

# Domaines troisième année

Domaine Système d'Information et de Décision (SID) .....	2
Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE).....	7
Domaine Systèmes embarqués (SEM).....	12
Domaine Systèmes énergétiques (SEN) .....	17
Domaine Systèmes Spatiaux (SSP) .....	22

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

Responsable : C. Garion

## → Présentation du domaine

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

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

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

## → Débouchés du domaine

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

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

## **Optimisation GI316**

Responsable du module : G. VERFAILLIE  
Volume de 40 h  
Crédits 3 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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.

Pré-requis :

Logique, Graphes, Programmation linéaire.

---

## **Méthodes et outils pour la décision GI317**

Responsable du module : P. FABIANI  
Volume de 40 h  
Crédits 3 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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 multicritères 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 multicritère 4. Modèles et représentations des incertitudes 5. Décision séquentielle non-déterministe et plus.

---

## **Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques IS310**

Responsable du module : J.-C. LAPRIE

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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.

Pré-requis :

Probabilités.

## **Bases de données IN306**

Responsable du module : Christophe GARION

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Christophe GARION

Descriptif :

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

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

---

## **Architecture des systèmes distribués IN307**

Responsable du module : Pierre SIRON Christophe GARION

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Pierre SIRON

Descriptif :

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

## **Choix d'investissement GI318**

Responsable du module : P. ROUSSELOT

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Philippe GIRARD

Descriptif :

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

Pré-requis :

Cours de comptabilité générale.

## Domaine Systèmes Aéronautiques (SAE)

Responsable : Y. Gourinat

### → **Présentation du domaine**

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

### → **Débouchés du domaine**

Les débouchés correspondants peuvent être présentés comme suit :

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

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

## **Optimisation des systèmes GI310**

Responsable du module : G. VERFAILLIE  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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 : J.-F. GAJEWSKI  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Descriptif :

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

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

## **Aéro-élasticité SM310**

Responsable du module : A. LAPORTE  
Volume de 15 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Joseph MORLIER

Descriptif :

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

---

## **Motorisation des aéronefs PE310**

Responsable du module : Alain CARRERE  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

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

---

## **Avionique AU310**

Responsable du module : Jean-Charles CHAUDEMAR  
Volume de 15 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

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.

## **Conception des avions subsoniques DV312**

Responsable du module : O. ATINAULT

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Christian COLONGO

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.

---

## **Stratégie de développement des avions civils DV310**

Responsable du module : G. VILLE

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Luc BOIFFIER

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.

Pré-requis :

Les enseignements de base de l'aéronautique : aérodynamique, résistance des matériaux, propulsion et mécanique du vol.

## **Conception hélicoptères DV311**

Responsable du module : S. LEYDER  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Yves GOURINAT

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.

---

## **Exploitation aéronautique GI312**

Responsable du module : S. DELTHEIL  
Volume de 10 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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.

## Domaine Systèmes embarqués (SEM)

Responsable : J. Cardoso

### → Présentation du domaine

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

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

### → Débouchés du domaine

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

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

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

## **Ingénierie des systèmes embarqués AU314**

Responsable du module : Jean-Charles CHAUDEMAR

Volume de 10 h

Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

Descriptif :

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

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

---

## **Optimisation GI313**

Responsable du module : Janette CARDOSO

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Janette CARDOSO

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 : SEGUIN

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Janette CARDOSO

Descriptif :

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

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

---

## **Modèles de systèmes embarqués : Modèles discrets, modèles hybrides IN310**

Responsable du module : Janette CARDOSO

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Janette CARDOSO

Descriptif :

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

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

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

## **Simulation et co-simulation matérielle/logicielle IN311**

Responsables du module : Pierre MAGNAN - Pierre SIRON

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Pierre MAGNAN

Descriptif :

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

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

---

## **Contraintes et intégration ET310**

Responsable du module : Damienne BAJON

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Damienne BAJON – J.-C. Chaudemar

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 termes 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.

## **Opération et supervision AU311**

Responsables du module : C. TESSIER - Frédéric DEHAIS

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

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.

---

## **Systèmes embarqués « avioniques » AU312**

Responsable du module : Jean-Charles CHAUDEMAR

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

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

---

## **Application robotique dronique AU313**

Responsable du module : Jean-Charles CHAUDEMAR

Volume de 10 h

Crédits 0.5 ECTS

Correspondant ISAE : Jean-Charles CHAUDEMAR

Descriptif :

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

## Domaine Systèmes Energétiques (SEN)

Responsable : A. Carrère

### → Présentation du domaine

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

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

### → Débouchés du domaine

Ce type de profil est très recherché par :

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

## **Optimisation des systèmes GI310**

Responsable du module : G. VERFAILLIE

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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 : J.-F. GAJEWSKI

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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

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

## **Mécatronique PE317**

Responsable du module : Alain CARRERE  
Volume de 10 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

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...).

---

## **Thermodynamique appliquée aux turbomachines : Cycles et performances PE311**

Responsable du module : Alain CARRERE  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

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

---

## **Essais globaux et partiels sur turbomachines et moteurs fusées PE312**

Responsable du module : Roger BARENES  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

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

## **Intégration des systèmes de propulsion PE313**

Responsable du module : Alain CARRERE

Volume de 10 h

Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

Descriptif :

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

---

## **Système moteur à pistons PE314**

Responsable du module : J.-L. FROMENT

Volume de 30 h

Crédits 2 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

Descriptif :

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

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

## **Energie et environnement PE315**

Responsable du module : Alain CARRERE

Volume de 10 h

Crédits 0.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

Descriptif :

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

---

## **Energie Nucléaire, pile à combustible PE316**

Responsable du module : J. BERNARD

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain CARRERE

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 différentes 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.

## Domaine Systèmes Spatiaux (SSP)

Responsable : B. Escudier

### → Présentation du domaine

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

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

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

### → Débouchés du domaine

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

### → Organisation et pédagogie

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

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

## **Optimisation combinatoire GI315**

Responsable du module : M. LEMAITRE  
Volume de 25 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Alain HAIT

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 : J.-F. GAJEWSKI  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

Descriptif :

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

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

## **Aspects juridiques et économiques IS317**

Responsable du module : Bénédicte ESCUDIER Michel BOUSQUET  
Volume de 11.25 h  
Crédits 0.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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.

---

## **Environnement spatial et effets IS313**

Responsable du module : S. BOURDARIE  
Volume de 13.75 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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 : S. BERRIVIN  
Volume de 10 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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 de 18 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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.

---

## **Systèmes spatiaux IS312**

Responsable du module : M. VIEILLEFOSSE B. GABRIÈRES  
Volume de 16.25 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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 des satellites IS326**

Responsable du module : Ph. LATTES  
Volume de 10 h  
Crédits 1 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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.

---

## **Imagerie spatiale IS316**

Responsable du module : S. FOUREST  
Volume de 20 h  
Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Bénédicte ESCUDIER

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, radiométrique) de l'image spatiale obtenue et les moyens mis en œuvre à tous les niveaux pour obtenir les meilleures performances image.

## **Télécommunications spatiales IS318**

Responsable du module : Michel BOUSQUET

Volume de 20 h

Crédits 1.5 ECTS

Correspondant ISAE : Michel BOUSQUET

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.