). Il est donc tout-à-fait possible d'effectuer son projet de fin d'études à l'étranger. Cela permet de rendre compatibles à un étudiant de l'X le choix de SUPAERO comme école d'application et d'une expérience à l'étranger.

Formations complémentaires

La formation SUPAERO offre des opportunités de parcours diversifiés permettant d'acquérir des compétences complémentaires.

Les étudiants peuvent ainsi :

- Renforcer leur vision système en suivant une formation optionnelle préparant à la certification internationale INCOSE (niveau ASEP).
- Appréhender le secteur de la gestion et de l'ingénierie financière en suivant une formation complémentaire intensive et optionnelle conduisant au Diplôme d'Etudes Supérieures en Ingénierie des Affaires, diplôme qui permet d'acquérir des compétences managériales et prépare aux métiers du conseil, de la banque et de la finance ainsi qu'aux métiers de l'ingénierie des affaires et de projets.
- Acquérir des compétences sur le thème du management de l'innovation dans le cadre d'un certificat commun avec HEC.

Masters 2 Recherche

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

Masters en co-habilitation

Mention Informatique – 1 spécialité :

- Informatique et Télécommunication (IT)

Mention Mathématiques et applications - 1 spécialité :

- Mathématiques Fondamentales et Appliquées (MFA)

Mention Génie mécanique en aéronautique - 1 spécialité :

- Génie Mécanique (GM)

Mention Mécanique, Energétique - 1 spécialité :

- Dynamique des fluides, Energétique et Transferts (DET)

Mention Physique et Astrophysique - 1 spécialité :

- Astrophysique, Sciences de l'Espace et Planétologie (ASEP)

Convention ENS Cachan

Master information, systèmes et technologie, spécialité : automatique et traitement du signal et des images

Les conférences d'entreprises

Les étudiants de SUPAERO ont de multiples occasions de découvrir les entreprises, notamment à travers l'enseignement grâce à l'intervention de nombreux vacataires venus de l'industrie et des services.

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

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

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

Conditions de validation

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

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

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

Tronc commun

Stratégie d'entreprise

EG300

Responsable du module : Pierre JEANBLANC

Volume horaire: 20 h

Ects: 1

Descriptif

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

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

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

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

Intelligence économique

EG301

Responsable du module : Stéphane Aznar

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Pierre JEANBLANC

Ects: 0.5

Descriptif

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

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

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

Langue vivante 1 - anglais

LV310

Responsables du module : Jean-Claude JACQUES, Anne O'MAHONEY, Claude ALLARD

Volume horaire: 47.5 h

Ects: 2

Descriptif

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

Langue vivante 1

LV311-LV319

Responsables du module : Jean-Claude JACQUES, Ausias GAMISANS

Volume horaire: 42,5 h

Ects: 2

Descriptif

LV1 autre que l'anglais

Langue vivante 2

LV320-LV329

Responsable du module : Jean-Claude JACQUES, Ausias GAMISANS

Volume horaire: 42.5 h

Ects: 1

Descriptif

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

Cycle de conférences 3A

XX301

Responsable du module : Laurence JEANTON

Volume horaire: 10 h

Ects: 0.5

Descriptif

Le module "cycle de conférences" de la formation SUPAERO a pour vocation d'aborder des thématiques et des sujets qui élargissent et complètent le champ académique classique du cursus ingénieur.

Les conférences sont proposées autour de trois thématiques :

- enjeux scientifiques et techniques
- économie et entreprises
- arts, culture et société

Projet de fin d'études

PFE

Responsable du module : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 24

Descriptif

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

Les domaines

Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE)

• Présentation du domaine

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

• Débouchés du domaine

Les débouchés correspondants peuvent être présentés comme suit :

- Les itinéraires, SAE/AE et SAE/ST, qui ont fait leurs preuves depuis des années, mènent aux métiers de conception structure, aérodynamique et calcul en avant-projet en bureaux d'étude et certification des aéronefs ;

- Les itinéraires SAE/AU et SAE/IN permettent de former des ingénieurs ayant une compétence dans les domaines de la mécanique du vol, des commandes de vol, des performances et des équipements avioniques ;

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

• Modules du domaine

Avionique

AU310

Responsables du module : Jean-Charles CHAUDEMAR, M BOITREL.

Volume horaire: 16.25 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Stratégie de développement des avions civils

DV310

Responsable du module : Georges VILLE

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jean-Luc BOIFFIER

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Conception hélicoptères

DV311

Responsable du module : D. Casolaro

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Yves GOURINAT

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

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

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

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

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

Conception des avions de transport commerciaux

DV312

Responsable du module : C. BLONDEL

Volume horaire: 22.5 h

Correspondant ISAE : Jean-Luc BOIFFIER

Ects: 1.5

Descriptif

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

Optimisation des systèmes

GI310

Responsable du module : G. VERFAILLIE

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Production aéronautique

GI312

Responsable du module : O FERRANT.

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 0.5

Descriptif

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

Illustration avec le programme Falcon 7X de Dassault Aviation.

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

Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement

IS311

Responsable du module : Jean François GAJEWSKI

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Motorisation des aéronefs

PE310

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 18.75 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Aéroélasticité

SM310

Responsable du module : Adrien PAVIE

Volume horaire: 15 h

Correspondant ISAE : Joseph MORLIER

Ects: 0.5

Descriptif

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

Projet SAE

XX311

Responsable du module : Yves GOURINAT

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Domaine Systèmes embarqués (SEM)

• Présentation du domaine

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

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

• Débouchés du domaine

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

Les itinéraires privilégiés de formation SEM/AU, SEM/IN et SEM/TN contribuent à former des ingénieurs ayant des compétences respectives en modélisation et système de commande contrôle, en logiciel embarqué, et en électronique et systèmes de communication.

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

• Modules du domaine

Opération et supervision

AU311

Responsable du module : Frédéric DEHAIS

Volume horaire: 17.5 h

Ects: 1

Descriptif

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

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

Ects: 1

Systèmes embarqués "avioniques"

AU312

Responsables du module : Jean-Charles CHAUDEMAR, M BOITREL.

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Le but de cet enseignement est de familiariser les élèves aux vocabulaires avioniques et d'y associer, dans une première partie, des stratégies de conception propres à l'industriel AIRBUS. Une seconde partie du cours présente les spécificités des systèmes embarqués avioniques dans le domaine spatial.

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

Application robotique dronique

AU313

Responsable du module : C LESIRE-CABANIOLS

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

Ects: 0.5

Descriptif

Ce BE permet de mettre en œuvre les concepts de modélisation et de planification de mission vus dans le domaine SEM.

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

Capteurs et actionneurs

AU314

Responsable du module : Jean-Charles CHAUDEMAR

Volume horaire: 10 h

Ects: 0.5

Descriptif

Cet enseignement vise à montrer l'importance d'une spécification claire et précise pour la conception d'un système embarqué. Une grande part de la difficulté de développement des systèmes embarqués réside dans les problématiques d'analyse et de conception de ces systèmes. Le découpage en exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles fait l'objet de nombreux compromis entre les différents acteurs d'un projet. La phase de conception s'appuie sur des outils informatisés et des méthodologies spécifiques aux domaines applicatifs.

Cet enseignement présente une méthode de spécification formelle de systèmes embarqués appelée Event-B.

Contraintes et intégration

ET310

Responsable du module : Damienne BAJON

Volume horaire: 22.5 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

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

Optimisation pour les systèmes embarqués

GI313

Responsable du module : Janette CARDOSO

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

L'objectif de ce cours est :

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

Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques

GI314

Responsable du module : Christel SEGUIN

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Conception des systèmes cyber-physiques

IN310

Responsables du module : Janette CARDOSO, G. DURRIEU

Volume horaire: 35 h

Ects: 2.5

Projet SEM

XX312

Responsable du module : Janette CARDOSO

Volume horaire: 30 h

Ects: 2.5

Domaine Systèmes Energétiques (SEN)

• Présentation du domaine

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

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

• Débouchés du domaine

Ce type de profil est très recherché par :

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

• Modules du domaine

Optimisation des systèmes

GI310

Responsable du module : G. VERFAILLIE

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement

IS311

Responsable du module : Jean François GAJEWSKI

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Thermodynamique, Cycles et performances

PE311

Responsable du module : Nicolas GARCIA ROSA

Volume horaire: 40 h

Ects: 2.5

Descriptif

Ce cours détaille les performances thermodynamiques de différents types de cycle pour la génération de puissance, en particulier la turbine à gaz et moteur à piston. Les architectures et les choix technologiques seront détaillés en lien avec les performances et efficacité des différents systèmes. Une sensibilisation aux phénomènes de combustion sera donnée pour aborder la problématique des polluants.

Intégration des systèmes de propulsion

PE313

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 11.25 h

Ects: 0.5

Descriptif

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

Energie et environnement

PE315

Responsable du module : Nicolas GARCIA ROSA

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Cet enseignement fait le bilan des ressources énergétiques actuelles (pétrole, gaz, énergie électrique, énergies renouvelables..), présente les différentes techniques de production, de distribution et de gestion et l'impact de ces énergies sur l'environnement et le changement climatique. Différentes solutions alternatives pour le futur (hydrogène, carburants alternatifs, solaire, éolien, mix énergétique...) sont analysées. En particulier les solutions possibles en aéronautique sont abordées par des interventions des motoristes et des avionneurs.

Energie Nucléaire, pile à combustible

PE316

Responsable du module : Jacques BERNARD

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Nicolas GARCIA ROSA

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Mécatronique

PE317

Responsable du module : Pierre MAGNAN

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Nicolas GARCIA ROSA

Ects: 1

Descriptif

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

Responsable du module : Pierre MILLAN**Volume horaire**: 20 h**Correspondant ISAE** : Jérémie GRESSIER**Ects**: 1.5**Descriptif**

Un des objectifs de cet enseignement est de donner les bases de la compréhension des différents transferts de chaleur intervenant dans un système énergétique : moteur de fusée, turboréacteur ou turbine à gaz, moteur à explosion.

Il a pour but de décrire les trois modes de transfert de chaleur : conduction, rayonnement et convection tant d'un point de vue local que global, en régime stationnaire et instationnaire. Cette description montrera les champs d'application et les limites de ces analyses du transfert de chaleur, nécessaires pour des approches amont ou applicatives (de type industrielles) du couplage de ces trois modes de transfert.

Projet SEN**Responsable du module** : Nicolas GARCIA ROSA**Volume horaire**: 20 h**Ects**: 1.5**Descriptif**

L'objectif de ce module est d'approfondir les thématiques traitées en cours à travers un projet interdisciplinaire, en équipes de 4 à 5 élèves.

Des sujets pouvant allier étude bibliographique, modélisation de système, étude de faisabilité ou pré-dimensionnement sont proposés sur des thèmes d'actualité ayant attrait à la thématique générale du domaine sur les systèmes énergétiques et leur impact sur l'environnement.

Domaine Système Intelligents et Décision (SID)

• Présentation du domaine

Le domaine Systèmes Intelligents et Décision est une réponse au besoin croissant d'ingénieurs formés aux méthodes d'optimisation et d'aide à la décision dans l'industrie. Le monde industriel s'est durci et complexifié (contraintes techniques, économiques, financières, légales, environnementales) et la prise de décision dépasse souvent la seule capacité d'analyse humaine. Ces décisions, tant au niveau stratégique qu'opérationnel ou technique, doivent aujourd'hui s'appuyer, non seulement sur les capacités d'analyse et de synthèse reconnues aux ingénieurs, mais aussi sur des outils techniques et mathématiques spécifiques, permettant d'accéder à l'information, de modéliser les processus et d'optimiser les décisions prises.

Le domaine Systèmes Intelligents et Décision fournit un socle de compétences et d'outils déclinés sur trois modules piliers, mis en pratique durant un projet long et illustrés par des retours d'expérience et des échanges avec les acteurs industriels. Ces trois modules centraux traitent de :

- L'optimisation et la recherche opérationnelle. Outil essentiel des décideurs et des métiers de l'optimisation, tant sur les aspects de conception (e.g. conception mécanique, optimisation des modes de fonctionnement) que sur les problèmes opérationnels (e.g. conduite de production, optimisation logistique, gestion de réservations aériennes) ou stratégiques (e.g. investissements sur les marchés).
- La théorie de la décision et les systèmes intelligents artificiels. A l'interface entre automatique, mathématiques et informatique, les disciplines de la théorie de la décision et de l'intelligence artificielle fournissent des outils de modélisation et de prise de décision. On s'intéressera en particulier aux problèmes de décision dans l'incertain, multi-sources et multi-critères.
- La Statistique et l'Apprentissage. L'ingénieur est souvent confronté à des quantités massives de données. Le module suit la chaîne de l'information, de l'accès aux bases de données à leur traitement par les méthodes de la Statistique et les méthodes « intelligentes » de l'Apprentissage Statistique.

• Débouchés du domaine

Le domaine Systèmes Intelligents et Décision fournit un faisceau de compétences permettant à l'ingénieur de se confronter aux problématiques méthodologiques et techniques des problèmes de décision. Des postes aussi divers qu'optimisation pour le trafic aérien, optimisation des flux logistiques ou de la production, analyste prévisionnel pour la demande énergétique ou pour les marchés, conception de systèmes de réservation de transports, conception de systèmes intelligents artificiels en robotique, recherche en optimisation ou en intelligence artificielle, etc.

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

- « Ingénierie Financière » qui ouvre aux métiers de la finance (finance d'entreprise, gestion des risques financiers, finance de marché, audit financier) ;
- « Génie industriel » qui est centré sur les problèmes de maîtrise des flux, autant internes qu'externes, dans l'entreprise ;
- « Systèmes Informatiques » s'intéressant plus précisément à l'architecture et à la conception des systèmes informatiques ;
- « Automatique » qui traite plus spécifiquement de la conception et du contrôle d'engins et de systèmes.
- « Signal et Image » qui s'intéresse aux questions de traitement de l'information et du signal.

Par ailleurs, le domaine SID permet des passerelles vers le M2R de Recherche Opérationnelle et celui de Mathématiques Appliquées (équivalences de cours) ainsi que ceux d'Intelligence Artificielle et d'Automatique (via les approfondissements correspondants).

• **Modules du domaine**

Optimisation et Recherche Opérationnelle

GI316

Responsables du module : Alain HAIT, G. VERFAILLIE

Volume horaire: 40 h

Ects: 3

Descriptif

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

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

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

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

Méthodes et outils pour la décision

GI317

Responsable du module : P. FABIANI

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Emmanuel RACHELSON

Ects: 2.5

Descriptif

Ce cours présente des méthodes et outils pour la modélisation et la résolution de problèmes de décision issus de travaux en économie, mathématiques appliquées, recherche opérationnelle ou intelligence artificielle. Une formalisation courante et générique de la décision est présentée et critiquée. La problématique de la décision multi-critères est approfondie ainsi que les problèmes de décision séquentielle et en présence d'incertitudes. L'approche Bayésienne est développée, car la plus utilisée actuellement. Les notions de base en probabilités sont fréquemment utilisées dans ce cours. Les approches alternatives aux probabilités sont présentées. On utilisera des outils de programmation linéaire et d'optimisation. Le schéma de la programmation dynamique est également utilisé pour la définition d'algorithmes pratique de résolution de problèmes de décision séquentielle.

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

Statistiques, apprentissage et données

GI318

Responsable du module : M. Vignes

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Emmanuel RACHELSON

Ects: 3

SID dans l'industrie

GI319

Responsable du module : Emmanuel RACHELSON

Volume horaire: 10 h

Ects: 1

Responsables du module : Stéphanie LIZY-DESTREZ, K. Kanoun**Volume horaire**: 20 h**Ects**: 1.5**Descriptif**

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

L'enseignement est structuré en cours et en BE.

Le cours (6 séances, 7h1/2) a pour objet de donner aux élèves une vue d'ensemble des enjeux et problèmes de la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques, ainsi que des solutions actuelles. Le cours comporte 6 chapitres : concepts de base et terminologie associée, entraves à la sûreté de fonctionnement (fautes, erreurs, défaillances), élimination des fautes, prévision des fautes, tolérance aux fautes, développement de systèmes sûrs de fonctionnement.

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

Projet SID**XX314****Responsable du module** : Emmanuel RACHELSON**Volume horaire**: 40 h**Ects**: 2

Domaine systèmes complexes et simulation (SXS)

• Présentation du domaine

L'enseignement du domaine vise à compléter la formation des étudiants par des savoirs et des savoir-faire leur permettant de se positionner, dans un contexte scientifique et technologique exigeant, à l'articulation des différentes disciplines physiques intervenant dans l'élaboration d'un système complexe. Cet enseignement traite des problématiques de nature mathématique et informatique liées aux interactions entre disciplines physiques et/ou techniques.

L'idée essentielle est que l'élève ingénieur Supaero a acquis durant ses deux premières années une formation en apprentissage de physiques différenciées : mécanique des structures, aérodynamique et propulsion notamment, avec de solides connaissances en mathématiques appliquées (analyse numérique et EDP). Il dispose donc d'une formation unique qu'il pourra faire fructifier en abordant, au travers du domaine les problèmes contemporains de modélisation, de simulation et d'optimisation intervenant dans un contexte multi-physique.

Une partie essentielle de ce domaine offre des cours d'applications en prise directe avec les préoccupations des industriels, acteurs majeurs du calcul scientifique haute performance. Une partie plus académique permet d'aborder en profondeur les grands domaines scientifiques que sont l'analyse et la modélisation multi-échelles, la modélisation multi-physique, l'optimisation et enfin, l'informatique parallèle et distribuée utilisée pour le calcul haute performance (HPC).

• Débouchés du domaine

Les partenaires industriels du domaine sont des leaders de l'industrie aéronautique et spatiale, en phase avec l'orientation thématique de l'Ecole. Plusieurs partenaires (Thales, EADS, et Onera notamment) ont par ailleurs de fortes interactions avec le Ministère de la Défense.

Chacun des partenaires s'est engagé à proposer un sujet de Projet de Fin d'Etude, à l'intention particulière des étudiants ayant suivi ce domaine (EADS, Airbus, AREVA, THALES, TOTAL, OPTIMUS, C&S, ONERA, METEO-France, IMFT, CLS)

• Parcours recherche associé

Ce domaine donne aussi la possibilité de suivre en parallèle le master de recherche en mathématiques fondamentales et appliquées cohabilité avec l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

• Modules du domaine

Modèles multiphysique et multi-échelle

MA310

Responsable du module : P. Degond

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 2

Descriptif

Ce module comporte deux parties :

* Les systèmes complexes désignent les systèmes comprenant un grand nombre d'agents en interaction qui présentent des phénomènes d'auto-organisation ainsi qu'une structure multi-échelle. Les exemples se rencontrent dans toutes les domaines, depuis l'étude de la matière inanimée jusqu'au vivant et aux systèmes sociaux. L'étude des systèmes complexes est fondée sur la théorie classique des systèmes de particules en interaction, tout en présentant de nouveaux défis qui remettent en questions les concepts classiques.

Dans ce cours, nous proposerons une revue générale de la hiérarchie des modèles utilisés pour décrire les

systèmes de particules en proposant de nombreux exemples, pris dans des domaines divers (dynamique des gaz raréfiés, plasmas, interactions sociales). Le plan en est les suivants :

Exemples de systèmes de particules

- Modèles cinétiques et passage particules -> cinétique : limite champ moyen, équation de Boltzmann et modèle BGK.

- Modèles fluides et passage cinétique -> fluide : limite hydrodynamique, équations d'Euler, corrections diffusives, équations de Navier-Stokes ; limites de diffusion

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

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

Méthodes numériques de l'ingénieur

MA311

Responsable du module : F. ROGIER

Volume horaire: 35 h

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 2

Descriptif

Après une introduction sur la stabilité des schémas numériques aux différences finies pour les EDO et surtout les EDP (2 blocs), la première partie (6 blocs) concerne des compléments sur la méthode des éléments finis (FEM): applications en élasticité et en élastodynamique.

La seconde partie (6 blocs) s'intéresse à des modèles de propagation des ondes électromagnétiques.

Ce cours se compose de 10 blocs de cours et de 4 blocs de BE sous Matlab.

EDP avancées

MA312

Responsable du module : Guillaume DUFOUR

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Calcul haute performance

MA313

Responsable du module : Pierre SIRON

Volume horaire: 30 h

Ects: 2.5

Optimisation multiobjectif, problèmes inverses

MA314

Responsable du module : Pierre MARECHAL

Volume horaire: 25 h

Ects: 2

Descriptif

Ce module aborde deux sujets d'optimisation importants pour l'ingénieur :

- les problèmes inverses, tels que l'identification de paramètres dans un modèle linéaire en dimension finie ou infinie, avec une application à la tomographie. (10h)
- l'optimisation de fonctionnelles en contrôle optimal, et l'optimisation multi-objectifs, équilibre de Nash et algorithme de descente multi-gradient (MGDA) (15h)

Deux BE permettent la mise en pratique de ces diverses notions.

Sûreté de fonctionnement

MA315

Responsable du module : F. Mangeant

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Denis MATIGNON

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est conduit par un responsable de R&D chez EADS IW, spécialisé dans la modélisation aléatoire en vue d'étudier la fiabilité et la robustesse.

Les cours sont déclinés selon ces divers aspects et font une place aux BE d'application.

Projet SXS

XX315

Responsable du module : Denis MATIGNON

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Des sujets pluri disciplinaires sont proposés par groupes de 3 à 5 étudiants, leur champ d'application est soit l'aérodynamique, soit la mécanique, soit le contrôle, soit les sciences de l'univers, soit la météo, ... Tous les sujets comportent nécessairement une phase de modélisation, une phase de choix de méthode avec mise en œuvre numérique, pouvant aller jusqu'à la mise en place de méthodes du calcul haute performance.

Chaque mini-projet donne lieu à l'écriture d'un rapport et à une présentation orale.

L'ensemble des autres UF, ainsi que des intervenants extérieurs, éventuellement industriels, est largement impliqué dans l'encadrement de ces sujets, ce qui permet d'assurer une diversité disciplinaire certaine.

Domaine Systèmes Spatiaux (SSP)

• Présentation du domaine

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

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

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

• Débouchés du domaine

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

• Organisation et pédagogie

Le programme comporte 180 heures d'enseignements scientifiques et techniques, théoriques et pratiques ainsi qu'un projet. Les enseignements théoriques s'appuient sur des cours magistraux et des bureaux d'études qui permettent d'appliquer les connaissances présentées. Des mini-projets ou BE longs permettent à l'étudiant de mettre en œuvre et développer le contenu des enseignements au travers d'études bibliographiques, études d'avant-projet, travaux de simulation,...

Un projet de domaine en analyse mission est conduit en groupe et apporte une expérience enrichissante au niveau du travail en équipe et de la conduite de projet.

• Modules du domaine

Optimisation combinatoire

GI315

Responsable du module : H. Fargnier

Volume horaire: 25 h

Correspondant ISAE : Emmanuel RACHELSON

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

décision.

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

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

Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement

IS311

Responsable du module : Jean francois GAJEWSKI

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Systèmes spatiaux

IS312

Responsable du module : Michel VIEILLEFOSSE

Volume horaire: 16.25 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

Descriptif

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

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

Environnement spatial et effets

IS313

Responsable du module : A SICARD

Volume horaire: 13.75 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

Descriptif

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

Dynamique et commande d'attitude

IS314

Responsable du module : Stéphane BERRIVIN

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1

Descriptif

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

Analyse mission et mécanique spatiale

IS315

Responsable du module : Bénédicte ESCUDIER

Volume horaire: 17 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Imagerie spatiale

IS316

Responsable du module : P. Kubik

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1.5

Descriptif

L'objectif de ce cours est de traiter « l'Imagerie Spatiale : Qualité Image des Systèmes Optiques d'Observation de la Terre » sous l'angle système. En effet, une image spatiale est l'objectif premier de tout système d'observation de la Terre et sa « qualité » synthétise l'ensemble des performances de la chaîne image dans sa globalité : bord, sol et traitements.

Le contenu du cours montre comment les différents éléments d'un système d'observation de la terre sont dimensionnés à partir d'un objectif de mission de télédétection donné, celui-ci étant la traduction directe du besoin des utilisateurs, et comment les performances de ces éléments se traduisent sur la qualité (géométrique, radio métrique) de l'image spatiale obtenue et les moyens mis en oeuvre à tous les niveaux pour obtenir les meilleures performances image.

Aspects juridiques et économiques

IS317

Responsables du module : Bénédicte ESCUDIER, Michel BOUSQUET

Volume horaire: 11.25 h

Ects: 0.5

Descriptif

Le premier objectif de ce module est de sensibiliser les étudiants au droit et à la réglementation spatiale et à leurs implications (gestion des fréquences, débris spatiaux..), aux aspects institutionnels et contractuels des projets spatiaux.

Les caractéristiques des marchés spatiaux seront présentées en prenant un exemple, tel que le marché des images satellitaires.

Télécommunications spatiales

IS318

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est une introduction aux systèmes de communication par satellites. Il présente deux aspects : le dimensionnement de la liaison radioélectrique, les modes d'échange d'information sur cette liaison.

Il s'agit d'abord de présenter les principes des techniques de traitement (numérisation, multiplexage, etc.) et de transmission (modulation, codage, etc.) des signaux et de l'information pour les liaisons à bord des véhicules spatiaux et les liaisons bord-sol. Ceci permettra de calculer les bilans de liaison et de dimensionner l'architecture des communications d'un système satellitaire.

Conception des satellites

IS319

Responsable du module : Bernard MENA

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 0.5

Descriptif

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

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

Conception lanceurs

IS320

Responsable du module : V. CAZES

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Ects: 1.5

Descriptif

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

Les approfondissements

Approfondissement Aérodynamique (AE)

• Présentation de l'approfondissement

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

Deux classes d'enseignements composent l'approfondissement.

L'une est dédiée à l'étude détaillée de domaines spécifiques de l'Aérodynamique : effets instationnaires, aérodynamique aux grandes vitesses allant du régime supersonique à hypersonique, stabilité des écoulements avec notamment la physique, modélisation et calcul de la turbulence, l'aérodynamique numérique, l'aéroacoustique.

L'autre classe est consacrée à l'étude de l'aérodynamique à travers un produit : aérodynamique des hélices, éoliennes ou rotors d'hélicoptères, aérodynamique des missiles ou des lanceurs, aérodynamique des turbomachines, aérodynamique de l'avion. Certains enseignements sont communs aux approfondissements «Aérodynamique» et «Propulsion» : c'est le cas du cours «Aéroacoustique», ainsi qu'une partie de «Aérodynamique numérique» ou de «Stabilité, Turbulence, modélisation, calcul» qui diffèrent, ensuite, par les applications distinctes. Ceci montre bien que l'Aérodynamique doit être considérée comme une discipline de base dans laquelle il est nécessaire de proposer une formation très pointue mais qu'elle n'est pas isolée et qu'elle doit être associée à d'autres disciplines pour contribuer à l'élaboration d'un produit.

• Débouchés et parcours recherche associé

La nouvelle définition de la formation universitaire s'articule autour de la licence, de la maîtrise et du doctorat (LMD) avec des étapes au bout de 3, 5 et 8 ans (système 3-5-8). Les élèves ingénieurs de SUPAERO peuvent s'intégrer complètement dans ce système, avec le parcours «classes prépa+1ère année = L», «2ème+3ème année avec M2R=M», «thèse=D». Dans les domaines qui nous intéressent, l'Ecole est associée à d'autres établissements pour délivrer le diplôme de M2R. Le M2R «Dynamique des Fluides, Energétique et Transferts» ou M2R DET de façon abrégée, comprend en fait trois filières, soit Dynamique des Fluides, soit Energétique et Transferts ou, de création récente, Mécanique des Fluides pour l'Environnement. Chacune de ces trois filières contient un tronc commun de 4 cours de 15 heures, que doivent suivre tous les étudiants inscrits au M2R DET, plus 5 cours optionnels faisant au moins 100 h et enfin un stage de recherche de 5 mois. Pour SUPAERO, afin de ne pas alourdir un emploi du temps très chargé, les cours optionnels peuvent être choisis au sein d'une partie des cours de l'approfondissement «Aérodynamique». Le stage peut être réalisé dans un laboratoire ou dans l'industrie à la condition, dans ce dernier cas, qu'une part très significative soit consacrée à une étude de recherche. En cas de doute, le correspondant SUPAERO du M2R DET pourra aiguiller l'étudiant qui hésite. Il est possible de visiter le site du M2R DET à l'adresse :

<https://sites.google.com/site/m2rdet/>

Grâce à la formation générale reçue par ailleurs, les ingénieurs issus de l'approfondissement «Aérodynamique» ont accès à une très grande variété de postes dans l'industrie. En outre, la formation acquise dans l'approfondissement donne accès à des débouchés spécifiques notamment dans les secteurs R et D de l'industrie dans divers domaines, comme l'aéronautique, l'automobile, ou autre. L'ouverture sur la

Recherche, avec l'obtention du M2R et éventuellement d'une thèse, permet aux ingénieurs de se placer encore mieux sur ce marché car les industriels ont pris conscience que, dans ces secteurs, la formation par la Recherche apporte un complément de grande qualité.... Cette formation par la recherche met également les SUPAERO sur le même pied d'égalité que leurs homologues anglo-saxons qui passent tous par l'enchaînement Master of Science, puis PhD.

• Modules de l'approfondissement

Aérodynamique instationnaire

AE320

Responsables du module : Allan BONNET, C. Despre - Flachard

Volume horaire: 30 h

Ects: 2.5

Descriptif

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

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

Turbulence, instabilités et transition

AE322

Responsable du module : Guillaume DUFOUR

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 2.5

Descriptif

La turbulence est un phénomène dynamique inhérent aux écoulements de fluide, qui pilote de nombreux phénomènes physiques (transferts pariétaux, mélange) dans de nombreuses situations (décollement, combustion). La simulation des écoulements turbulents (CFD) repose sur différents niveaux de modélisation. La connaissance phénomènes d'instabilités et de transition est nécessaire pour comprendre les chemins vers le régime turbulent.

À la fin de cours, l'étudiant:

- connaîtra les principales caractéristiques de la turbulence,
- sera sensibilisé à leur impact sur les grandeurs d'intérêt pour l'ingénieur,
- connaîtra les différents niveaux de modélisation de la turbulence en CFD,
- connaîtra les principes de l'approche statistique,
- sera familier avec les principaux modèles de turbulence utilisés dans l'industrie et leurs limitations,
- connaîtra les principaux mécanismes d'instabilités,
- et les principes fondamentaux et pratiques de la transition du laminaire au turbulent.

Étant donné le volume horaire restreint de ce cours par rapport au spectre ouvert, l'objectif est de sensibiliser les étudiants aux problématiques associées à la physique et la modélisation des écoulements turbulents sur un large éventail de thèmes, en aucun cas d'apporter une connaissance approfondie de ces thèmes.

Aérodynamique numérique

AE324

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Aérodynamique des hélices, éoliennes et rotors d'hélicoptères

AE325

Responsable du module : J.-M BOUSQUET

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Allan BONNET

Ects: 2

Descriptif

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

Aérodynamique des missiles et lanceurs

AE326

Responsable du module : D. PAGAN

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Jean-Marc MOSCHETTA

Ects: 2

Descriptif

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

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

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

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

Une séance est consacrée à un TP en soufflerie.

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

Projet de synthèse

AE328

Responsable du module : Gilles GRONDIN

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Aérodynamique aux grandes vitesses

AE329

Responsable du module : Jean-Marc MOSCHETTA

Volume horaire: 30 h

Ects: 2.5

Descriptif

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

Aérodynamique avancée de l'avion

AE330

Responsable du module : Jean-Marc MOSCHETTA

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Aéroacoustique

PE422

Responsables du module : Franck SIMON, S. LEWY

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

Descriptif

Equation d'onde milieu au repos, ondes planes, ondes sphériques, impédances, analyse 1/3 d'octave, métrologie. Intensité acoustique: définition, technique de mesure, instrumentation, applications. unités acoustiques.

Propagation acoustique en milieu guidé : décomposition modale, fréquences de coupure, application aux conduits à section rectangulaire et circulaire.

Rayonnement sonore en champ libre.

Génération et propagation des sons d'interaction entre rotor et stator.

Aperçu sur les méthodes numériques et intérêt des modèles semi-empiriques.

Les différents types de ventilateurs et leurs caractéristiques aérauliques

Bruit des ventilateurs : origine du bruit de raies et large bande, moyens de réduction du bruit, lois de similitude, estimation du niveau de bruit, effets d'installation.

Turbomachines axiales

PE430

Responsable du module : Jean-Marc DUBOUÉ

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 0.5

Descriptif

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

Approfondissement Sciences de l'Univers (SU)

• Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement « Sciences de l'Univers, de l'Espace et de l'Environnement » est adossé principalement au domaine « Systèmes Spatiaux » (ce qui n'exclut pas d'autres domaines), ainsi qu'au Master Astrophysique, Sciences de l'Espace, Planétologie (ASEP) co-habilité entre l'Université Paul Sabatier et l'ISAE.

Il a pour objectif de dispenser une formation permettant d'appréhender les grandes questions actuelles de la physique des Sciences de l'Univers et de l'Espace, ainsi que de maîtriser les briques de base technologiques requises par les systèmes associés (charges utiles, satellites, systèmes spatiaux scientifiques).

• Débouchés et parcours recherche associé

Il constitue une voie privilégiée pour préparer une thèse au sein de l'Ecole doctorale SDUEE (Observatoire Midi Pyrénées, Université de Toulouse).

• Modules de l'approfondissement

Ingénierie des systèmes spatiaux scientifiques

IS321

Responsable du module : David MIMOUN

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Le cours « Ingénierie des systèmes spatiaux scientifiques » vise à répondre à la question suivante : comment, à partir d'une question scientifique, arrive-t-on à un concept de mission spatiale ? Dans quel contexte les systèmes spatiaux scientifiques se développent-ils et comment ?

Il se découpe en 3 grandes parties

- Des questions scientifiques aux spécifications de haut niveau
- Les outils et les méthodes – Approche management et technique
- Application à une mission scientifique

Méthodes de l'instrumentation spatiale

IS330

Responsable du module : T. BERTHELON

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 3

Descriptif

Ce module donnera une description complète d'architecture générale d'un satellite pour une mission d'observation. L'objectif est de comprendre comment la charge utile influence sur la conception de la plateforme.

La première partie passera en revue les contraintes générales de la famille de plateforme géostationnaire avec en ligne avec une mission d'observation géostationnaire, qui aura été étudiée séparément. Les étudiants devront d'identifier et de dimensionner au premier ordre tous les sous-systèmes: Avionique, thermique, électrique, puissance, propulsion, de harnais, et charge utile. Basé sur une solution de charge utile, un instrument télescope optique, l'étudiant devra définir par petit groupe d'une solution complète par sous-système et de définir une architecture générale du satellite d'observation géostationnaire. Une maquette physique est construite par groupe et la solution est présentée au cours d'une session spécifique.

La deuxième partie examinera l'environnement lié au lanceur afin de comprendre la conception mécanique du satellite et aussi d'avoir un aperçu des phases de développement et du plan de développement d'un satellite. Le lanceur Ariane 5 sera considéré comme référence.

La troisième partie se concentrera sur la conception détaillée de la structure, sur le choix des matériaux et des technologies. On passera en revue l'utilisation de composites. L'objectif est d'avoir une vue d'ensemble de tous les processus de fabrication de base.

La quatrième partie examinera très rapidement le dimensionnement des contraintes mécaniques et fera l'application sur un satellite complet permettant de faire une première estimation de l'ensemble des performances d'une structure.

Le travail se fera en groupe et l'objectif sera de fournir un design préliminaire pour une mission d'observation.

Transfert radiatif

IS331

Responsable du module : F. Patelou – R. Belmont

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 1.5

Descriptif

- Rappels d'électromagnétisme : potentiels de Liénard-Wiechert ; puissance rayonnée par une charge non-relativiste ; approximation dipolaire ; diffusions Thomson et Rayleigh
- Bremsstrahlung : électrons monocinétiques, Bremsstrahlung thermique
- Rayonnement synchrotron
- Diffusion Compton et Compton-inverse
- Transfert de rayonnement : définitions (intensité spécifique, flux, températures, fonction source) ; équation de transfert (ETR) et moments de l'ETR
- Solution formelle de l'équation de transfert : lois de Kirchoff-Bunsen ; approximation d'Eddington-Barbier, équations de Schwarzschild-Milne ; équilibre thermodynamique local (ETL)
- Equilibre radiatif : notion de température effective ; approximation de diffusion ; opacité de Rosseland ; le "cas gris" ; loi d'assombrissement centre-bord
- Opacités : bilan détaillé ; fonction de partition ; l'ion H-, équilibre statistique ; bases de la classification spectrale ; notions de transfert hors-ETL
- Elargissement des raies spectrales : élargissement naturel, élargissement Doppler/thermique, microturbulence, élargissement collisionnel, élargissement rotationnel - spectres stellaires
- Polarisation des raies spectrales

Physique des plasmas spatiaux

IS332

Responsable du module : G. Fruit

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 1.5

Descriptif

- Généralités sur les plasmas
- Description cinétique d'un plasma : équation de Vlasov - application à la couche de Harris
- Description fluide d'un plasma : MHD - Notion de champ gelé
- Introduction à la reconnexion magnétique
- Ondes dans les plasmas : modes haute fréquence (plasma froid) - modes basse fréquence (MHD)
- Ondes en plasmas chauds - Effet Landau

Structure et évolution des planètes telluriques

IS333

Responsables du module : R. Garcia

Volume horaire: 25 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 1.5

Descriptif

Structure des planètes telluriques

Ce cours décrit notre connaissance sur la structure interne des planètes telluriques à partir d'observations géophysiques et fournit une courte description de leur dynamique interne.

La géochimie et les équations d'état des matériaux constituant les planètes sont décrites en premier lieu.

Puis les contraintes d'ordre zéro sur la taille, la masse et le moment d'inertie polaire sont présentées à partir de l'étude de la dynamique orbitale des planètes et des phénomènes de marées.

Les relations entre leur champ de gravité et la structure crustale sont ensuite discutées. Puis, le champ magnétique interne des planètes et les contraintes sur son évolution sont décrits.

La sismologie planétaire est ensuite présentée comme un outil permettant d'obtenir la structure et la dynamique interne des planètes.

Finalement, les concepts des bases gouvernant la dynamique interne des planètes sont détaillés. •

Evolution des planètes telluriques

Ce cours illustre la démarche qui permet de reconstruire l'évolution globale d'une planète à partir des observations de surface (topographie, propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des surfaces).

Nous aborderons dans un premier temps le processus de cratérisation (physique des ondes de choc dans les solides), à la fois comment facteur d'évolution de tous les corps du système solaire, et comme outil chronologique permettant de retracer cette évolution.

Nous aborderons ensuite les phénomènes volcaniques et magmatiques témoins de l'évolution dynamique et thermique de l'intérieur planétaire.

Relativité générale et gravitation

IS334

Responsable du module : G. SOUCAIL – D. Baratoux

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 1.5

Descriptif

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

Méthodes avancées d'astrodynamique

IS335

Responsable du module : David MIMOUN

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

L'objectif de ce cours est de donner un aperçu des outils et des méthodes modernes d'astrodynamique.

- 1) Rappels mécanique céleste 1/2 (Approche classique, Viriel, problème à trois corps restreint)
 - 2) Rappels mécanique céleste 2/2 (Hamiltonien, Equations de Lagrange et Gauss, développement du potentiel en harmoniques sphériques) :
 - 3) Principales perturbations, développement de Kaula :
 - 4) Applications à classes d'orbites particulières
 - 5) Restitution d'orbite : la théorie générale
- court terme : orbites SLR, applications et ouverture aux autres techniques de géodésie spatiale

- long terme : analyse mission, prévision de dates de rentrée
- 6) Trajectoires interplanétaires "avancées"
- 7) Phénomènes de marée (problème du J2)
- 8) Grand Tack / dynamique du système solaire

Thermique spatiale

IS325

Responsable du module : R. BRIET

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : David MIMOUN

Ects: 1.5

Descriptif

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

Ce cours vise à décrire les grands principes et technologies utilisés pour le contrôle thermique des véhicules spatiaux.

Aérodynamique des véhicules spatiaux

AE341

Responsable du module : J.-L. Verant

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jean-Marc MOSCHETTA

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Projet long

IS327

Responsable du module : David MIMOUN

Volume horaire: 35 h

Ects: 3

Descriptif

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

Les projets peuvent permettre :

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

Approfondissement Automatique (AU)

• Présentation de l'approfondissement

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

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

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

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

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

• Débouchés et parcours recherche associé

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

• Modules de l'approfondissement

Estimation, filtrage et identification

AU320

Responsables du module : P. MOUYON, T. Lemoing

Volume horaire: 35 h

Correspondant ISAE : Daniel ALAZARD

Ects: 2.5

Outils pour la représentation et la conduite de systèmes à événements discrets **AU321****Responsable du module** : C. TESSIER **Volume horaire**: 25 h**Correspondant ISAE** : Frédéric DEHAIS **Ects**: 2.5**Descriptif**

L'objectif de ce module est de présenter quelques outils et concepts de base pour la conception de fonctions décisionnelles d'engins « autonomes » (drones, robots...) Les outils concernent essentiellement la représentation de systèmes à événements discrets, leurs propriétés, et leur mise en œuvre pour le raisonnement. Les fonctions décisionnelles de suivi de situation, planification, supervision sont décrites et illustrées sur de nombreux cas concrets. La supervision d'un drone est mise en œuvre dans le cadre d'un BE.

Informatique de commande temps réel **AU322****Responsable du module** : Jacques LAMAISON **Volume horaire**: 21.25 h**Correspondant ISAE** : Caroline BERARD **Ects**: 2.5**Descriptif**

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

Commande des systèmes **AU323****Responsables du module** : Daniel ALAZARD, Caroline BERARD **Volume horaire**: 36.25 h**Ects**: 2.5

Analyse et commande des systèmes non linéaires **AU324****Responsables du module** : P. MOUYON, J.-M. BIANNIC **Volume horaire**: 21.25 h**Correspondant ISAE** : Caroline BERARD **Ects**: 1.5

Représentation et analyse des systèmes dynamiques **AU325****Responsables du module** : Daniel ALAZARD, J.-M. BIANNIC **Volume horaire**: 21.25 h**Ects**: 1.5

Modélisation et commande des systèmes mécaniques complexes **AU326****Responsable du module** : Daniel ALAZARD **Volume horaire**: 21.25 h**Ects**: 1.5

Responsables du module : C. TESSIER, J.-M. BIANNIC, Stéphane BERRIVIN, Charles VALLET

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Caroline BERARD

Ects: 1.5

Etude de cas 1 (optionnel avec AU329)**AU328**

Responsable du module : F. TEICHTEIL

Volume horaire: 25 h

Correspondant ISAE : Frédéric DEHAIS

Ects: 2

Descriptif

Ce module a pour enjeu d'approfondir les connaissances acquises à travers une étude de cas (au choix) qui privilégie soit les aspects commandes la théorie d'analyse et de synthèse de lois de commande soit le domaine de la conduite et décision des systèmes.

Synthèse d'un pilote automatique d'avions : choix 1

Cette étude de cas à pour enjeux de mettre en oeuvre simplement et rapidement les différentes techniques de synthèse " moderne " multi-variable vue en cours. Il permet aussi de comparer très facilement ces techniques entre elles, dans la mesure où elles sont toujours appliquées au même exemple. Mais, au-delà de la simple comparaison, l'intérêt principal sur le plan méthodologique, sera de mettre en évidence les complémentarités entre les différentes techniques

Conception d'un système décisionnel coopératif en robotique terrestre : choix 2

Cette étude de cas vise à mettre en application et à approfondir les concepts de conduite et décision et de système embarqué appliqués à la robotique. En particulier, l'objectif est de se focaliser sur les problématiques de planification non déterministe dans le cadre d'une mission multi-robots supervisée par un opérateur humain. Cette étude de cas sera réalisée entièrement sur la plateforme robotique du DMIA.

Etude de cas 2 (optionnel avec AU328)**AU329**

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

Volume horaire: 25 h

Ects: 2

Approfondissement génie industriel (GI)

• Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement Logistique est centré sur la maîtrise de la trilogie « coûts, qualité, délais », essentielle pour assurer la compétitivité d'une entreprise. Il met principalement l'accent sur les problèmes de maîtrise des flux internes et externes de l'entreprise, problèmes qui sont devenus stratégiques du fait de la tension autour des systèmes de production.

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

• Débouchés et parcours recherche associé

Les métiers directement ouverts sont d'abord ceux liés directement à la production et la supply chain dans l'industrie : gestion de production, logistique, achats et relations fournisseurs, conception de systèmes de production, mise en place et évolution de systèmes d'information. Les sociétés de conseil et d'audit offrent également des postes très intéressants et formateurs.

Les élèves de l'approfondissement génie industriel qui ont choisi le domaine « Systèmes Intelligents et Décision » peuvent suivre le parcours « Recherche Opérationnelle » du M2R IT afin de compléter avantageusement leur formation. Par ailleurs, il est proposé de préparer le diplôme « Basics of Supply Chain Management » de la certification CPIM de l'APICS, reconnue dans le monde entier.

• Modules de l'approfondissement

Modélisation et simulation des systèmes production

GI321

Responsables du module : Alain HAIT, C. Chabriac

Volume horaire: 35 h

Ects: 3.5

Descriptif

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

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

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

Organisation et gestion de la production

GI322

Responsables du module : Alain HAIT, V. LAINEZ

Volume horaire: 45 h

Ects: 2.5

Descriptif

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

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

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

(approche MRP). L'extension à la planification dans les chaînes logistiques est abordée. Les approches à flux tirés (juste-à-temps, « lean manufacturing ») sont présentées et mises en œuvre lors d'un BE de réorganisation d'un atelier de production dans l'industrie automobile.

Logistique industrielle

GI323

Responsables du module : L FUENTES-COMBARIEU, U. Okwongu

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2.5

Descriptif

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

On étudiera ainsi

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

Mise en place d'un système d'information

GI324

Responsable du module : A. WILLEMONT

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

Descriptif

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

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

Management de la qualité

GI325

Responsables du module : S GILABERT, C GASQUET

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 1.5

Descriptif

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

Pilotage des coûts

GI326

Responsables du module : F. DOURNES, T MAZOIN

Volume horaire: 35 h

Correspondant ISAE : Alain HAIT

Ects: 2.5

Descriptif

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

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

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

Responsable du module : X. LOEFFEL**Volume horaire:** 10 h**Correspondant ISAE :** Alain HAIT**Ects:** 1**Descriptif**

Cet enseignement vise à donner aux futurs ingénieurs, qui vont être amenés à négocier dans tous les types de négociation, les réflexes, tactiques et méthodes destinées à mieux maîtriser et imposer leurs idées. Il leur apprendra également à mieux reconnaître et éviter les pièges en négociation. Il apportera aux futurs ingénieurs une assurance vis-à-vis de leurs interlocuteurs et une efficacité dans la défense de leurs intérêts ou points de vue. Il est plus spécifiquement conçu pour les industries de pointe et les réflexes spécifiques qu'elles nécessitent.

Parallèlement, un enseignement sur les achats est donné. Il est axé en particulier sur les procédures d'évaluation des fournisseurs (en liaison avec le cours de logistique industrielle).

Responsable du module : Stéphanie LIZY-DESTREZ**Volume horaire:** 15 h**Ects:** 1.5**Descriptif**

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

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

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

Responsable du module : F. BERGERET**Volume horaire:** 20 h**Correspondant ISAE :** Alain HAIT**Ects:** 1.5**Descriptif**

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

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

Approfondissement Ingénierie Financière (IF)

• Présentation de l'approfondissement

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

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

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

• Débouchés et parcours recherche associé

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

Un certain nombre d'entre eux poursuivent des études complémentaires ou poursuivent dans la recherche. L'approfondissement offre la possibilité de suivre le M2R de mathématiques appliquées (option probabilités et statistiques).

• Modules de l'approfondissement

Calcul stochastique pour la finance

MA420

Responsable du module : Herve BOCO

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 2.5

Descriptif

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

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

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

Evaluation et couverture des produits dérivés

MA421

Responsable du module : Nicolas NALPAS

Volume horaire: 25 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 2

Descriptif

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

Résolution numérique des E.D.P pour la finance

MA422

Responsable du module : Philippe VILLEDIEU

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1.5

Descriptif

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

Contenu indicatif du module : Modèle de Black-Scholes et ses variantes. Options européennes et américaines. Méthodes de Monte-Carlo et méthodes de différences-finies.

Apprentissage et applications financières

MA423

Responsable du module : Herve BOCO

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1.5

Descriptif

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

Maîtrise des risques financiers

MA424

Responsable du module : Daniel HERLEMONT

Volume horaire: 12.5 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est une introduction à la gestion des risques financiers dont l'objectif est d'identifier les source de risque, mesurer les risques et gérer les risques, notamment à travers la concept de Value at Risk (VaR).

le module consiste principalement en un projet d'implémentation de la VaR dans le cadre de la gestion d'un fond, en utilisant des données réelles. Il s'agira de comparer différentes méthodes de Value at Risk telles que la VaR historique et VaR paramétrique normale (RiskMetrics), ainsi que les approximations de type Cornish Fisher.

Microstructure des marchés financiers

MA425

Responsable du module : Laurent GERMAIN

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

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

Econométrie des séries temporelles

MA426

Responsable du module : Bernard GAREL

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 0.5

Descriptif

Objectifs du module :

Exposer les bases du traitement statistique des séries chronologiques utilisées couramment dans les modèles de prédiction les plus variés et, en particulier, dans les séries temporelles d'indicateurs économiques et financiers.

Aborder les techniques statistiques non-linéaires plus spécifiques à l'identification des modèles employés en

ingénierie financière.

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

Modèles ARCH en finance

MA427

Responsable du module : Anne VANHEMS

Volume horaire: 13.75 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 0.5

Descriptif

Objectifs du module :

Exposer les bases du traitement statistique des séries chronologiques utilisées couramment dans les modèles de prédiction les plus variés et, en particulier, dans les séries temporelles d'indicateurs économiques et financiers.

Aborder les techniques statistiques non-linéaires plus spécifiques à l'identification des modèles employés en ingénierie financière.

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

Statistique des processus en finance

MA428

Responsable du module : Aldéric Joulin

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1.5

Descriptif

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

Principes de finance de l'entreprise

MA429

Responsables du module : Philippe ROUSSELOT, E. Gray

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 2.5

Descriptif

Objectifs du module : Comprendre la formalisation de la théorie financière moderne de l'entreprise. Maîtriser les méthodes d'évaluation des projets d'investissement en particulier la construction et l'utilisation de modèles financiers. Connaître les critères de choix des modes de financements à moyen et long terme. Savoir calculer le coût du capital d'une entreprise et réaliser les analyses de sensibilité nécessaires à la définition d'un projet d'investissement.

Contenu indicatif du module : Modes de financement de l'entreprise. Définition du financement de projet, analyse de ses principales caractéristiques. Analyses des risques. Structure financière et coût du capital de l'entreprise. Politique de dividendes. Méthode de construction d'un modèle financier, étude de cas, préparation d'un dossier de financement type.

Gestion du risque de taux d'intérêt

MA430

Responsable du module : Herve BOCO

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1.5

Descriptif

Apprendre à connaître les différents taux d'intérêt cotés sur les marchés et leur interdépendance à travers la structure par terme des taux d'intérêt. Ce cours fournit aussi les outils pour valoriser les obligations à taux

fixes et variables ainsi que certains produits dérivés de taux (FRA, Swaps ...). Enfin, nous introduisons quelques modèles stochastiques de taux d'intérêt.

Fusions et acquisitions - risques financiers

MA431

Responsable du module : J.-F. VERDIÉ

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Laurent GERMAIN

Ects: 1

Descriptif

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

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

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

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

Approfondissement Systèmes Informatiques (IN)

• Présentation et organisation de l'approfondissement

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 – connaissance des systèmes d'exploitation, langages, standards – que scientifique – sémantique des langages, techniques de validation, vérification, prévue de logiciels.

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

Les modules de l'approfondissement couvrent le cycle de développement de systèmes complexes à travers plusieurs points de vue :

- 1) Mise en œuvre de systèmes : realtime operating systems, realtime programming languages ;
- 2) Conception, modélisation, architecture : model-driven engineering, software engineering , avionics and space architecture, security, networks ;
- 3) Validation et verification : 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 pour l'approfondissement.

• Débouchés et parcours recherche associé

S'il paraît évident que les élèves ingénieurs ayant suivi cet approfondissement pourront occuper naturellement des postes d'architectes ou de concepteurs de systèmes informatiques embarqués dans le milieu aéronautique ou spatial, le spectre des cours proposés leur permettra sans difficulté de s'insérer dans d'autres secteurs industriels : systèmes d'information, Direction Informatique de grande entreprise, Recherche et Développement en informatique.

L'informatique est également une discipline très vivante au niveau de la recherche fondamentale et appliquée. Les élèves pourront suivre les Masters Recherche suivants :

- 1) Master recherche Informatique et Télécommunications, parcours Intelligence Artificielle, Intelligence Collective, Interaction
- 2) Master recherche Informatique et Télécommunications, parcours Systèmes Répartis et Logiciel Critique

• Modules de l'approfondissement

Systèmes d'Exploitation et Systèmes d'Exploitation Temps-Réel

IN321

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

Volume horaire: 30 h

Ects: 2

Descriptif

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. Pour les bases seront détaillés la gestion des processus et de la mémoire et les appels systèmes disponibles depuis le

langage C. Pour les aspects temps réel seront abordés les services de la norme POSIX, le système d'exploitation temps réel libre RTEMS pour les systèmes embarqués et enfin le standard ARINC 653 pour les logiciels applicatifs avioniques, adopté notamment pour les architectures AMI (avionique modulaire intégrée).

Ordonnancement

IN322

Responsable du module : Ahlem MIFDAOUI

Volume horaire: 30 h

Ects: 2

Descriptif

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 ordonnable 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'ordonnabilité de tâches dans les systèmes aéronautiques.

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'ordonnabilité (Cheddar)
- ordonnancement multi-processeurs
- calcul des WCETs
- ordonnancement des messages pour les systèmes distribués : étude de cas pour les bus avioniques et automobile

Génie Logiciel

IN323

Responsable du module : Christophe GARION

Volume horaire: 25 h

Ects: 3

Descriptif

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, ...).

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.

Responsable du module : Christophe GARION**Volume horaire**: 30 h**Ects**: 2**Descriptif**

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:

- 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
- 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.

Langages de Programmation Temps-Réel**Responsable du module** : Jérôme HUGUES**Volume horaire**: 30 h**Ects**: 2**Descriptif**

La mise en œuvre 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 œuvre des systèmes temps réel.

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 œuvre 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.

Responsable du module : Jérôme HUGUES**Volume horaire:** 30 h**Ects:** 1**Descriptif**

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.

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

Réseaux**Responsable du module :** Fabrice FRANCES**Volume horaire:** 30 h**Ects:** 2**Descriptif**

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.

Sécurité Informatique**Responsable du module :** Pierre SIRON**Volume horaire:** 15 h**Ects:** 2**Descriptif**

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.

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 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.

Une attention particulière sera accordée à des systèmes particuliers, les systèmes embarqués, en particulier dans le contexte de des systèmes avioniques.

Ingénierie Dirigée par les Modèles pour les Systèmes Temps-Réel

IN329

Responsable du module : Pierre DE SAQUI SANNES

Volume horaire: 20 h

Ects: 2

Descriptif

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.

Les point 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.

Approfondissement Propulsion (PR)

• Présentation de l'approfondissement

Le but de cet approfondissement est de former des spécialistes de propulsion aéronautique et spatiale ayant de solides connaissances en mécanique des fluides, en énergétique et en mécanique du solide (structures, matériaux). Ces ingénieurs seront capables de concevoir et utiliser tous les systèmes de propulsion aérospatiaux ou terrestres en particulier en travaillant dans les bureaux d'étude chez les avionneurs ou les motoristes.

Le contenu de cet enseignement comporte en plus des disciplines de base en aérothermodynamique et en aérodynamique interne, des compléments en aérothermique, en aéroacoustique et en écoulements diphasiques et réactifs nécessaires à la compréhension des processus physiques couplés intervenant dans les différents éléments des systèmes propulsifs (aéronautique et spatial). On notera que ces disciplines seront enseignées dans une perspective de prise en compte des contraintes environnementales. Le turboréacteur et ses dérivés seront abordés en traitant les différents aspects en respectant une approche système (en plus de la vision aérodynamique interne, la composante structure et la composante régulation). Les différents principes de propulsion spatiale (moteurs fusée, plasmique et ionique) seront détaillés dans cet approfondissement.

• Parcours recherche associé

Les enseignements de cet approfondissement peuvent être retenus pour valider des modules à option du Master recherche M2 « Mécanique des fluides et énergétique » (Ecole doctorale MEGEP).

Les ingénieurs ayant suivi l'approfondissement « Propulsion » ont accès à une très grande variété de postes dans l'industrie. Cette formation donne accès notamment aux secteurs R&D de l'industrie dans divers domaines, comme l'aéronautique et le spatial, l'automobile, l'industrie gazière et pétrolière, ou autre. Ces domaines industriels sont maintenant demandeurs de titulaires de doctorats pour le développement de leurs secteurs R&D.

• Modules de l'approfondissement

Cycles et performances des turboréacteurs

PE431

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

L'objectif de ce cours est de compléter les connaissances des étudiants sur les architectures courantes (double flux), en particulier en fonctionnement hors adaptation. Une partie du module est réservée à l'exposé des problèmes pratiques et théoriques liés à l'utilisation des turbomachines (réacteur et turbopropulseur) et de leurs composants (compresseur, chambres de combustion) utilisant les installations de l'école. L'aspect méthodologie interne moteur est abordé de façon exhaustive.

Turbulence: introduction à la physique et à la modélisation

PE420

Responsable du module : Guillaume DUFOUR

Volume horaire: 10 h

Ects: 1

Descriptif

La turbulence est un phénomène dynamique inhérent aux écoulements de fluide, qui pilote de nombreux phénomènes physiques (transferts pariétaux, mélange) dans de nombreuses situations (décollement, combustion). La simulation des écoulements turbulents (CFD) repose sur différents niveaux de modélisation.

À la fin de cours, l'étudiant:

- connaîtra les principales caractéristiques de la turbulence,
- sera sensibilisé à leur impact sur les grandeurs d'intérêt pour l'ingénieur,

- connaîtra les différents niveaux de modélisation de la turbulence en CFD,
- connaîtra les principes de l'approche statistique,
- sera familier avec les principaux modèles de turbulence utilisés dans l'industrie et leurs limitations.

Étant donné le volume horaire restreint de ce cours, l'objectif est de sensibiliser les étudiants aux problématiques associées à la physique et la modélisation des écoulements turbulents sur un large éventail de thèmes, en aucun cas d'apporter une connaissance approfondie de ces thèmes.

Écoulement diphasique et combustion

PE421

Responsable du module : Gérard LAVERGNE

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

Descriptif

L'objectif de ce module est de fournir aux étudiants les bases de connaissance nécessaires au développement d'un avant-projet d'un foyer de combustion de systèmes propulsifs utilisant un carburant gazeux ou liquide. La combustion en milieu diphasique est abordée suivant deux étapes complémentaires : Présentation des différentes approches de simulation numérique d'un écoulement diphasique gaz/gouttes (Euler/Euler, Euler/Lagrange, LES, DNS) et de la modélisation des phénomènes d'interaction entre phases en régime d'évaporation. Application à l'injection d'un carburant liquide avec modélisation des principaux processus physiques depuis l'intérieur du système d'injection jusqu'à l'allumage (phase de préparation à la combustion).

Présentation des différents régimes de combustion et de leur modélisation (flamme laminaire ou turbulente, prémélangée ou de diffusion)

Différentes applications de ce cours sont développées dans le cadre d'exercices, de bureaux d'études (avant-projet de foyer de combustion, approche numérique de la combustion diphasique), de travaux pratiques (banc flamme laminaire au laboratoire de propulsion), d'un Projet d'Initiation à la Recherche (PIR) réalisé à l'ONERA et d'un projet en équipe intégrée.

Aéroacoustique

PE422

Responsables du module : Franck SIMON, S. LEWY

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

Descriptif

Equation d'onde milieu au repos, ondes planes, ondes sphériques, impédances, analyse 1/3 d'octave, métrologie. Intensité acoustique: définition, technique de mesure, instrumentation, applications. unités acoustiques.

Propagation acoustique en milieu guidé : décomposition modale, fréquences de coupure, application aux conduits à section rectangulaire et circulaire.

Rayonnement sonore en champ libre.

Génération et propagation des sons d'interaction entre rotor et stator.

Aperçu sur les méthodes numériques et intérêt des modèles semi-empiriques.

Les différents types de ventilateurs et leurs caractéristiques aérauliques

Bruit des ventilateurs : origine du bruit de raies et large bande, moyens de réduction du bruit, lois de similitude, estimation du niveau de bruit, effets d'installation.

Aérodynamique des turbomachines

PE423

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 30 h

Ects: 2

Descriptif

L'optimisation de l'aérodynamique interne des turboréacteurs est indispensable pour obtenir une poussée maximale et définir des compresseurs et des turbines avec des rendements élevés

Ce cours développe dans la première partie le fonctionnement des entrées d'air subsonique et supersonique et des tuyères avec effets visqueux et corrections au col et à la sortie incluant les décollements.

La deuxième partie traite le fonctionnement des grilles d'aubes de compresseurs et de turbines axiales et centrifuges ainsi que les méthodes numériques associées

Structures des machines en rotation

PE424

Responsable du module : Stéphane AUDIC

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

Descriptif

Présentation du fonctionnement mécanique d'un turboréacteur, de ses différentes pièces et de leur interaction.

Vue générale de différents aspects de la conception mécanique : disques, aubes, dynamique d'ensemble

Application au dimensionnement préliminaire d'un disque, d'une aube et d'un arbre de rotor.

Présentation des exigences de certification et moyens mis en œuvre par le concepteur pour y répondre.

Matériaux moteur

PE425

Responsable du module : Philippe LOURS

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1

Descriptif

Cet enseignement présente les différents matériaux spécifiques utilisés sur les moteurs aéronautiques, leurs propriétés et leurs utilisations : en particulier au niveau des turbines, les matériaux réfractaires à solidification dirigée, les techniques de fabrications sans et avec le film cooling, les matériaux composites chauds et froids (aubes compresseur, abradable, nid d'abeille.....).

Régulation des turbomachines

PE426

Responsable du module : Alain GARASSINO

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 1.5

Descriptif

L'objectif de ce cours est de montrer les difficultés spécifiques à la régulation des turbomachines. Pour ce, à partir des lois de la thermodynamique, il sera montré comment il est possible de régler le point de fonctionnement en régimes stabilisés et transitoires en contrôlant le débit carburant, la section de tuyère et les géométries variables.

Il sera en particulier examiné comment il est possible de réguler la poussée sans capteur de poussée et de respecter en même temps toutes les limitations (pompages, survitesses, surtempératures,...)

Il sera ensuite décrit comment sont réalisées matériellement ces régulations en détaillant les systèmes hydromécaniques (système de pompage, dosage carburant, injection, pilotage des géométries variables) et les systèmes électroniques (capteurs, calculateurs moteur, actionneurs, réseaux correcteurs numériques, détection de pannes) embarqués.

Une attention particulière sera portée à la méthodologie de développement système, hardware et software.

Propulsion chimique

PE427

Responsables du module : Jean-Claude TRICOT, Lionel CARIÉS

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Jérémie GRESSIER

Ects: 2

Descriptif

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

Pré-dimensionnement d'un moteur à propergol solide.

Computational Fluid Dynamics

PE428

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module vise à donner les connaissances minimales qui permettent aujourd'hui la simulation numérique des écoulements externes et internes. Une partie importante de ce module est dédiée à la mise en situation avec des codes commerciaux ou de recherche, sur stations de calcul.

Projet long moteur

PE429

Responsable du module : Jérémie GRESSIER

Volume horaire: 40 h

Ects: 2.5

Descriptif

Ce cours consiste en l'avant-projet complet d'un moteur du type au choix :

- réacteur d'avion (civil ou militaire)
- moteur fusée à propergol
- moteur à combustion interne appliqué à l'automobile

Lors de cet enseignement les étudiants définissent

- le cycle du moteur
- les performances en vol ou au sol
- le dimensionnement mécanique et aérodynamique
- son intégration dans un système

Approfondissement Signal et Image (SI)

• Présentation de l'approfondissement

L'approfondissement « Signal & Image » est un approfondissement généraliste qui ouvre vers de nombreux métiers de l'ingénierie et de la recherche. Il a pour vocation de former sur les techniques d'observation au sens large : de la scène initiale à l'information utile, en passant par la physique du milieu, les capteurs, l'analyse des données et le traitement de l'information.

Il se compose de 4 grandes parties

1. Analyse et traitement du signal et de l'image [45h]
2. Traitement de l'information [75h]
3. Télédétection [70h]
4. Applications et Projet [50h]

Cet approfondissement couvre donc l'ensemble de la chaîne d'observation sur des signaux 1D, 2D et 3D.

Les domaines d'application sont très divers :

- Environnement : Hydrologie & cycle de l'eau, Déforestation, Suivi de glaciers...
- Observation physique de la Terre : Océanographie, Météorologie & Atmosphère...
- Civil & Militaire : Systèmes d'information Géographique, Modèles Numériques de Terrain, Sécurité...
- Robotique mobile : reconstruction d'environnement, Vision 3D, Drones...
- Santé : Imagerie médicale, imagerie biologique...

Les débouchés se retrouvent dans tous les secteurs d'activité : Industriels (Multinationales, PME...), académique (Universités, instituts de recherches...) ou institutionnels (agences spatiales...)

• Parcours recherche associé

Le M2R « Mathématiques Fondamentales et Appliquées » est associé à cet approfondissement.

• Modules de l'approfondissement

Analyse et représentation des signaux

MA320

Responsable du module : Emmanuel ZENOU

Volume horaire: 25 h

Ects: 2

Descriptif

Ce cours est un cours d'analyse et de représentation des signaux: de la transformée de Fourier à la transformée en Ondelettes.

Traitement d'images

MA321

Responsable du module : Emmanuel ZENOU

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce cours est une introduction au traitement et à l'analyse d'images.

Reconnaissance de formes et analyse de données **MA322****Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 32.5 h**Ects:** 3**Descriptif**

Ce cours est concentré sur l'analyse de données, spécialement la classification, et la reconnaissance de formes.

Techniques avancées en signal et image **MA323****Responsables du module :** J. ZÉRUBIA, G. AUBERT **Volume horaire:** 42.5 h**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 3**Descriptif**

L'objectif de ce cours est de faire assimiler des techniques avancées en signal et image. Les principaux sujets étudiés sont : introduction à l'imagerie ; restauration/déconvolution ; méthodes markoviennes ; processus ponctuels marqués. Des applications seront proposées aux élèves (BE en Matlab, Image Toolbox). Les méthodes morphologiques et probabilistes sont introduites et replacées dans un cadre général en coordination avec les autres cours de base.

Physique de la mesure et capteurs **MA324****Responsables du module :** Pierre MAGNAN, M GRIPPA **Volume horaire:** 30 h**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 2**Descriptif**

Ce cours de physique est une introduction à la télédétection et aux capteurs sur l'ensemble du spectre électromagnétique: Imagerie RADAR, visible et infrarouge.

Imagerie RADAR **MA325****Responsable du module :** Emmanuel ZENOU **Volume horaire:** 20 h**Ects:** 1.5**Descriptif**

Ce cours est une introduction à l'imagerie RADAR.

Géométrie des images et reconstruction 3D **MA326****Responsable du module :** S. LACROIX **Volume horaire:** 20 h**Correspondant ISAE :** Emmanuel ZENOU **Ects:** 1.5**Descriptif**

Ce cours est une introduction à la géométrie projective pour le calibrage de caméras et à la reconstruction 3D.

Descriptif

Ce cours est une introduction à diverses applications

- Applications robotiques
- Imagerie médicale
- Hydrologie & Cycle de l'eau
- Forêts & Végétations
- Océanographie
- Météo & Atmosphère
- SIG & MNT

Approfondissement Structures (ST)

• Présentation de l'approfondissement

L'objectif de cette formation est d'acquérir une culture approfondie dans le génie mécanique appliqué à l'aéronautique et à l'espace en développant les fondamentaux acquis dans le tronc commun deuxième année, notamment en mécanique du solide. Le Master Recherche Génie Mécanique peut lui être associé.

Plus précisément, cet approfondissement vise à développer les aptitudes au calcul numérique des structures, la culture matériaux et la connaissance sur les interactions fluides-structures, l'expertise liée à la qualification et la certification structurale. La dynamique des structures souples, la modélisation et le contrôle des éléments structuraux complexes constituent un enjeu majeur de l'approfondissement. Il ouvre ainsi des débouchés très variés dans les bureaux d'étude de calcul des structures et dans la conception de véhicules aéronautiques et spatiaux.

• Parcours recherche associé

L'approfondissement Structures peut être utilement associé au Master Recherche Génie Mécanique de Toulouse. En effet, pour les étudiants qui choisissent ce Master dans le cadre de l'approfondissement ST, les cours supplémentaires se réduisent aux quatre modules du tronc commun Master - Dynamique, Composites, CND, Plasticité - qui sont de plus donnés à SUPAERO.

Ce parcours ouvre des perspectives recherche dans les thématiques de l'Institut de Génie Mécanique de Toulouse, et notamment dans celles qui sont portées par SUPAERO, à savoir la modélisation de l'endommagement composite pour la certification structurale, et la maîtrise de l'environnement dynamique structural pour le contrôle vibratoire, dans le cadre de coopérations industrielles et internationales. Il prépare aussi très efficacement et très directement à tous les métiers de l'industrie avions, lanceurs, hélicoptères ou véhicules terrestres dans lesquels une composante R&D mécanique des solides est pertinente. Ces métiers, en Bureau d'Étude Développement, Certification, Centres d'essais de Qualification, offrent une très grande variété de missions et d'évolutions potentielles.

• Modules de l'approfondissement

Dynamique des structures avancée

SM320

Responsable du module : Alain GIRARD

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Miguel CHARLOTTE

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module vise à développer les compétences dans l'analyse dynamique de structures industrielles. Les outils d'analyse modale, de recalage et de traitement par masses effectives et résidus sont présentés et illustrés. Une visite industrielle complète ce module.

Calcul de structures par éléments finis

SM321

Responsable du module : Michel MAHE

Volume horaire: 42.5 h

Correspondant ISAE : Joseph MORLIER

Ects: 3.5

Descriptif

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

Ce module est destiné à sensibiliser les étudiants à l'importance des hypothèses des modèles utilisés ainsi que des limitations des outils de calcul. Il doit permettre aux étudiants d'établir les choix de modélisation les plus efficaces en fonction de l'objectif visé. La place croissante des analyses non linéaires et dynamique transitoire impose une connaissance des limites de l'analyse linéaire statique avec des éléments permettant d'orienter les choix vers des modélisations plus réalistes mais aussi plus complexes à maîtriser.

Ce module permet la maîtrise des analyses par M.E.F. aujourd'hui réalisées classiquement dans l'industrie. Des Bureaux d'Etude sur logiciel commercial font partie de la formation.

Matériaux structuraux, matériaux composites

SM322

Responsable du module : Philippe LOURS

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 1.5

Descriptif

Présenter les propriétés des différentes familles de matériaux utilisés dans les structures aéronautiques et spatiales.

Matériaux spéciaux

SM323

Responsable du module : J.-Y. GUÉDOU

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Christophe BOUVET

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est dédié aux matériaux spéciaux travaillant dans des ambiances extrêmes thermomécaniques (propulsion, turbines, machines tournante).

Pour chaque catégorie de matériaux spéciaux, ce module présente :

- les propriétés générales mécaniques et thermiques
- les procédés d'élaboration et de mise en œuvre
- les applications technologiques et industrielles

Charges avion

SM324

Responsable du module : Robert FINANCE

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Miguel CHARLOTTE

Ects: 1.5

Descriptif

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

Structure des aéronefs

SM325

Responsable du module : Jean-Marie FEHRENBACH

Volume horaire: 40 h

Correspondant ISAE : Joseph MORLIER

Ects: 2

Descriptif

Ce cours a pour objectifs de permettre de :

* comprendre, à partir de l'application des méthodes élémentaires, le mode de travail de la structure et appréhender le rôle des principaux éléments constitutifs de la cellule (architecture),

* s'approprier les modèles élémentaires de la mécanique de la rupture et du comportement en fatigue (justification vis-à-vis du vieillissement en service).

Structures des satellites

SM326

Responsable du module : Didier GANGLOFF

Volume horaire: 30 h

Correspondant ISAE : Miguel CHARLOTTE

Ects: 2.5

Descriptif

Le but de ce module est de présenter des notions sur les structures des satellites et des lanceurs ainsi que les méthodes utilisées pour le dimensionnement de ces structures.

Une première partie du module est consacrée à la présentation des satellites, des charges utiles de télécommunications et des lanceurs et de leurs chaînes fonctionnelles associées. Un exemple typique : PROTON est présenté.

La deuxième partie aborde les aspects environnement et design des structures. On rappelle les différentes contraintes liées à l'environnement et les différentes méthodes employées pour dimensionner les structures.

Les matériaux, certaines techniques de fabrication et les essais de vérification sont à leur tour présentés. Une dernière partie aborde un cas concret : le dimensionnement d'antennes de satellites et la présentation des technologies utilisées.

Technologie des missiles

SM327

Responsable du module : M. MONTAGNE

Volume horaire: 18.75 h

Correspondant ISAE : Yves GOURINAT

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est une présentation des technologies concernant les missiles balistiques et tactiques. Il a pour but de fournir aux élèves une vue générale de ces aspects afin de les familiariser avec ces technologies pour une utilisation potentielle dans leur vie professionnelle future. Le cours est découpé en cours magistraux, bureaux d'étude (permettant de présenter les problèmes spécifiques à ces missiles) et se conclue par une visite de l'établissement d'Aquitaine d'EADS-ST pour une illustration industrielle et concrète des technologies utilisées. Les thèmes présentés en cours sont : historique des missiles et utilisations opérationnelles, différence entre missiles tactiques et balistiques, du besoin opérationnel à la spécification des missiles tactiques, architecture, technologies des missiles tactiques, aérodynamique et propulsion des missiles tactiques, les missiles balistiques, les différentes phases de vie, les technologies utilisées, les missiles balistiques dans le monde, les problèmes de prolifération, les systèmes anti-missiles.

Dimensionnement des structures composites

SM328

Responsable du module : Christophe BOUVET

Volume horaire: 18.75 h

Ects: 1

Descriptif

Les structures composites sont largement utilisées dans le domaine aéronautique grâce à leur rapport rigidité/masse et résistance/masse élevés. L'objectif de ce cours est de présenter les principaux outils de dimensionnement de ces structures dans ce domaine.

Les notions de dimensionnement des stratifiés, des modèles éléments finis associés, des critères de rupture ou de tolérance aux dommages seront abordées.

Ce module fait l'objet d'un BE sur un logiciel de calcul par éléments finis commercial, traitant du dimensionnement et de l'optimisation de la conception d'une structure composite. Ce BE sera réalisé en commun avec le module "calcul de structure par éléments finis" (SM321).

Optimisation des structures

SM329

Responsable du module : Joseph MORLIER

Volume horaire: 12.5 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce cours est une introduction à l'optimisation de structures

Cours:

Optimisation paramétrique, analyse de sensibilité
modèles réduits, schéma de décomposition
Vérification et Validation de modèles

Conférence:

Recherche à Airbus sur l'optimisation structurale
BE
exemple Sol200
Validation d'un modèle rotor en dynamique AESOP

Approfondissement Télécommunications, Navigation (TN)

• Présentation de l'approfondissement

Cet approfondissement apporte aux étudiants une connaissance exploitable des outils, techniques et technologies pour les systèmes de communications et de navigation de l'aéronautique et de l'espace. Pour ce faire, le programme de l'approfondissement est organisé selon plusieurs lignes directrices :

- Appréhender les aspects systèmes en mettant l'accent sur les environnements, les limitations et contraintes, les interfaces et les performances attendues.
- Approfondir les disciplines qui interagissent dans la conception de ces systèmes : électronique, traitement de signal, communications, informatique et réseaux, etc.
- Acquérir une bonne maîtrise des outils de conception et simulation du domaine.
- Initier au développement des applications de ces systèmes dans les domaines du spatial et de l'aéronautique.

• Débouchés et parcours recherche associés

Les connaissances acquises permettent de jouer un rôle actif dès le début de la carrière professionnelle à différents niveaux de la conception des systèmes de communications et de navigation. En effet la formation couvre au mieux les besoins importants de l'industrie sur les thématiques considérées. Le profil de formation est ainsi adapté aux postes d'ingénieurs de développement et de conception système, aux responsabilités de suivi et de conduite de projets, en ce qui concerne les aspects signal, électronique et télécommunications des systèmes aérospatiaux. Ce profil est recherché dans les grands groupes d'électronique et de communications en France et à l'étranger (Alcatel, EADS, Thales, Safran, ST Micro...), les opérateurs de communications, les centres de recherche et agences (CNES, DLR, ESA...), sans oublier les PME et sociétés de service (M3Systems, Cap Gemini, Altran...).

Cet approfondissement peut être complété par une première étape d'une formation par la recherche visant à obtenir le grade de Docteur. L'approfondissement permet de suivre le Master Recherche (M2R) « Informatique et Télécommunications » (Ecole Doctorale MITT) dont le parcours « Réseaux et télécommunications » reprend en grande partie des contenus présents dans les modules enseignés à l'ISAE. Il est aussi possible de suivre avec plus d'investissement personnel le Master Recherche « Signal, Image, Acoustique et Optimisation ».

• Organisation et pédagogie

Le programme de l'approfondissement est organisé en plusieurs blocs : d'abord le socle des connaissances en électronique numérique, télécommunications, signal et réseaux, puis les systèmes de communications et de navigation par satellite, et enfin les techniques spécifiques relatives aux fonctions de traitement numériques dans les récepteurs, ainsi qu'au dimensionnement des réseaux de communications par satellite. Des bureaux d'études et un mini projet permettent à l'étudiant de mettre en œuvre et développer le contenu des enseignements au travers d'études bibliographiques, travaux de simulation, réalisation de maquettes logiciel ou à base de processeurs de traitement du signal et de circuits intégrés.

• Modules de l'approfondissement

Traitement du signal

ET421

Responsable du module : Vincent CALMETTES

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

Descriptif

Cet enseignement vise à conforter les connaissances en théorie et traitement du signal. Il présente différentes approches pour l'analyse de signaux discrets, des méthodes d'estimation pour la caractérisation de processus aléatoires réels ou complexes, des techniques d'estimation spectrale, des outils d'optimisation de filtres numériques, des algorithmes de filtrage optimum et de filtrage adaptatif. L'enseignement est illustré

par des bureaux d'études afin de valider sur logiciel Matlab les outils introduits en cours. Une approche réaliste est proposée par le biais d'un projet concernant l'implantation et l'évaluation d'algorithmes de filtrage adaptatif.

Architectures de traitement numérique

ET422

Responsables du module : Pierre MAGNAN, Vincent CALMETTES

Volume horaire: 15 h

Ects: 1

Descriptif

Ce module introduit les architectures de traitements numériques des signaux qui trouvent leurs applications dans les systèmes de communications, de navigation, les réseaux... L'accent est mis, notamment à travers des bureaux d'études, sur la mise en œuvre d'architectures programmées à base de processeurs numériques des signaux (DSP) et de cibles câblées pour l'implantation des algorithmes.

Communications numériques

ET423

Responsable du module : Marie-Laure BOUCHERET

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module présente les techniques de transmission à distance de l'information codée sous forme numérique (transmission en bande de base et sur porteuse, théorie de la détection, modulations numériques, codage canal, dimensionnement d'un système de communications numériques, canaux linéaires et non linéaires, techniques d'étalement de spectre)

Réseau et protocoles de communication

ET424

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Cet enseignement vise à fournir une première approche des réseaux de télécommunications. Il a été choisi de présenter les réseaux IP (Internet Protocol) en raison de leur importance dans le domaine et de l'intérêt des systèmes assurant une interconnexion à l'Internet par satellite. Une première partie présente l'architecture générale des réseaux de télécommunications (notion de protocole, modèle OSI) puis les réseaux IP (adressage et routage, empilement protocolaire de référence). Une seconde partie présente une architecture typique d'accès Internet.

Les bureaux d'étude utilisent le logiciel de simulation de réseaux OPNET (logiciel commercial largement utilisé dans l'industrie).

Liaisons radiofréquences et Propagation

ET425

Responsable du module : Henri-José MAMETSA

Volume horaire: 20 h

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

Descriptif

La transmission de l'information à distance sans support physique s'effectue à l'aide d'une porteuse radiofréquence ou optique qui se propage dans le milieu considéré. L'objectif de ce cours est de donner les éléments de base des problèmes liés aux liaisons directes en espace libre. Sont présentés : les phénomènes de propagation libre des ondes électromagnétiques, les composants d'extrémités (antennes...), l'influence du milieu, les bruits, les bilans de liaison..

Systèmes de Communications spatiales

ET426

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Cet enseignement s'attache à présenter l'architecture, les applications et les techniques de transmission (bilan de liaison, modulation et codage...) et d'accès multiple (accès, interconnexion de faisceaux multiples...) spécifiques aux systèmes de communication par satellite. La charge utile du satellite (répéteur transparent et régénérateur, antennes) et les stations terriennes (architecture, sous-systèmes) sont également étudiées.

Systèmes de positionnement par satellite

ET427

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Le module présente les techniques de détermination de la position d'un terminal à partir de satellites. Les caractéristiques et performances des systèmes de localisation (ARGOS, DORIS) et de navigation (GPS, EGNOS, GALILEO) et leurs principales applications sont présentées. Des bureaux d'études permettent d'appréhender les principes du calcul du point, et des traitements dans les récepteurs de navigation.

Projet

ET428

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 10 h

Ects: 1

Descriptif

Le (mini)projet permet d'approfondir le contenu de l'un des modules de l'approfondissement sous la forme de travaux de simulation, de réalisation de maquettes, etc., sur un thème au choix. La découverte d'une nouvelle thématique est aussi envisageable.

Conception et intégration de systèmes numériques

ET430

Responsables du module : Pierre MAGNAN, Vincent CALMETTES

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module introduit les méthodes et outils utilisés pour la conception des systèmes numériques complexes depuis la spécification et la validation des algorithmes jusqu'au test. Sont aussi présentées les différentes approches permettant de réaliser l'intégration des systèmes de traitements numériques (ASIC sur Silicium, FPGA, System On Chip) et les problématiques associées, notamment pour la mise en œuvre de processeurs embarqués personnalisés.

Récepteurs numériques de télécommunications

ET431

Responsable du module : Marie-Laure BOUCHERET

Volume horaire: 10 h

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 0.5

Descriptif

Le module présente les algorithmes de synchronisation et les architectures classiques des récepteurs utilisant les techniques de réalisations à base de circuits et processeurs intégrés numériques : influence des erreurs de synchronisation sur les performances des systèmes de communications numériques, modélisation, dimensionnement et algorithmes des circuits de synchronisation en technologie numérique.

Récepteurs de navigation et hybridation

ET432

Responsable du module : Vincent CALMETTES

Volume horaire: 21.25 h

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

Ects: 1.5

Descriptif

Le module présente les architectures des récepteurs de navigation par satellite (GNSS : Global Navigation Satellite Systems) en s'intéressant plus particulièrement aux traitements numériques et à leur implémentation avec des processeurs et des circuits intégrés dédiés. Les sources d'erreurs (multitrajets, etc.) et de limitation des performances sont analysées. Les techniques d'augmentation basées sur l'hybridation avec d'autres senseurs (compas, odomètres, couplages inertiels lâches ou serrés...) sont étudiées et donnent lieu à des travaux expérimentaux.

Réseaux de communication par satellites

ET434

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 15 h

Ects: 1.5

Descriptif

Ce module est consacré aux réseaux de communication par satellites mis en œuvre dans le domaine aéronautique. Les applications concernent aussi bien le contrôle aérien, les communications pour les compagnies aériennes que les communications des passagers.

Communications multimédia

ET435

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume horaire: 10 h

Ects: 0.5

Descriptif

Il s'agit de présenter les spécificités des systèmes de communications «multimédia» (en particulier des systèmes satellitaire combinant sur le même support son, image et données numériques, etc.). Les techniques de radiodiffusion sont décrites (DAB, DVB : Digital Audio/Video Broadcasting). Les évolutions modernes vers la haute définition (TV-HD), l'interactivité avec la mise en œuvre d'une voie retour, et les communications vers les mobiles (DMB, DVB-SH) seront examinées.

Internet et multimédia par satellites

ET436

Responsable du module : José RADZIK

Volume horaire: 20 h

Ects: 1.5

Descriptif

Maitriser les techniques et l'architecture des réseaux de communication par satellites pour l'Internet et les applications multimédia large bande.

Les satellites géostationnaires sont largement utilisés pour relier les utilisateurs au réseau Internet et fournir ainsi des services multimédia. L'architecture des systèmes mis en œuvre est analysée en détail dans le contexte des normes DVB (Digital Video Broadcasting), notamment DVB-S2 et DVB-RCS/RCS2. Les enjeux des futurs systèmes sont exposés en insistant sur les techniques qui pourront à terme permettre d'augmenter significativement la capacité offerte par les satellites géostationnaires.