

# Ingénieurs ISAE-SUPAERO

Programme  
2021-2022

2<sup>e</sup> année



## Ingénieur ISAE-SUPAERO

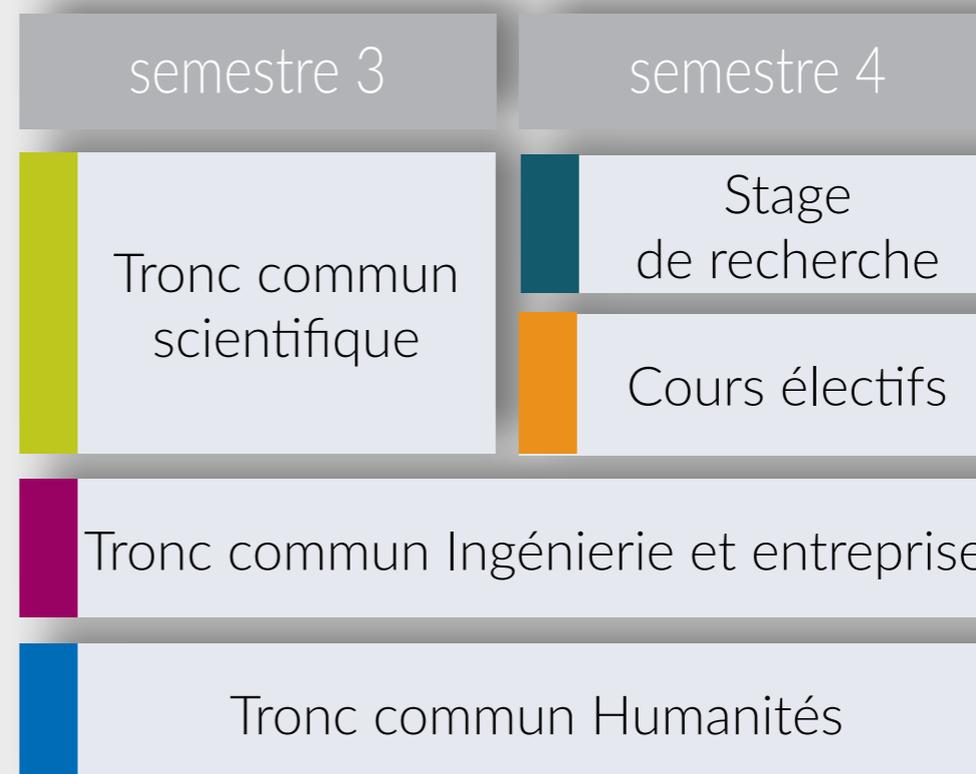
### Programme 2021-2022

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

Sommaire .....	2	Commande de vol.....	53
Structuration de la Deuxième année.....	3	Facteurs Humains.....	54
<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>	Automatique avancée.....	55
Mécanique générale.....	5	Vols Habités.....	56
Mécanique et thermodynamique des fluides.....	6	Introduction aux sciences de la Terre	
Mathématiques appliquées.....	8	depuis l'Espace.....	57
Signaux et systèmes.....	9	Guidage et pilotage des drones.....	58
Mécanique des solides déformables.....	10	Maintenance des systèmes aéronautiques.....	59
Informatique.....	12	Impact climatique de l'aviation :	
Physique.....	13	situation actuelle et perspectives.....	60
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>	Théorie de l'information.....	61
Arts & cultures.....	15	Cryptographie .....	62
Langue vivante 1.....	17	Distributions, Opérateurs et Semi-Groupes .....	63
Langue vivante 2.....	18	Introduction à la théorie	
Pratiques corporelles.....	19	des graphes déterministe et aléatoire.....	64
Introduction aux enjeux environnementaux .....	20	Applications Web de nouvelle génération.....	65
Inter-cultural Workshop.....	22	Modélisation 3D.....	66
Cycle de conférences: Science, culture et société .....	23	Méthodes de Monte-Carlo.....	67
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> ..	<b>24</b>	Introduction au Big Data.....	68
Tronc commun ingénierie et entreprise 1.....	25	Dans la peau d'un ingénieur en optimisation.....	69
Tronc commun ingénierie et entreprise 2.....	26	Optimisation numérique avancée.....	70
Gestion de projet.....	30	MBSE .....	71
Initiation à l'économie.....	31	Architecture des systèmes.....	72
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>	Algorithmes évolutionnaires.....	73
Étude et réalisation.....	38	PFEM4PHS.....	74
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>	La miniaturisation, jusqu'où ? Des nanotechnologies	
Phénomènes aléatoires		aux nano-objets.....	75
en dynamique des fluides .....	40	Effets de l'environnement radiatif naturel	
Écoulements géophysiques.....	41	sur l'avionique, les lanceurs et les systèmes sol....	76
Écoulements diphasiques à interface .....	42	Conception des circuits numériques complexes.....	77
Génie éolien .....	43	Ingénierie quantique : .....	78
Approche pratique-intégrée		calculateurs quantiques, téléportation	
expérimental/simulation en aérodynamique .....	44	et molécules-machines.....	78
Propulsion éolienne.....	45	Communications optiques spatiales.....	79
Réaliser une pièce en fabrication additive :		Planétologie/Télescopes et surveillance de l'espace/	
pourquoi et comment?.....	46	Physique stellaire.....	80
Matériaux aéronautiques et spatiaux.....	47	Économie et sociétés contemporaines.....	81
Matériaux innovants.....	48	L'économie à l'épreuve du temps .....	82
Aéroélasticité.....	49	Montage d'un projet de création.....	83
Optimisation de la tenue mécanique		Métier du conseil :	
d'une structure par éléments finis.....	50	Methodologie, méthode agile .....	84
Biomécanique.....	51	Économie circulaire .....	85
Initiation aux techniques d'Essais en vol.....	52	Management de la diversité .....	86
		Innover durablement par le design thinking.....	87
		Semaine mobilité.....	88

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>





---

# TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE

---

Mécanique générale.....	5
Mécanique et thermodynamique des fluides .....	6
Mathématiques appliquées .....	8
Signaux et systèmes.....	9
Mécanique des solides déformables .....	10
Informatique .....	12
Physique.....	13

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Responsable : Stéphanie LIZY-DESTREZ

Ce cours vise à transmettre les équations du mouvement des systèmes solides afin de pouvoir modéliser le comportement et la trajectoire de véhicules aéronautiques et spatiaux. Ces capacités de modélisation seront nécessaires pour aborder les enseignements ultérieurs de mécanique appliquée et de modélisation : aérodynamique, mécanique des structures, dynamique des véhicules aérospatiaux, moteurs, robotique, identification et contrôle des systèmes. Les cours s'articulent autour de 2 disciplines.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

#### Mécanique spatiale

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

#### Volume horaire : 20h

- cours en amphitheâtre : 1h00 ;
- cours en PC : 17h00 ;
- bureaux d'études : 2h ;
- examens (Ecrit 1h30).

#### Mécanique du vol

L'enseignement de première année portait sur l'écriture des équations générales régissant le mouvement des avions (vol en palier, montée, descente, virage). Ces équilibres constituent le point de départ pour l'analyse des performances de vol. L'objectif du cours de seconde année concerne la dynamique proprement dite de l'avion, c'est-à-dire le mouvement des avions à une échelle de temps plus courte dans des situations hors équilibre. Dans le monde aéronautique, cet aspect du vol des avions est désigné par le terme « qualités de vol ». Les qualités de vol s'intéressent en premier lieu à la pilotabilité

d'un avion, c'est-à-dire à son comportement suite à des actions sur les gouvernes à la disposition du pilote. Le second volet des qualités de vol est l'étude de la stabilité qui traduit comment l'avion rejoint son état d'équilibre en cas de perturbations causées par de la turbulence ou des rafales de vent. Dans ce cours, les qualités de vol seront traitées par une approche analytique. Cette méthode permet de déterminer explicitement les paramètres influents et ainsi d'accéder à une compréhension physique des phénomènes. Le but visé est de vous donner la capacité d'analyser et de régler les qualités de vol d'un avion. L'approche analytique est complétée par une approche numérique plus précise, pendant les Bureaux d'Études. Ce sera l'occasion d'effectuer des simulations temporelles du mouvement de l'avion soumis à diverses perturbations. L'exploitation de ces résultats pour l'analyse des qualités de vol vous permettra également de valider l'approche analytique.

#### Volume horaire : 20h

- cours en amphitheâtre : 8h ;
- bureaux d'étude : 10h ;
- séance de TP télémesures avec vol avion de Lasbordes : 1h ;
- examens (Ecrit 1h).

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

Mécanique spatiale : mécanique générale ;

Mécanique du vol : cours de 1A sur les équilibres latéraux et longitudinaux, MOOC Avion.

### ÉVALUATIONS

Le module sera évalué sur la base de :

- pour la mécanique spatiale : un examen écrit (documents limités), complété d'un bureau d'études ;
- pour la mécanique du vol : un examen écrit et bureaux d'études.

### BIBLIOGRAPHIE

Mécanique Spatiale, B. Escudier - J-Y Pouillard

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## MÉCANIQUE ET THERMODYNAMIQUE DES FLUIDES

Responsable : Nicolas BINDER

Cet enseignement participe à l'acquisition de connaissances essentielles à tout ingénieur diplômé de l'ISAE-SUPAERO. Il est en directe continuité du tronc commun de première année, avec un caractère plus marqué vers l'analyse des écoulements aéronautiques (gaz compressible à grand nombre de Reynolds). Ainsi, seront abordées les bases de la mécanique des fluides visqueux, des écoulements compressibles, qui seront ensuite appliquées à l'aérodynamique et la propulsion de l'avion.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

#### Fluide compressible et visqueux (25h) :

- Comprendre la signification physique des différentes épaisseurs de couche limite, du coefficient de frottement, et leurs utilités respectives pour l'ingénieur aéronautique;
- en donner des estimations dans des situations simples (plaque plane laminaire, ...) et en prévoir l'évolution avec le nombre de Reynolds, le gradient de pression et le passage en régime turbulent;
- caractériser le régime turbulent et comprendre les implications de son traitement statistique afin de situer les niveaux de modélisation pour la simulation numérique;
- identifier les situations propices au décollement de la couche limite, voire le localiser s'il intervient;
- adapter ces connaissances à d'autres configurations d'écoulements cisailés (jets, sillages, ...) et aux écoulements 3D.
- Borner les différents régimes d'écoulements (subsonique/subcritique compressible/transsonique/supersonique/hypersonique) et estimer le nombre de Mach critique inférieur d'un ;
- Appréhender l'influence du nombre de Mach sur les écoulements internes ;
- identifier et calculer les régimes de fonctionnement des tuyères convergent/divergent et du jet supersonique de sortie.

#### Aérodynamique (19h):

- mettre en application les notions de mécanique des fluides pour le calcul d'efforts aérodynamique sur les configurations aéronautiques (profils, surfaces portantes, voire corps élancés);

- estimer la performance de portance, traînée et moment d'une aile en fonction de sa géométrie (allongement, cambrure, épaisseur, loi de corde, de vrillage...), du nombre de Reynolds et du nombre de Mach;
- analyser les principales composantes de la traînée d'un aéronef, et envisager la manière de la minimiser.

#### Propulsion (17h):

- Analyser les performances d'une architecture propulsive à double flux;
- en modéliser les composants pour permettre une étude paramétrique de conception (taux de compression, de dilution, T4, ...);
- pré-dimensionner les lois de vrillage et de cambrure d'une turbomachine axiale à l'adaptation (compresseur, hélice), et en envisager les limites de fonctionnement.

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

La maîtrise du tronc commun « Mécanique et thermodynamique des fluides » de première année permettra d'aborder au mieux cet enseignement de deuxième année. Pour les élèves qui n'auraient pas suivi le tronc commun 1A il est recommandé une remise à niveau sur les points suivants :

- 1er et 2ème principes de la thermodynamique en système ouvert, grandeurs totales ;
- équations fondamentales de la dynamique, établissement du modèle de Navier-Stokes ;
- notions de Similitude ;
- écoulements génériques aéronautiques (profil d'aile, cylindre, tuyère, ...);
- méthode de calcul de chocs (normaux et obliques) et de détente de Prandtl-Meyer;
- cycle de Joule (générateur de gaz).

### ÉVALUATIONS

- la validation du bloc est à 11/20 ;
- 2 BE notés (dont un devoir maison), 3 examens intermédiaires et 4 QCM courts.

# MÉCANIQUE ET THERMODYNAMIQUE DES FLUIDES (SUITE)

## BIBLIOGRAPHIE

J. Anderson, Modern Compressible Flow: With Historical Perspective  
3rd Edition , McGraw-Hill Publishing company.  
P. Chassaing, Mécanique des fluides, 2e édition, Cépaduès-éditions,  
2000  
P. Chassaing, Turbulence en Mécanique des fluides, Cépaduès-éditions,  
2000

J. Cousteix « Couche Limite Laminaire », Cépaduès, Toulouse, 1989.  
J. Cousteix « Turbulence et Couche Limite », Cépaduès, Toulouse,  
1989.  
Ryhming « Dynamique des Fluides », Presses Polytechniques et Uni-  
versitaires Romandes, Lau-sanne, 2009.  
Fundamentals of Aerodynamics, Anderson.  
Aerodynamics for Engineering Students, Houghton & al.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Responsable: Ghislain HAINE / Guillaume DUFOUR

Trois objectifs principaux dans le cursus:

- approfondir et utiliser les notions abordées en classe préparatoire dans le contexte des sciences de l'ingénieur;
- développer et améliorer la compétence des élèves à modéliser des phénomènes issus des sciences de l'ingénieur;
- entraîner et maîtriser l'abstraction, l'axiomatisation et la logique déductive initiées en classe préparatoire.

Le tronc commun de mathématiques est un enseignement à vocation transversale qui se donne pour objectif de fournir aux étudiants la maîtrise d'outils mathématiques actuels, qui dépassent le cadre académique des classes préparatoires, et qui sont nécessaires à une bonne compréhension du reste de la formation: aérodynamique, mécanique des structures, électronique, automatique, traitement du signal...

La formation en mathématiques appliquées vise en particulier trois domaines d'application importants dans l'industrie:

- la modélisation et la simulation numérique: identifier les modèles, reformuler et résoudre les problèmes considérés, combiner les différentes méthodes abordées, les simuler sous MATLAB, ...;
- le traitement du signal et des images: nommer les différentes transformées, les associer aux bonnes équations, les combiner, les différencier, ...;
- l'analyse de données de grande dimension: identifier les lois de probabilités, reformuler les problèmes considérés, utiliser les tests statistiques, ...

### CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

- **Connaissance**: à partir des cours en amphi et des photocopiés distribués, l'étudiant devra être capable de mémoriser, identifier, définir et formuler les différentes notions et différents résultats abordés.
- **Compréhension**: à partir des exercices qui seront faits en petites classes, l'étudiant devra être capable de reconnaître, comparer et décrire ces différentes notions et différents résultats.

- **Application**: à partir des exercices et des travaux pratiques sur table ou sur machine, l'étudiant devra être capable d'illustrer, simuler et résoudre les différents problèmes qui lui seront soumis.

### Mathématiques (30 h)

Équations aux dérivées partielles - Théorie et simulations numériques:

- rappels et différences finies;
- équations hyperboliques et méthode des volumes finis;
- équations elliptiques et méthode des éléments finis.

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

Les cours sont construits de telle sorte que l'unique pré-requis est le programme d'analyse fonctionnelle de 1A.

Une harmonisation sera mise en place sur LMS pour les AST.

### RÉSUMÉ

Le but de ce cours est l'étude de certaines équations aux dérivées partielles que l'on rencontre fréquemment dans les applications notamment en lien avec la mécanique des structures, l'aérodynamique, ou l'électromagnétisme. Deux familles d'équations sont abordées: hyperbolique et elliptique. Chacune de ces familles d'équations est étudiée tant d'un point de vue théorique que numérique. Chaque partie du cours se conclut par un BE en salle machine.

### ÉVALUATIONS

La notation du bloc de Mathématiques Appliquées s'appuiera sur 4 notes, calculées à partir de trois types d'évaluation:

- un BE écrit (2h sur table) (valant pour 35 % de la note finale);
- deux BE numériques notés en séance (chacun valant pour 15 % de la note finale);
- un BE numérique noté sur compte rendu (valant pour 35 % de la note finale).

Le bloc sera validé si la note finale est supérieure ou égale à 10/20.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## SIGNAUX ET SYSTÈMES

Responsable: Ghislain HAINE / Guillaume DUFOUR

Le tronc commun Signaux et Systèmes a pour but de donner aux élèves les notions de base permettant la compréhension des systèmes d'acquisition, de contrôle, de traitement et de transmission de l'information. Le spectre des domaines techniques abordés est large et comprend, entre autres, l'électrotechnique et l'électronique de puissance, l'électronique analogique et numérique, le traitement du signal, les télécommunications, l'automatique.

### ORGANISATION

Le bloc Signaux et Systèmes est présent sur les deux premières années du cursus ingénieur pour un volume total de 125 heures de face à face pédagogique.

En deuxième année, il se décline sous la forme de trois parties pour un total de 70 heures de face à face pédagogique:

- le traitement du signal aléatoire;
- les systèmes de communication sans fil;
- l'automatique.

Les cours y sont dispensés par une approche classique sous la forme de cours magistraux, travaux dirigés, et bureaux d'étude. En automatique le cours sera construit autour d'une étude de cas servant de fil conducteur.

### CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

- modéliser, analyser et traiter des signaux non-déterministes grâce aux processus aléatoires (en particulier dans le cas de signaux stationnaires au sens large);
- identifier et décrire les éléments constitutifs d'une chaîne de transmission (électronique hyperfréquence, traitement du signal);
- comprendre et maîtriser la mise en œuvre des outils de base de la modélisation et de l'analyse des systèmes dynamiques;
- comprendre et maîtriser la mise en œuvre des outils de base de la synthèse de lois de commande;
- analyser les performances d'un système de régulation complexe.

### DÉCOUPAGE:

#### Traitement du signal aléatoire (20 h)

- généralités sur les processus et séquences aléatoires;
- définition, filtrage et spectre des processus stationnaires au sens large;

- exemples de processus classiques (bruit blanc, processus Gaussien);
- représentation complexe des signaux aléatoires à bande étroite.

#### Introduction aux systèmes de communication sans fil (10 h)

- circuits et antennes hyperfréquences;
- traitement du signal pour les chaînes de transmission.

#### Automatique (40 h)

- établissement et lecture de schémas fonctionnels;
- représentation d'état et fonction de transfert (case des systèmes mono-variables);
- analyses temporelle, fréquentielle et modale et leurs complémentarités;
- commande fréquentielle, correcteurs PID;
- commande modale;
- analyse de la robustesse;
- estimation de variables non mesurées;
- sensibilisation à la discrétisation et implémentation de loi de commande;
- mise en œuvre sous Matlab.

### ÉVALUATION

- traitement du signal: BE notés, examen écrit;
- introduction aux systèmes de communication sans fil: questionnaire LMS;
- automatique: QCM, test sur machine.

### BIBLIOGRAPHIE

Athanasio PAPOULIS, Probability, random variables, and stochastic processes, 3rd ed, New York; Saint Louis; Paris [etc.], McGraw-Hill, 1991.

Michel JOINDOT et Alain GLAVIEUX. Introduction aux communications numériques. Dunod, 2007.

David M. POZAR. Microwave Engineering, 4th ed, John Wiley & Sons, 2011

Modern Control Systems Ed Eleventh Edition de Richard C. Dorf et Robert H. Bishop

Gene F. FRANKLIN, J. DA POWELL, Abbas EMAMI-NAEINI, Feedback Control of Dynamic Systems (7th Edition)

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## MÉCANIQUE DES SOLIDES DÉFORMABLES

Responsable : Laurent MICHEL

Cet enseignement participe à l'acquisition par tout ingénieur diplômé de l'ISAE, d'une culture pluridis-ciplinaire en mécanique des structures afin qu'il puisse dialoguer avec des ingénieurs spécialistes mais aussi comprendre les approches complexes transverses du triptyque : conception, fabrication et dimensionnement des structures.

Ce module de Tronc Commun est composé de deux parties qui se complètent et interagissent. La première est dédiée au calcul de structures (35h). Elle présente la modélisation des structures de type plaque et aborde la dynamique des structures. Les principes et outils de la méthode aux éléments finis appliquée au calcul de structures sont ensuite posés. La pratique d'un code de calcul permet d'illustrer à la fois le comportement mécanique des structures et les problématiques associées à la modélisation numérique des structures. La deuxième partie présente les éléments généraux de la conception et fabrication des structures (13h). Les différentes méthodes de fabrication sont présentées, illustrées par des applications actuelles, et le lien avec les choix de conception est souligné. Deux initiations à la Conception Assistée par Ordinateur et à la pratique des méthodes de fabrication permettent d'illustrer le lien Conception et Fabrication, et les exigences de qualité en Fabrication

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les objectifs de ce cours de tronc commun sont de donner les connaissances et capacités permettant aux élèves :

- de comprendre et d'analyser le comportement d'une structure de type plaque,
- de déterminer les modes propres d'une structure simple de type poutre ou plaque ;
- et d'utiliser la méthode des éléments finis appliqués au calcul de structure pour des calculs linéaires élastiques en hypothèses de petites perturbations, pour des calculs de flambage, et pour effectuer une analyse modale

et aussi de :

- faire découvrir le monde de la fabrication aéronautique et montrer les liens avec la conception : dessiner pour fabriquer ;
- sensibiliser aux liens et moyens modernes d'échange entre conception, calcul et fabrication : ingénierie simultanée ;

- initier à la CAO et aux méthodes de fabrication.

Compétences attendues :

À l'issue du module, l'étudiant devra être capable de :

- décrire et utiliser la théorie classique des plaques minces pour un dimensionnement en résistance, et en rigidité ;
- décrire la démarche et les hypothèses qui permettent d'utiliser la méthode des éléments finis ;
- décrire et mettre en oeuvre les étapes de modélisation pour poser, résoudre et analyser des simulations ou modèles pour des structures minces ;
- commenter et vérifier les résultats par rapport à des estimations ou solutions analytiques ;
- décrire les différents processus de fabrication généralement utilisés en aéronautique ;
- définir les limites d'utilisation et les contraintes de conception de ces processus ;
- décrire les processus d'échanges d'information entre les acteurs de l'industrialisation d'un système aéronautique ;
- estimer les ordres de grandeur des flux de production et leurs implications dans les moyens de fabrication ;
- relier les processus de fabrication aux propriétés des pièces auxquelles ils sont destinés selon les grandes classes de matériaux ;
- placer les contraintes de fabrication dans l'environnement juridique et économique de l'aéronautique.

### PROGRAMME :

- modèle de plaque mince ;
  - rappels systèmes discrets ;
  - notion de coupure, Efforts internes de plaques ;
  - comportement de membrane et de plaque en flexion ;
  - approche énergétique pour la résolution des équations ;
  - flambage
- vibration de poutre (et de plaque) : analyse modale ;
  - vibration longitudinale ;
  - vibration de flexion ;

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MÉCANIQUE DES SOLIDES DÉFORMABLES (SUITE)

Responsable: Laurent MICHEL

- ⇒ MEF:
  - l'usage des éléments finis: qu'est-ce qu'un code de calcul de structures. Exemples de solveurs (flambage, linéaire, analyse modale);
  - formulations intégrales de la mécanique: notions de travail et d'énergies;
  - méthode des éléments finis: notions de discrétisation et d'approximation;
  - fonctions de forme et matrices élémentaires. Exemples;
  - discrétisation et Assemblage. Exemples 1D/2D;
  - forces nodales équivalentes;
  - résolution d'un problème complet;
  - calcul des déformations et contraintes par résolution en déplacement;
  - compléments sur les EF 2D;
- ⇒ Conférences:
  - Organisation du calcul de structures dans l'industrie Aéronautique
- ⇒ le marché de l'aéronautique: particularisme et contraintes.
  - les matériaux, procédés de fabrication et règles de conception associées;
  - l'usine du futur;
  - fabrication des matériaux composite;
  - fabrication des matériaux métalliques (usinage, formage, fabrication additive);
  - traitement de surface;
  - assemblage.

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

- ⇒ « Mécanique générale » et « Mécanique des solides déformables » de 1A;

- ⇒ mise à niveau à effectuer pour les AST sans UE en « résistance de matériaux ou des structures ».

### ÉVALUATIONS

Partie Calcul de Structure :

- 2 BE couplés : 1 BE Analytique + 1 BE Numérique,
- 1 Contrôle de connaissance,
- 1 Examen écrit

Partie Conception :

- 1 Contrôle de connaissance

Le bloc est validé lorsque cette moyenne est égale à 11/20

### BIBLIOGRAPHIE

- J-F. Imbert, Analyse des structures par la méthode des éléments finis, Cépaduès Edition, 1984
- O-C. Zienkiewicz, La méthode des éléments finis, Mc Graw-Hill, 1973
- P. Trompette, Mécanique des structures par la méthode des éléments finis, Masson, 1992
- J-C. Craveur, Modélisation des structures: Calcul par éléments finis, Masson, 1996
- M. Cazenave, Méthode des éléments finis: Approche pratique en mécanique des structures, Dunod, 2010
- Y Gourinat, Introduction à la dynamique des structures, Cépaduès, 2001
- S Laroze, Mécanique des structures: Tome 1. Solides élastiques, plaques et coques, Cépaduès Edition, 2005.
- G Penna, Fabrication des avions (cours ENSICA 1985)
- Analyse de la valeur, Analyse fonctionnelle, Normes AFNOR NFY 50150
- Techniques d'utilisations des photons, Collection DOPEE, 1985,
- C. Petitdemaue, Les techniques de l'ingénieur, La maîtrise de la valeur, AFNOR

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE	24
STAGE DE RECHERCHE	37
MODULES ÉLECTIFS	39

## INFORMATIQUE

Responsable : Christophe GARION

L'objectif de ce bloc est de permettre aux étudiants de maîtriser le développement de logiciel de taille moyenne et de qualité industrielle (conception, programmation, tests, paradigme orienté objet, travail en équipe). Ils acquerront également une culture générale informatique leur permettant de situer l'intérêt des technologies d'information et de communication dans le contexte des projets industriels, et de comprendre la complexité du développement de composants et d'architectures logicielles. Ils connaîtront et comprendront ensuite les principes fondamentaux des réseaux de communication (architecture de base, mécanismes et protocoles). Enfin, une introduction à l'optimisation combinatoire via la programmation linéaire en nombres entiers sera faite.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPETENCES

L'accent sera mis sur la conception et la programmation orientées objet avec Java et UML, ainsi que sur les bases des réseaux de communication, à la fois en termes de protocoles de communication, de mécanismes et d'architecture. En ce qui concerne la partie « Optimisation combinatoire », la programmation linéaire en nombres entiers sera l'outil de modélisation et de résolution de problèmes présenté.

#### Conception et programmation orientées objet (CPOO)

À l'issue de cet enseignement, les élèves devraient être en mesure de :

- Expliquer avec leurs propres mots les concepts du paradigme orienté objet (classes, objets, encapsulation, couplage, généricité, polymorphisme).
- Lister et rappeler la syntaxe des constructions du langage Java couvrant les paradigmes orienté objet, procédural et impératif.
- Utiliser le langage Java pour réaliser un programme conforme à un cahier des charges détaillé.
- Concevoir un programme Java utilisant les constructions les plus appropriées à partir d'un cahier des charges non détaillé.
- Reconnaître les différents éléments d'un diagramme de classes ou de paquetages UML : classes, attributs, méthodes, relations, rôles, multiplicités, paquetages.
- Reformuler les différents éléments d'un diagramme de classe ou de paquetages UML en Java.

#### Réseau

À l'issue de cet enseignement, les élèves devraient être en mesure de :

- Expliquer le fonctionnement de la pile protocolaire TCP/IP en utilisant un vocabulaire approprié (notamment mode connecté ou non connecté, socket, API, protocole, adressage, port, multiplexage).
- Différencier les rôles, les protocoles et les mécanismes mis en œuvre dans une application communicante et dans chacune des couches transport, réseau et liaison de la pile TCP/IP.
- Identifier les types de réseau, les protocoles et les mécanismes mis en œuvre dans une communication de bout en bout.
- Expliquer quelques problèmes de sécurité réseau communs.

- Expliquer les principales spécificités d'un réseau de communication embarqué ou spatial.

#### Introduction à l'optimisation combinatoire

À l'issue de cet enseignement, les élèves devraient être en mesure de :

- Donner la classe de complexité de problèmes classiques
- Modéliser un problème d'optimisation adapté en programmation linéaire en nombre entiers
- Utiliser une API Python pour résoudre un problème de programmation linéaire en nombres entiers

### PREREQUIS ET REMISE A NIVEAU

En ce qui concerne la partie CPOO du module, le seul prérequis est une bonne connaissance des paradigmes de programmation impératifs et procéduraux dans n'importe quel langage de programmation procédural (Python, C, Pascal, etc.). Une connaissance du langage est C est cependant conseillée, du fait de la proximité syntaxique de Java et C. Des documents sont proposés pour une remise à niveau.

Pour la partie Optimisation Combinatoire, le cours de première année sur la programmation linéaire sera le seul prérequis.

### EVALUATIONS

Le module est évalué par quatre notes :

- une note de projet (40% de la note finale) pour la partie CPOO. Le projet sera démarré individuellement puis complété en petits groupes imposés, et il sera à faire en dehors des heures de cours. La partie individuelle sera rendue à part et comptera pour la moitié de la note de projet, soit 20% de la note finale. Aucun rapport n'est demandé.
- une note d'examen (20% de la note finale) pour la partie CPOO. L'examen se déroulera sur une machine permettant de développer des applications en langage Java. Tous les documents seront autorisés.
- une note d'examen sous forme de quiz (20% de la note finale) pour la partie Réseau.
- une note d'examen sous forme de quiz (20% de la note finale) pour la partie Optimisation Combinatoire.

### BIBLIOGRAPHIE

- Ken Arnold, James Gosling, and David Holmes. The Java Programming Language (5th Edition), Prentice Hall, 2012
- Oracle, The Java Tutorials (online) : <https://docs.oracle.com/javase/tutorial>.
- J.F. Kurose, K.W. Ross, Computer Networking : A Top-Down Approach, 6th Edition, Pearson, 2013.
- L. Wolsey, Integer Programming, John Wiley & sons, New York, 1998.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## PHYSIQUE

Responsable : Sébastien MASSENOT

La vocation des enseignements du bloc de Physique est de conforter l'assise scientifique de tout ingénieur par des enseignements à caractère fondamental et transverse permettant d'adresser plusieurs champs disciplinaires. L'introduction de nouveaux concepts permettra également d'apporter une lucidité technique à tout ingénieur devant faire face à un problème en rupture avec des modélisations classiques.

Basés sur les fondamentaux de 1A, l'objectif des enseignements de seconde année est de présenter les concepts physiques relatifs à des éléments de Physique macroscopique devant être connus par tout ingénieur en aéronautique et spatial. Il s'agira d'abord d'introduire les principaux modes de transferts de chaleur (conduction, convection et rayonnement) ainsi que la mise en œuvre mathématique de la résolution de problèmes pertinents au domaine aérospatial (couche limite thermique, facteurs de formes, chambre de combustion...). En un second temps, la Physique des phénomènes hors-équilibre sera abordée. Il s'agira de donner un cadre général pour les phénomènes de transports d'un point de vue macroscopique avec la thermodynamique des processus irréversibles puis microscopique avec une introduction à l'équation de Boltzmann dans le cadre de la physique statistique hors-équilibre.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

A l'issue de ces enseignements, les élèves devront être capable de :

- savoir décrire les trois modes de transferts de la chaleur ainsi que connaître leurs spécificités ;
- identifier, analyser et résoudre un problème de conduction stationnaire ou instationnaire ;
- d'appréhender les phénomènes de diffusion de la chaleur dans les fluides en mouvement et d'en identifier les conséquences ;
- décrire les principes des transferts radiatifs et de calculer les échanges entre surfaces noires ou grises ;
- décrire les notions fondamentales mises en jeu dans l'étude des processus irréversibles linéaires ;
- maîtriser les ordres de grandeur associés aux disciplines rencontrées.

### Physique des transferts de chaleur (16 h)

- importance des transferts de chaleur dans les applications aéronautiques et spatiales ;
- transferts de chaleur par conduction : Flux thermiques, loi de Fourier, conductivité thermique, équation de la chaleur en régimes stationnaires et instationnaires ;

- transferts de chaleur par convection : Équation de la chaleur dans un milieu en mouvement ; Application à la couche limite thermique en aérodynamique ;
- transferts de chaleur par rayonnement : Propriétés énergétiques des rayonnements. Corps noir et loi de Planck. Émissivité des corps réels. Échanges radiatifs entre surfaces Lambertiennes. Facteurs de formes.

### Physique des processus irréversibles (14 h)

- intérêt de la connaissance des situations hors-équilibres lors de l'évolution d'un système. Production d'entropie lors d'une transformation ;
- les sources de l'irréversibilité en Physique ;
- thermodynamique des processus irréversibles : Forces thermodynamiques, flux et réponse linéaire. Description des phénomènes de transport. Applications à la conduction thermique et aux effets thermoélectriques ;
- physique statistique hors-équilibre : évolution temporelle de la fonction de distribution avec l'équation de Boltzmann. Introduction à la méthode Lattice-Boltzmann en dynamique des fluides.

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

Programme de physique et de mathématiques de classes préparatoires. Tronc commun de première année en thermodynamique des fluides et en physique statistique à l'équilibre.

Une harmonisation en physique statistique à l'équilibre serait souhaitable.

### ÉVALUATIONS

La validation du bloc est à 10/20.

Un BE noté (synthèse des modes de transferts thermiques) et un QCM final sur l'ensemble des notions abordées dans le bloc.

### BIBLIOGRAPHIE

Transferts thermiques, 5<sup>ème</sup> édition, J. Taine, F. Enguehard & E. Iacona Dunod (2014)

A heat transfer textbook, 3<sup>ème</sup> édition, J. H. Lienhard IV & J. H. Lienhard V, Phlogiston (2008)

Thermodynamique statistique – Equilibre et hors-équilibre, M. Le Bellac & F. Mortessagne, Dunod (2001)

Physique statistique hors-équilibre, N. Pottier, CNRS Editions (2007)

Phénomènes de transferts, A. Lallemand, Ellipses (2012)

Physique statistique à l'équilibre et hors équilibre, 3<sup>ème</sup> édition, C. Ngô & H. Ngô, 2008, Dunod.



---

# TRONC COMMUN HUMANITÉS

---

Arts & cultures.....	15
Langue vivante 1.....	17
Langue vivante 2.....	18
Pratiques corporelles.....	19
Introduction aux enjeux environnementaux .....	20
Intercultural Workshop .....	22
Cycle de conférences: Science, culture et société .....	23

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3 & 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## ARTS & CULTURES

Responsable : Yves CHARNET

« J'aime l'allure poétique, à sauts et à gambades »  
Montaigne, Essais, (III, 9)

« Vivre est le métier que je veux lui apprendre »  
Rousseau, Mile ou De l'éducation

### PROJET PÉDAGOGIQUE

La formation humaine du futur ingénieur fait, à l'ISAE-SUPAERO, le pari des Arts & cultures. En complément de la rigueur scientifique traversant, et de part en part, les enseignements qui construisent le socle de son savoir technique, chaque élève se voit proposer, pendant les deux premières années de son cursus, un détour par les disciplines du sens qui s'adressent à lui comme à un sujet de la pensée réflexive et/ou de la pratique créatrice. Ayant vocation d'éveil, ces initiations aux aventures artistiques comme aux sciences humaines sollicitent, chez l'élève-ingénieur la part subjective d'une personnalité en devenir. Dans un tel cadre les intervenant-e-s du module collaborent à la construction de cette identité individuelle en favorisant d'autres modes d'accès à la connaissance que ceux de la raison technologique. Chaque élève est invité à se réapproprier activement les sensations, les émotions, les significations propres à son histoire personnelle et à sa présence au monde. À la recherche de ces « émotions qui sont génératrices de pensée », les disciplines du sens revendiquent que, comme l'écrivait Bergson, « l'invention, quoique d'ordre intellectuel, peut avoir de la sensibilité pour substance ».

Les ateliers, qui constituent le cadre privilégié de ce curriculum, ont moins comme fonction de présenter des spécialités savantes que de mettre en oeuvre, et de façon chaque fois unique, le projet pédagogique propre aux arts & cultures : se connaître soi-même & comprendre les autres. En faisant un détour par des disciplines qui ne servent à rien, les apprenant-e-s essayeront d'identifier en eux ces ressources (*capabilities*) qui, tant sur le plan de la réflexion que sur celui de la création, leur permettront de s'épanouir, dans leur vie professionnelle et personnelle, comme des sujets à part entière. De savoir de quoi ils sont capables dans une expérience du monde ouverte sur la richesse de leur propre singularité comme sur celle des autres. Suivant plus l'allure de Montaigne que la méthode de Descartes, cet enseignement procède par essais successifs d'hypothèses théoriques et/ou de bricolages artistiques. Aux réponses clés-en-main des différents prêts-à-penser fermés sur leur assurance dogmatique, ils préfèrent les risques d'une recherche ouverte sur l'inconnu. Au programme : apprendre à questionner les problèmes du « vivre »

dans une situation de crise historique dont il convient de mesurer les mutations et d'affronter les incertitudes. Par l'autonomie du jugement comme par l'énergie de l'imagination, il s'agit donc de favoriser l'émancipation de l'élève en apportant au jeune technicien, qui devra le faire fonctionner, des moyens de regarder le monde dans toute sa complexité et de le repenser dans une interprétation renouvelée.

### WORKSHOPS ET ATELIERS À LA CARTE

Pareil projet pédagogique implique de créer des espaces de transmission qui soient adaptés à cette volonté de mettre au coeur de la formation humaine les capacités d'analyse et d'invention propres à la personne de chaque apprenant-e. Dans cette perspective les ateliers d'arts & cultures rompent résolument avec la pratique des cours magistraux qui diffuse, sous la forme d'un monologue, le savoir de l'enseignant à un public passif. Ils inaugurent des lieux de débat(s) entre l'intervenant-e et l'élève où le dialogue des interprétations relève d'une aventure commune et partagée. Les différents ateliers proposés par ce curriculum se répartissent en deux champs disciplinaires portant chacun sur un des aspects principaux de la production du sens : la pensée sensible, d'une part, et la pensée critique, d'autre part. Initiations aux arts, pour la pensée sensible ; initiations aux sciences humaines et sociales, pour la pensée critique. Ces deux champs composent un paysage créatif et cognitif que chaque élève parcourt selon son rythme, en menant une enquête intellectuelle toujours susceptible de se transformer en quête personnelle.

Le module Arts & cultures permet d'aborder ces champs disciplinaires selon deux options principales. En première comme en seconde année l'élève peut choisir de suivre un seul atelier (formule fil rouge), pour prendre le temps d'un parcours approfondi, ou de découvrir deux ateliers différents (formule tissage), pour profiter de la variété d'un parcours diversifié. Cette dernière formule permet, par ailleurs, d'accueillir des élèves qui ne rejoindraient la formation ingénieur que pour un seul semestre et qui pourraient ainsi valider un atelier au choix. Enfin, en marge de ces ateliers généraux proposés à toute la promotion, la formule *workshop* offre la possibilité, en première comme en seconde année, de substituer l'ensemble du curriculum par un atelier intensif animé par un artiste. Centrés sur les problématiques de la création, ces ateliers s'adressent de façon privilégiée aux élèves particulièrement désireux de s'impliquer dans la production d'une forme littéraire, théâtrale, picturale ou musicale. En fonction

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## ARTS & CULTURES (SUITE)

de la dynamique des groupes et de l'avancement de leurs travaux les ateliers intensifs pourront se voir attribuer un quota d'heures supplémentaires (entre 5 & 15) permettant de réaliser une présentation publique du projet: concert de musiques actuelles, représentation théâtrale, exposition d'arts plastiques, mise en voix/édition des textes issus du *workshop* écriture. Enseignements « hors format », les quatre *workshops* sont programmés à des horaires spécifiques, en dehors de l'emploi du temps du tronc commun, de façon à pouvoir accueillir non seulement les élèves des deux premières années, mais aussi ceux de troisième année qui voudraient poursuivre leur aventure artistique.

Quelle que soit la formule (fil rouge, tissage ou *workshop*), la plus grande liberté est laissée, d'une manière générale, aux élèves pour nouer, selon leur désir, des liens entre les thématiques comme pour orienter les parcours selon leur curiosité propre. Au terme des deux années les choix opérés par les futurs ingénieurs esquisseront les contours d'une carte d'identité artistique et/ou culturelle. – Bénéfices personnels d'un curriculum à la carte.

### ÉVALUATION INVENTIVE

A apprentissage inventif, évaluation inventive.

La variété des questionnements et des pédagogies mises en oeuvre dans un module qui multiplie volontairement les transversalités en faisant se croiser aussi bien les pratiques artistiques et les sciences humaines que les approches sensibles et les réflexions critiques ne peut en effet se traduire que par des évaluations particulières à chaque atelier. Le point commun de ces différentes manières d'apprécier ce qui s'est produit pendant le travail en commun entre les apprenant-e-s et les intervenant-e-s sera de mesurer comment chaque élève a répondu à la demande d'implication personnelle propre à cet enseignement qui sollicite tout particulièrement sa créativité intellectuelle aussi bien qu'esthétique.

Chaque atelier favorisera la production par les élèves d'objets spécifiques qui garderont la trace des pensées sensibles ou critiques mises en oeuvre tout au long de l'enseignement. Peintures, textes littéraires, réflexions philosophiques, enquêtes anthropologiques ou sociologiques, reportages-photos, vidéos, journal, carnets de bord, mises en voix théâtrales ou poétiques, performances, objets désignés, compositions musicales... Cet inventaire non-exhaustif voudrait, pour (ne pas) finir, insister sur le fait que les arts & cultures attendent de l'élève qu'il

s'engage dans un geste personnel en direction d'espaces mentaux qui ne lui sont pas familiers mais qui lui permettent de s'exprimer autrement. Dans cette perspective le véritable critère de l'évaluation sera le trajet fait par chacun-e en direction de l'inconnu. Pareille optique considère, en effet, l'élève comme un sujet en mouvement. Vers la vie.

### WORKSHOPS

Écriture(s), Théâtre, Création Musicale, Arts Plastiques.

### ATELIERS

#### Fil rouge (S3 et S4)

Textes & images: décrire, critiquer, écrire.

Trouver sa voix.

Un souffle de design.

L'ingénieur au coeur de l'approche éthique.

Le bleu & le noir: rêver & réinventer la Méditerranée.

#### Tissage (S3)

Impressions Baudelaire: de «l'art romantique» au «peintre de la vie moderne».

Du portrait.

Fabriquons des moteurs, toujours des moteurs, ici d'écriture.

La mission spatiale au cinéma.

Tant qu'il y aura des hommes, il y aura des images.

Faust à l'opéra (et ailleurs).

Réflexions philosophiques sur ce qui fait la vie.

Cosmologie & philosophie.

La PMA: pour ou contre la liberté des femmes.

Le management est un art.

#### Tissage (S4)

Cinéma de science fiction & prospective: les enjeux éthiques & politiques de la technologie de demain.

Art & astrophysique.

Exposer & conserver l'oeuvre d'art.

*Houston, we have a problem!*

Comment mieux communiquer en situation interculturelle?

Connaître l'Islam.

Les hommes, les animaux, les nourritures: quelle politique?

Anthropologie de la connaissance: l'intelligence & la bêtise.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## LANGUE VIVANTE 1

Responsable : A. O'MAHONEY / R. PEARSON

Thanks to the Common Core module and the electives in 1A, you have already had the chance to break the ice and overcome the linguistic barriers. You are now ready to travel to new horizons!

The 2A is divided into four distinct parts:

### Elective: 16 hours

The year begins in September with a 16-hour elective. Your choice! We will meet once a week on Friday mornings. You choose one out of a range of electives on themes like: The Radio Show, Being European Today, the Revenge of Geo-geography, the Wonders of Science Fiction, Taboos and Issues, Flying a Light Aircraft, Improving Your English through YouTube, Informal Expression... This elective enables you to explore, discuss and debate on a diversity of different subjects and hone your all-round communication skills. Assessment is based on the different assignments given individually as well as in teams and class participation.

### A common core class: 10 hours

This year we will be working on a Solutions-based cultural Project. In small teams, you will investigate familiar spheres of life in other countries, with the objective of selecting and "borrowing" things from one or two countries (from different continents) that might be useful in improving one area of France or French life. You will compare and contrast the two sets of ideas from the two countries, and explain how each might contribute to the area of France or French life you have decided to focus on. Team-work and sharing information are key skills here.

Inter Cultural Workshop: brings together the 2nd-year engineering and Master 1 students. This workshop is an opportunity for you to grow in awareness on multicultural issues thanks to the examination of the theory and practice of intercultural management. This is done in multicultural teams that reveal the complexity and the advantages of being part of an international environment; the teams thus create a microcosm reflecting the reality of the professional world into which they will soon step out.

### The overall objectives are for you to:

- ➔ develop cross cultural communication skills

- ➔ learn how to work effectively in a team: listening carefully to others, fully investing yourselves, actively participating in the group work and feeling a responsibility for the learning of each member of the team
- ➔ learn how to work autonomously
- ➔ adapt to new situations
- ➔ understand how the intercultural world and the world of work are intertwined

During the workshop you will have the opportunity to experience different ways of working:

- ➔ teamwork with the guidance of a tutor: the tutor will check your progress and guide you if need be;
- ➔ individual teamwork: where you work autonomously as a group on a problem;
- ➔ individual work: where you each undertake individual research to help solve the problem;
- ➔ group work: where your teams are split up and you form a new group for the purpose of the activity.

PIR: The 2A Science Project: a 20 hour class in May and June, brings our year to a close. In this module, the English and the science professors collaborate to bring you the best of both worlds. This project trains you to apply scientific English in the research process as well as in the preparation of the final oral presentation and written paper. Publication in a scientific journal is an option. Assessment is based on class participation and the final oral presentation.

### OTHER FOREIGN LANGUAGE OPTIONS

Students who are native speakers of English/ bilingual may, after discussion with the Languages & Communication team, opt for another Foreign Language (Mandatory English): German, Arabic, Chinese, Spanish, Italian, Japanese, Portuguese (Brazilian), Russian, French as a Foreign Language.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 3 & 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## LANGUE VIVANTE 2

Responsable : Bhairavi MAHADEVIA / Dorothee LAMOUR

L'enseignement des langues est assuré par une équipe multiculturelle d'enseignants (une vingtaine de nationalités) dont l'objectif principal est de préparer les étudiants à une carrière internationale.

Les groupes à effectif réduit (max. 16) permettent de mettre l'accent sur les compétences communicationnelles indispensables à notre public d'ingénieurs et doctorants.

Le volume horaire du module est de 46 heures à raison de 2 heures par semaine sur 23 semaines de début octobre à début mai, le mardi de 12h45 à 14h45.

### LANGUES AU CHOIX

Allemand, arabe, chinois, espagnol, italien, japonais, Langue des Signes Française (LSF), portugais, russe et Français Langue Étrangère (FLE).

### FLE

L'enseignement du FLE est proposé aux étudiants internationaux.

L'équipe pédagogique de la section FLE est composée de 15 enseignants vacataires et d'un professeur permanent, tous spécialisés dans l'enseignement du FLE.

L'objectif de ce module est de permettre aux étudiants internationaux d'acquérir les compétences linguistiques et les connaissances culturelles indispensables à leur insertion sociale, académique et professionnelle.

### OBJECTIFS

- Découvrir et/ou perfectionner une langue étrangère autre que l'anglais ;
- Permettre à nos élèves d'acquérir des compétences linguistiques et culturelles pour répondre aux enjeux du monde multiculturel dans lequel ils évoluent ;
- Développer des compétences communicationnelles adaptées à chaque niveau.

### COMPÉTENCES

- compétences linguistiques selon le CECRL
- compétences interculturelles (savoir-être et savoir-faire) à travers l'apprentissage d'une langue et d'une culture.

### ÉVALUATION

- évaluation des compétences linguistiques selon le Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues (CECRL).
- le choix du format est à discrétion de l'enseignant en fonction du parcours pédagogique qu'il propose.
- spécificité du FLE, un test de fin de semestre évaluant la compréhension écrite et orale et la production écrite comptant pour 50% de la note finale et des évaluations en continu portant sur les 4 compétences (compréhension écrite et orale / production écrite et orale) comptant pour 50% de la note finale

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 3 & 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## PRATIQUES CORPORELLES

Responsable : Stéphane FROUMENTY

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- **L'autonomie** : développer les moyens d'agir sur l'environnement : par la compréhension des enjeux pour agir en sécurité pour soi et pour les autres, l'acquisition de compétences motrices réutilisables, l'acquisition de méthodes pour aborder la pratique.
- **Le plaisir** : permettre une réelle mise en jeu du corps en mobilisant des ressources adaptées pour une pratique physique émotionnellement riche : apprendre, partager, contribuer, ressentir...
- **L'équilibre** : proposer une pratique régulière et raisonnée pour contribuer au bien-être, à la santé, à instaurer un rythme propédeutique à la formation professionnelle et personnelle.

### COMPÉTENCES GLOBALES SUR LES 3 ANS

- s'engager avec lucidité et pertinence. L'accent est mis sur la connaissance de soi au travers de ces dimensions cognitives, affectives et motrices ;
- s'engager avec lucidité et pertinence. Ressources mobilisées : règles de sécurité, stratégies, logiques d'action, connaissance des matériels, principes de préparation et de régulation de l'effort ;

- adapter sa motricité, sa gestuelle. Ressources mobilisées : habiletés et coordination, déplacements, prise d'information, sensations et repères kinesthésiques ;
- s'impliquer régulièrement et mobiliser ses moyens. Ressources mobilisées : investissement énergétique et informationnel, auto et co-évaluation, fixation et régulation des objectifs ;
- s'intégrer au fonctionnement collectif et agir de façon constructive pour le groupe.

### ÉVALUATION

- évaluation formative : auto et co-évaluation en cours de formation par des mises en situation d'animation et de remédiation ;
- certificative avec 2 niveaux de validation :
  - assiduité : 2 absences non justifiées tolérées par semestre ;
  - acquisition des compétences : On évalue l'efficacité réelle des compétences en fin de formation (compétent : toujours, souvent, parfois, jamais ?) dans les 4 grandes familles de compétences transversales identifiées.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 3

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INTRODUCTION AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Responsable : P.-M. GUNIEHEUC

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Le but de ce cours est de participer à la formation d'ingénieurs conscients de leur rôle à jouer dans la transformation écologique de notre société pour la mettre sur des trajectoires durables. Pour cela, ce cours vise à :

- 1. Fournir les éléments factuels indispensables à la compréhension de la situation environnementale actuelle ainsi que les mécanismes qui y ont mené ;
- 2. Inciter les étudiants à se saisir de ces sujets.

Le cours sera divisé en trois parties :

#### Constat (9h)

Cette première partie vise à donner les connaissances nécessaires et suffisantes pour :

- comprendre les mécanismes physiques et environnementaux associés à la consommation d'énergie, aux changements climatiques et aux impacts environnementaux en général.
- prendre la mesure de l'importance et de la complexité de chacun des enjeux et des liens existants entre eux.

Les 4 cours « énergie », « ressources », « changements climatiques » et « biodiversité & autres impacts environnementaux » seront le socle de connaissance nécessaire aux étudiants pour poser un regard objectif sur les différentes problématiques.

2 BE permettront de travailler sur les ordres de grandeur énergétique et sur le changement climatique.

- Intervenants : Nicolas Gourdain, Jérôme Fontane, Florian Simatos, Pierre-M Guineheuc, ISAE SUPAERO

#### Causes (8h)

##### Les facteurs économiques

L'objectif de cette séance sera de présenter la manière dont la nature et les ressources naturelles sont pensées au sein de la théorie économique. Depuis l'économie classique jusqu'à l'économie écologique contemporaine, il s'agira de montrer comment l'absence de prise en considération des flux de matière et d'énergie inhérents aux fonctionnements économiques ont pu participer à la situation climatique actuelle. Cette séance permettra de donner un aperçu de la place et

du rôle des mécanismes de marché dans la constitution d'une activité économique durable (effets de la croissance économique, enjeux du productivisme, mécanismes de compensation, valorisation des services écosystémiques, pilotage économique par indicateurs de performance, etc.).

- Intervenants : Gaël Plumecocq, CR INRA

##### Les facteurs techniques

Cette séance aura pour but de montrer comment les techniques donnent forme à la société qui les utilise. Afin de dépasser les conceptions de sens commun qui voient les techniques comme des outils neutres, les étudiants seront amenés à observer la manière par laquelle une société s'organise en fonction des techniques qu'elle utilise. Un tel regard permettra ainsi de comprendre comment certains objets techniques aboutissent à créer une organisation sociale qui rend plus difficile, ou non, la gestion des enjeux climatiques (par exemple, la diffusion de la voiture individuelle, en rendant possible l'éloignement domicile/travail, a augmenté mécaniquement le volume des déplacements nécessaires). Par ailleurs, le cours reviendra sur l'histoire de l'apparition de quelques techniques majeures de notre modernité (énergies fossiles, voiture individuelle, réseau internet, etc.) afin de rappeler que celles-ci ne se sont pas imposées "naturellement" mais comme résultats de choix économiques, géopolitiques et sociaux. Cela signifie que penser le développement durable implique d'intégrer une réflexion sur les techniques appropriées à une organisation sociale durable.

- Intervenants : Laure Teulières, UT2

##### Les facteurs culturels

Cette séance sera consacrée à une revue de la littérature sociologique sur quelques grands facteurs culturels de la crise climatique. Sur le plan culturel, plusieurs phénomènes bien documentés aujourd'hui caractérisent notre modernité : la séparation humain/nature, la technicisation de la gestion des problèmes publics, la récession de l'expérience quotidienne de la nature ou encore les processus d'accélération continue des structures de base de notre société. La conjonction de ces phénomènes produit un terreau culturel qui peut participer sous plusieurs aspects à la crise écologique. Par exemple, l'individualisme consumériste, l'hubris libéré des mécanismes de régulation sociale ou encore le sur-investissement dans les promesses du progrès technos-

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 3**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## INTRODUCTION AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX (SUITE)

Responsable: P.-M. GUNIEHEUC

cientifique sont des "formes de subjectivité" produites par l'organisation sociale moderne et dont les conséquences environnementales sont analysables. Ainsi, ce type d'approche permet de comprendre comment la mise en oeuvre d'une démarche de développement durable ne peut faire l'économie d'une réflexion sur les logiques culturelles qui animent l'organisation au sein de laquelle elle s'inscrit.

- Intervenant : Guillaume Carbou, UT3

### BE

Des ateliers débats seront organisés par groupe de 24 étudiants sur un sujet d'actualité et devra être débattu sur les aspects économiques, techniques et culturels comme vu en cours.

Les sujets pouvant être la 5G, le Flygskam, le changement climatique, la consommation de viande...

### Atelier des solutions : 3h

L'atelier des solutions ou atelier 2 tonnes est un exercice pratique permettant de confronter les émissions de GES des participants à la contraintes de limiter nos émissions de GES à 2 tonnes par habitants d'ici 2050 (conformément aux accords de Paris pour limiter le réchauffement à 2°C).

### ÉVALUATIONS

Le module sera évalué à partir de deux BE notés et de la participation à l'atelier des solutions.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INTERCULTURAL WORKSHOP

Responsable : Anne O'MAHONEY / Ausias GAMISANS

### LANGUAGE TEAM

Our objective is to examine all the dimensions of intercultural communication including the theoretical background while focusing primarily on management.

### OVERALL OBJECTIVES – SKILLS

- develop cross cultural communication skills
- learn how to work effectively in a team: listening carefully to others, fully investing yourselves, actively participating in the group work and feeling a responsibility for the learning of each member of the team
- learn how to work autonomously
- adapt to new situations
- understand how the intercultural world and the world of work are intertwined

During the workshop, you will have the opportunity to experience different ways of working:

- teamwork with the guidance of a tutor: the tutor will check your progress and guide you if need be;
- individual teamwork: where you work autonomously as a group on a problem;
- individual work: where you each undertake individual research to help solve the problem;
- group work: where your teams are split up and you form a new group for the purpose of the activity.

### ASSESSMENT

Students must validate the following items:

- item 1: Report on the ITER case;
- item 2: Final Presentation;
- item 3: Your work throughout the workshop and your attendance.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

## CYCLE DE CONFÉRENCES: SCIENCE, CULTURE ET SOCIÉTÉ

#arts #technologie #politique #éthique #littérature #économie #innovation #actu #histoire...

Ce module du cursus ingénieur de l'ISAE-SUPAERO a pour vocation d'aborder des thématiques et des sujets qui élargissent et complètent le champ académique classique du cursus ingénieur au travers de rencontres, tables-rondes, débats... :

Différents formats dans différents lieux avec pour point commun l'échange, la découverte, la confrontation d'idées et l'ouverture.

Si les sujets ne sont pas techniques ou scientifiques, ils permettent aux élèves de réfléchir sur leur futur rôle au sein de l'entreprise

et de la société, d'élargir leur connaissance des enjeux sociétaux majeurs.

Les élèves sont invités à suggérer des thèmes ou sujets d'actualité qu'ils souhaiteraient voir aborder.

La **validation** du module consiste à participer à un minima de 3 événements pour les élèves de première année et de deuxième année (présents au S4) ou à organiser une rencontre (validation par le référent pédagogique de la rencontre).

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39



---

# TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE

---

Tronc commun ingénierie et entreprise 1 .....	25
Tronc commun ingénierie et entreprise 2 .....	27
Gestion de projet .....	31
Initiation à l'économie .....	32

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
Semestre 3

## TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE 1

### → CONCEPTION FONCTIONNELLE (20 H)

Responsable: Jean-Charles CHAUDEMAR

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

Le module s'organise autour d'un cours théorique et d'un projet.

Le cours théorique aborde les thématiques suivantes: présentation de l'Ingénierie système (historique, définitions), analyse du besoin, analyse du contexte (finalité, mission, objectifs), cycle de vie, conception fonctionnelle, architecture organique, vérification et validation.

Pour le projet, les étudiants sont répartis en équipe de cinq et devront proposer une solution préliminaire en réponse au cahier des charges fourni et ensuivant la démarche qui aura été enseignée. Ils seront évalués lors d'une présentation orale, avec un poster.

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE 2

### → CONCEPTION AVANT-PROJET AVION

Responsable: Emmanuel BENARD

#### OBJECTIF

L'objectif du module est de faire découvrir dans le cadre d'un avant-projet d'avion les interactions entre les différentes disciplines qui interviennent dans le processus de conception: structure, aérodynamique, propulsion, mécanique du vol, calcul des masses, performances...

#### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Au moins 5 avant projets seront proposés au choix de l'élève. Les avant projets proposés sont:

- drone Haute Altitude Longue Endurance. Encadrement: DGA/ SPAE;
- avion d'affaire. Encadrement: Dassault Aviation Bordeaux;
- avion de transport biréacteur de type Airbus. Encadrement: Airbus & Supaero;
- avion de combat. Encadrement: Dassault Aviation St Cloud;
- avion léger. Encadrement: Daher - Dassault.

#### CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

A l'issue du projet, l'élève devra être capable de:

- démontrer sa compréhension du processus d'avant-projet;
- appréhender la diversité des concepts existant dans une gamme d'avion donnée;

- distinguer entre les méthodes mises en œuvre au vue des degrés de fidélité de ces dernières;
- comprendre les hypothèses faites à chaque étape du processus;
- établir une boucle de conception;
- mettre en œuvre, voire développer, un ensemble de fiches de calcul permettant d'automatiser le processus;
- synthétiser le travail dans un rapport concis et clair.

#### ÉVALUATIONS

L'évaluation est uniquement basée sur le compte-rendu de projet, établi en binôme ou en trinôme. Chaque équipe pédagogique d'avant-projet applique sa propre formulation d'évaluation. Cependant, dans tous les cas, la note reflétera les catégories d'activités du bureau d'étude, l'effort de synthèse, de clarté de rédaction, de qualité de présentation des résultats, et de recherche bibliographique (sur les éléments théoriques nécessaires au projet et la recherche de projets similaires).

#### BIBLIOGRAPHIE

General Aviation Aircraft Design [0-12-397308-2; 0-12-397329-5]  
Gudmundsson, Snorri, 2014  
Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Technology and Optimization of Subsonic Civil Airplanes, Torenbeek, Egbert, 2013  
Aircraft Design, Kundu, Ajoy Kumar, 2010

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE 2 (SUITE)

### → CONCEPTION AVANT-PROJET SPATIAL

Responsable: Francesco SANFEDINO

#### OBJECTIF

L'objectif de ce BE est de se placer dans une phase d'avant-projet pour la conception d'un système spatial. Ce projet permettra de démontrer les interactions entre les différents domaines enseignés en tronc commun (automatique, structure, physique, électronique, aérodynamique, informatique, ingénierie système...).

#### THÈMES PROPOSÉS

##### 11. Conception d'un senseur stellaire

Le but de ce BE est de travailler sur le dimensionnement, la performance et la modélisation d'un senseur stellaire répondant à des exigences de géolocalisation d'un satellite d'observation de la Terre en orbite basse. Les objectifs principaux de ce BE sont :

- de définir les paramètres orbitaux d'un satellite ou d'un ensemble de satellites répondant aux besoins de revisite et de résolution du système imageur ;
- de décliner des exigences de performance de niveau système (localisation des images) à des exigences de niveau équipement (senseur stellaire) ;
- de sensibiliser les étudiants aux méthodes de dimensionnement d'un équipement devant tenir un certain nombre de spécifications. Le dimensionnement sera guidé par des questions qui permettent de suivre une méthode de dimensionnement cohérente.
- de modéliser le senseur stellaire sous un logiciel de type Matlab/simulink, au sein d'une boucle fermée SCAO.

Pour ce BE, les élèves travailleront en binôme et seront évalués à travers un rapport.

##### 2-3. Conception d'un microsattellite d'observation de la Terre

L'objet de ce BE est la définition d'un avant-projet de microsattellite d'observation de la Terre, intégrant les disciplines de conception :

- orbitographie, analyse mission ;
- radiocommunication ;
- thermique ;

- système énergie ;
- contrôle d'attitude ;

Chaque binôme sera évalué à travers un rapport.

##### 4. Conception d'un nano-satellite scientifique

Ce BE consiste en une initiation à la conception d'un Cubesat. A partir de l'analyse du besoin exprimé dans un cahier des charges, l'objectif est d'établir des bilans de performances (par discipline : mécanique spatiale, communications, SCAO, thermique, puissance) pour proposer une architecture globale du Cubesat. Cet avant-projet est construit sur l'exemple de la mission JUMPSAT, Cubesat scientifique qui a pour mission de qualifier en vol un senseur stellaire conçu pour les nano-satellites et un détecteur de particules à haute énergie en orbite basse.

Dans ce projet, les étudiants devront :

- effectuer une analyse mission pour déterminer la meilleure orbite pour répondre aux besoins scientifiques ;
- calculer un bilan de liaison pour s'assurer des bonnes communications entre le satellite et le segment sol ;
- mener des analyses thermiques qui les conduiront à choisir les matériaux de la structure du Cubesat ;
- préciser les bilans énergétiques ;
- effectuer le dimensionnement du sous-système de contrôle d'attitude ;
- enfin, établir une synthèse au niveau système pour proposer une architecture complète du satellite.

Chaque binôme sera évalué à travers un rapport.

##### 5. Conception d'un robot d'exploration

L'exploration planétaire constitue l'un des enjeux majeurs tant sur le plan scientifique, que technologique mais aussi de façon plus large sur le plan sociétal, par l'expansion d'une nouvelle frontière. L'étude des corps constitutifs du système solaire se répartit selon quatre thématiques principales :

- l'exploration par des survols rapides ;
- l'étude détaillée par la télédétection en orbite ;
- l'analyse in situ ;
- le retour d'échantillons

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE 2 (SUITE)

Les problèmes scientifiques qui se posent dans l'étude du système solaire peuvent être rattachés à quelques grands thèmes comme l'origine du système solaire, l'origine de la vie et la planétologie comparée.

L'objectif de ce BE est de vous faire concevoir un robot Lego, qui répondant à un cahier des charges, représentera un rover martien pour l'exploration. Sa mission principale est de recueillir des échantillons et de les rapporter au site de récupération.

Chaque équipe de 5 remettra un rapport.

### 6. Conception d'un lanceur

L'objectif de ce BE est une initiation au dimensionnement d'un lanceur. Il est composé de :

- mission lanceur et Étagement préliminaire ;
- optimisation de la trajectoire, rebouclage sur l'étagement ;
- dimensionnement du premier étage à Propergol solide ;
- dimensionnement du second étage à ergols liquides ;
- aérodynamique, efforts généraux, dynamique, flux de dimensionnement ;
- dimensionnement structural et calcul du devis de masse ;
- dimensionnement pilotage (besoin en braquage), introduction au logiciel de vol ;

- synthèse, rebouclage du dossier – Notions de sûreté de fonctionnement et de « programmation ».

Chaque binôme sera évalué à travers un rapport.

### 7. Conception d'un véhicule pour un aller-retour vers Mars

L'étude portera sur la conception préliminaire d'un véhicule capable de faire un aller-retour Terre-Mars transportant une charge utile de 200 ou 300 kg. L'analyse de mission sera partiellement fournie. L'étude consistera à dimensionner les différents sous-systèmes :

- propulsion(s) ;
- chaîne de Puissance ;
- contrôle d'attitude ;
- avionique ;
- communication ;
- structure et thermique.

Utilisation de modèles simplifiés du satellite sous IDM-CIC.

Entrées : fourniture de données de bibliographies (articles, rapport public de l'ESA) is pour utiliser des données techniques (équipements réalistes).

Les élèves travailleront par binôme et remettront un rapport qui sera une synthèse de l'ensemble des résultats obtenus.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE 2 (SUITE)

### → CONCEPTION AVANT-PROJET MISSILES

Responsable: Jean-Marc MOSCHETTA

#### OBJECTIF

L'objectif du module est de faire découvrir dans le cadre d'un avant-projet de missile tactique les interactions entre les différentes disciplines qui interviennent dans le processus de conception : structure, aérodynamique, propulsion, mécanique du vol, calcul des masses, performances...

#### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

4 avant projets de missiles sont proposés au choix de l'élève et encadrés par des ingénieurs de la société MBDA. Chaque avant-projet fait l'objet d'un travail en groupe de 6 élèves répartis en « experts métiers » sur les compétences suivantes :

- Architecte fonctionnel
- Aérodynamique
- Propulsion
- Guidage, navigation, contrôle (GNC)
- Charge militaire
- Autodirecteur

Les 4 avant projets proposés sont :

- Missile "Tramontane": Avant-projet missile sol-air portable ciblé avion de combat subsonique;
- Missile "Autan": Avant-projet de missile sol-air portable ciblé hélicoptère;
- Missile "Silice": Avant-projet de missile sol-air portable ciblé avion de combat supersonique;
- Missile "Quartz": Avant-projet de missile sol-air portable ciblé avion furtif.

#### CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

A l'issue du projet, l'élève devra être capable de :

- démontrer sa compréhension du processus d'avant-projet;
- appréhender la diversité des concepts existant dans une gamme de missile donnée;
- distinguer entre les méthodes mises en œuvre au vue des degrés de fidélité de ces dernières;
- comprendre les hypothèses faites à chaque étape du processus;
- établir une boucle de conception;
- restituer des connaissances techniques générales sur les missiles;
- synthétiser le travail dans un rapport concis et clair.

#### ÉVALUATIONS

L'évaluation est uniquement basée sur un compte-rendu de projet, établi en groupe et présenté à l'oral (environ 30' par groupe suivie de questions). La note reflétera les catégories d'activités du bureau d'étude, l'effort de synthèse, de clarté de rédaction, de qualité de présentation des résultats, et de recherche bibliographique (sur les éléments théoriques nécessaires au projet et la recherche de projets similaires).

La notation suit le barème suivant:

- Résultats : 10/40 (Groupe)
- Démarche de conception : 10/40 (Groupe)
- Qualité de la présentation : 10/40 (Groupe)
- Note individuelle à l'appréciation des intervenants : 10/40

L'expérience de l'avant-projet missile étant liée à l'immersion dans le temps d'un groupe d'élèves travaillant en interaction forte avec l'équipe pédagogique, la présence à toutes les séances est absolument requise.

#### BIBLIOGRAPHIE

Eugene L Fleeman, Missile Design and System Engineering, AIAA Education Series, 2012.  
John B. Hoffman, Air and Missile Defense Systems Engineering, AIAA Education Series, 2016.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## GESTION DE PROJET

### → GESTION DE PROJET (20H)

Responsable: Rob VINGERHOEDS

L'objectif de ce cours est de préparer l'étudiant à la gestion de projet, partie intégrante du travail d'un ingénieur.

Pour le programme en première année, le but est l'acquisition des bases de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- approfondir les bases pour des situations réelles;
- être sensibilisé au monde de l'entreprise, comprendre les mécanismes financiers et économiques, savoir construire un Business Plan;
- maîtrise des risques;
- cadrer des projets et prise d'engagement;
- piloter des projets.

### OBJECTIFS GLOBAUX – CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Le module de Gestion de Projet s'étale sur les trois années du cycle d'ingénieur avec les objectifs suivants :

- première année « L'ingénieur dans son environnement » ;
- le but de la première année est d'acquérir les bases de la gestion de projet. Ceci se traduit par :
  - se familiariser avec le vocabulaire de la Gestion de Projet;
  - comprendre les étapes (jalons) de réalisation d'un projet;
  - connaître les livrables attendus à chaque jalon;
  - connaître les outils de planification d'un projet;
  - suivi des projets;
- deuxième année « Les moteurs de l'Ingénierie ».
 

Le but de la deuxième année est d'approfondir les connaissances de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

  - approfondir les bases pour des situations réelles;
  - être sensibilisé au monde de l'entreprise, comprendre les mécanismes financiers et économiques, savoir construire un Business Plan;

- maîtrise des risques;
- cadrer des projets et prise d'engagement;
- piloter des projets;

➤ troisième année « Être autonome dans son rôle d'ingénieur ».

Le but de la troisième année est le savoir-faire de la gestion de projet. Ceci se traduit par :

- comprendre la gestion de projet pour des projets complexes;
- savoir identifier et maîtriser les risques d'un projet;
- comprendre l'importance d'un Plan Qualité;
- savoir motiver une équipe projet.

Le fil rouge retenu vise à progresser de la première année avec une acquisition des bases, via un approfondissement en deuxième année, vers un vrai savoir-faire en troisième année. Les matières seront enseignées avec une profondeur incrémentale.

L'approche pédagogique choisie alterne cours et petites classes pour apporter à l'étudiant un certain niveau d'interactivité dans sa participation. Les 54 heures allouées à cette formation se décomposent comme suit :

- première année 18h (6h cours + 12h petites classes);
- deuxième année 18h (12h cours + 9h petites classes);
- troisième année 19h (en 2016-17: 13h cours + 6h petites classes).

### ÉVALUATION

Le module est évalué à 50 % par les TD's « Suivi financier des projets et leurs business case » et « Suivi de projets avancé » et à 50 % par un examen.

### BIBLIOGRAPHIE

- Project Management for Engineering, Business and Technology, Nicholas, John M., 2011
- Project Management, Kerzner, Harold R., 2013
- Conduite de Projets Complexes, Roy, Etienne, et Vernerey, Guy, 2010

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

## INITIATION A L'ECONOMIE

Responsable : P. ROUSSELOT

Dans ce cours, les élèves ont le choix entre 6 modules proposés

### → ECONOMIE ET STRATÉGIES DU SECTEUR AÉRONAUTIQUE

Responsable : Cylad Consulting

9 bis, rue Georges Berger 75017 Paris  
France Tél : +33 (0)1 83 79 01 80 contact@cylad.com

La formation à Supaéro permet aux élèves de développer des connaissances générales dans tous les domaines de l'ingénierie et de manière particulièrement approfondies dans les domaines de l'aéronautique et de l'espace.

Ce module élaboré et animé par Cylad Consulting est une des principales actions bénévoles entreprises par ce cabinet. Il représente un investissement important pour ses consultants et est la concrétisation de l'objectif de Cylad Consulting de partager ses connaissances et ses analyses avec l'enseignement supérieur. Entretien expertise et savoir-faire dans les domaines de l'aéronautique et de la défense, Cylad Consulting s'ambitionne comme un partenaire de choix de la formation ingénieur SUPAERO.

Dans le but d'illustrer des points spécifiques du cours proposé et d'en améliorer sa pertinence, Cylad Consulting a décidé de réaliser des interviews de grands industriels du secteur constituant ainsi une valeur ajoutée non négligeable pour permettre aux étudiants de mieux comprendre les enjeux de ce marché. L'engagement de grands industriels dans cette initiative est un des facteurs clés de la réussite de ce module qui vise à contribuer à la réconciliation de l'industrie avec l'enseignement supérieur. Ce module se déroulera ainsi :

#### PREMIÈRE PARTIE : LES FONDAMENTAUX

##### Cours 1 : Panorama du marché aéronautique

- Segmentation du marché et chiffres clés
- Les principaux drivers du marché
- Défis & illustrations

##### Cours 2 : Les compagnies aériennes

- Analyse du marché mondial
- Fonctionnement des compagnies aériennes
- Interactions entre les différents acteurs du secteur

##### Cours 3 : Chaîne de valeur de l'industrie aéronautique

- Présentation de la chaîne de valeur et des interdépendances
- Présentation détaillée des acteurs de la chaîne
- Transformation de la filière et conséquences

#### SECONDE PARTIE : IMPACTS ET RÉACTIONS AUX ÉVOLUTIONS DU MARCHÉ

##### Cours 4 : Faire face à la pression financière

- Exposition au risque de change et risque de marché
- Besoins croissants de financement
- Conséquence sur les acteurs de la chaîne de valeur
- Make or Buy policy

##### Cours 5 : Faire face à la concurrence

- Bouleversement des avionneurs historiques par l'émergence de nouveaux acteurs
- Les barrières à l'entrée : des restrictions naturelles à la concurrence

##### Cours 6 : Pistes d'évolutions technologiques

- Drivers de l'innovation aéronautique
- Dynamiques actuelles de l'innovation technologique dans l'aéronautique
- Gestion de la montée en maturité des nouvelles technologies

En complément de ces cours, les étudiants seront invités à travailler sur une étude de cas sur le thème : « Créez votre entreprise dans le domaine aéronautique ». Cette évaluation leur permettra de capitaliser sur les connaissances acquises pendant ces cours et de travailler en groupe sur des problématiques au cœur des enjeux économiques du secteur aéronautique. Cette étude de cas sera réalisée par petits groupes d'étudiants encadrés par des consultants de Cylad Consulting.

Modalité d'évaluation : étude de cas collective, par groupe de 5 ou 6 élèves, à rendre une semaine après la fin du cours.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INITIATION A L'ECONOMIE (SUITE)

### ↳ ECONOMIE ET TENDANCES DE L'INDUSTRIE SPATIALE

#### Responsable : PwC Advisory Space Practice

Crystal Park, 63 Rue de Villiers, Neuilly-sur-Seine  
France Tél : +33 0156575846, Mathieu.luinaud@pwc.com

L'objectif du cours est de découvrir et s'approprier l'écosystème du secteur spatial afin de mieux comprendre les acteurs et leurs stratégies ainsi que les tendances qui influencent et vont influencer le secteur dans l'avenir. Le cours sera dispensé en français, même si certain(e)s intervenant(e)s pourront s'exprimer éventuellement en anglais.

Au sein de PwC consulting, la fonction de PwC Advisory Space Practice est : « We are helping our clients in this transversal sector to solve their complex business issues from strategy to execution »

#### Course 1: The Space Sector – A Global Overview

- ↳ A brief into history of the space endeavor and the geopolitics of space
- ↳ The space sector's value chain: who does what?
- ↳ The dynamics of the different space domains and their market trends
- ↳ Why space matters? Space as an agent of socioeconomic growth
- ↳ How is space regulated and what are the new regulatory challenges?

Expected lecturers : Luigi Scatteia, Paolo Ariaudo, Mathieu Luinaud, Alyssa Frayling

#### Course 2: Europe's Space Landscape – Trends and Ecosystem

- ↳ Europe's space program : From ELDO to ESA
- ↳ The increase involvement of the European Commission
- ↳ Space dynamics in the old continent
- ↳ The challenges of Europe's space autonomy

Expected lecturers: Luigi Scatteia, Yann Perrot, Darot Dy

#### Course 3: The Upstream segment of the Space Industry – Manufacturing & Launching

- ↳ Brief history of launchers' development, from the R-7 to Starship

- ↳ Launcher dynamics worldwide : a brief overview
- ↳ Launchers: what is today's market?
- ↳ •The new paradigm opened by reusable systems
- ↳ The impact of new space in access to space systems

Expected lecturers: Darot Dy, Robin Pradal, Pierre-Elie Morel, Antonio Canale

#### Course 4: The Future Exploitation of Space

- ↳ The emergence of private actors
- ↳ The future of the ISS : towards privatisation ?
- ↳ Towards a cleaner space : the emergence of In-orbit servicing technologies
- ↳ Interplanetary endeavors : challenges for cargo and manned missions
- ↳ The utilization of space resources

Expected lecturers: Yann Perrot, Tala Atie, Paolo Ariaudo

#### Course 5: Using Space Data – Focus on the convergence of the space sector and the ICT world in Earth Observation Applications

- ↳ The new data paradigm : space data as a new Eldorado
- ↳ Overview of the market
- ↳ Trends and opportunities
- ↳ What are we talking about: use cases

Expected lecturers: Luigi Scatteia, Aravind Ravichandran, Lydie Godel, Alyssa Frayling

Modalité d'évaluation : format hybride, à réaliser en classe, composé pour partie d'un QCM, et pour l'autre partie de quelques questions ouvertes qui mobiliseront la compréhension du cours et des enjeux du secteur spatial.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INITIATION A L'ECONOMIE (SUITE)

### → L'APPROCHE RSE DANS L'ÉCONOMIE

#### Responsable : Paul Boulanger

Consultant associé, président

Master TBS, docteur en sciences de Gestion

PIKAIA - Agence de Toulouse : 9, rue Paulin Talabot - Immeuble le Toronto, 31100 TOULOUSE

<https://www.pikaia.fr/>

Pikaia est un cabinet fondé par des associés qui accompagnent depuis plus de 20 ans entreprises, petites ou grandes, monde associatif et institutions publiques de premier plan dans leur mutation vers des modèles durables. Les consultants de Pikaia interviennent sur les changements de modèles économiques, la valorisation de la RSE, l'innovation technologique et de procédés à faible impact environnemental ou l'engagement des acteurs de l'entreprise.

#### OBJECTIFS DU MODULE

- S'approprier les différentes dimensions de la RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) au regard des objectifs de développement durable (ODD)
- En tant que futur décideur, comprendre comment mettre en œuvre la RSE de manière opérationnelle dans les entreprises
- S'initier aux modèles économiques permettant d'intégrer rentabilité et responsabilité

La plupart des modules reposeront sur la découverte ou la mise en œuvre de cas opérationnels.

#### Module 1 - RSE et ODD

Objectif : resituer les enjeux de la RS dans le cadre des objectifs nationaux et internationaux de développement durable

Les enjeux de développement durable sont complexes par nature : comment les appréhender correctement sans simplifier à l'extrême ? comment les hiérarchiser et les contextualiser en fonction des effets de leviers dans un pays / dans une filière / dans une entreprise ?

#### Module 2 - Les dimensions de la RSE

Objectif : maîtriser une grille de lecture complète de la RS à travers la norme ISO 26000

Comprendre les différentes dimensions de la RS permet d'analyser la manière dont une entreprise peut l'intégrer à l'intérieur de ses pro-

cessus. Un retour d'expérience opérationnel sur la base de cas réels servira à identifier les leviers et limites à la mise en œuvre de la RS, en particulier au niveau de la gouvernance.

#### Module 3 - Mise en œuvre opérationnelle de la RS

Objectif : manipuler les outils de mise en œuvre opérationnelle (diagnostic, décision, design stratégique, pilotage)

La RSE nécessite d'être outillée afin d'analyser, d'arbitrer et partager la prise de décision puis de convaincre du bien-fondé des orientations, que l'on dialogue avec les parties prenantes internes, l'écosystème coopératif ou les parties intéressées extérieures à l'entreprise. Il s'agira ici d'acquérir une connaissance de premier niveau des outils permettant le déploiement de la RS niveau stratégique (Performance Globale, stratégie RS), au niveau projet (TNS et FSSD) et au niveau opérationnel (grille d'analyse, boussole...).

#### Module 4 - Demain de nouvelles lunettes ? Biomimétisme stratégique et Economie de la Fonctionnalité

Objectif : s'initier aux modes de pensée et modèles économiques qui permettront d'intégrer la RS au cœur des stratégies d'entreprise

Des changements de paradigme et de pensée stratégique vont être nécessaires pour que la RSE soit à la hauteur des enjeux environnementaux et sociétaux qui s'annoncent. Une initiation au biomimétisme stratégique (écomimétisme, permaéconomie) et à l'économie de la fonctionnalité donnera un aperçu de ces nouvelles grilles de lecture en émergence. Elle sera précédée par une mini-formation à la pensée systémique, préalable nécessaire pour en appréhender les contenus.

#### Module 5 - Business Case

Objectif : se confronter à la réalité de la RSE à travers des mises en situation (résolution de cas)

Par petits groupes, les étudiants mettront en pratique l'un ou plusieurs des concepts et outils présentés dans les modules précédents, sur la base de cas réels (des entreprises qu'ils connaissent particulièrement bien) ou de business cases proposés.

Modalité d'évaluation : étude de cas par groupe de 4 ou 5 étudiants sur un thème proposé par le professeur et préparé en parallèle des modules de formation avec une finalisation & présentation lors du dernier cours.

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## INITIATION A L'ECONOMIE (SUITE)

### → ECONOMIE ET SOCIÉTÉS CONTEMPORAINES

#### Responsable : Philippe Leconte

Professeur de sciences économiques et sociales en classes préparatoires HEC voie économique (pendant 20 ans)

Intervenant au CNAM IPST

Intervenant en Sciences économiques à TBS formation continue.

Responsabilités associatives actuelles :

Président de l'ANVP 31 (Association nationale des visiteurs de prison)

Bénévole dans le groupe prison de la CIMADE

Objectif du cours : La perception des grands enjeux économiques contemporains suppose une approche globale qui mobilise des matériaux historiques, sociologiques, politiques. Ce cours est construit sur ce principe. Il contribue donc à développer les connaissances personnelles en sciences humaines et une capacité d'analyse critique du système économique.

#### 1- Comment penser l'économie ?

Objectif : maîtriser les grands courants de pensée économique, dans leur globalité.

Il s'agit dans cette 1<sup>e</sup> partie de montrer comment la pensée économique a pu se construire par opposition et concurrence entre les différents paradigmes et ce depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle. La réflexion, toujours d'actualité porte sur la nécessité ou le refus d'établir des liens entre l'économie et les autres sciences humaines, notamment la sociologie. Ces conceptions ne sont pas neutres dans leurs effets : les économistes sont parfois les conseillers du Prince.

#### 2- La diversité des systèmes

Objectif : comprendre les modes d'organisation économique qui ont pu se succéder ou cohabiter dans l'histoire contemporaine.

Les modes d'organisation économique sont pluriels et épousent de façon plus ou moins fidèle les grandes propositions théoriques : Marxisme, libéralisme, néolibéralisme, keynésianisme. Ainsi, le collectivisme, le capitalisme libéral, le capitalisme interventionniste, ont pu prétendre conjuguer de façon optimale les impératifs économiques et les enjeux sociaux, sans vraiment pouvoir y parvenir.

#### 3- Le triomphe du capitalisme ?

Objectif : comprendre pourquoi le capitalisme est « un optimum de second rang » bien fragile malgré ses étonnantes capacités d'adaptation.

Le capitalisme est un système mutant qui dans ses évolutions, répond à certains problèmes tout en en générant d'autres parfois bien plus sérieux. Des formes diverses de capitalismes se sont ainsi succédées qui montrent que l'unicité de ce type d'organisation n'est qu'apparente. La dernière période dite de capitalisme « financier » ou « patrimonial » montre-t-elle par ses effets inégalitaires et ses difficultés à relever les défis environnementaux, que ce système est à bout de souffle ?

#### 4- Régulations économique, sociale, environnementale : quelle place pour le politique ?

Objectif : comprendre que le primat de l'économique et du financier sur les enjeux sociaux et environnementaux ne peut constituer un mode de régulation optimal : l'intervention du politique est incontournable.

Les sphères économique, financière, sociale, territoriale ne peuvent évoluer de façon disjointe. Les grands séismes historiques, type crise de 1929, montrent qu'elles ont pour origine le télescopage brutal entre ces sphères. La fonction politique se sert de la puissance publique pour assurer une homogénéité dans l'évolution de ces différentes sphères. L'impuissance publique peut mener à catastrophe.

#### 5- Globalisation et enjeux géopolitiques

Objectif : comprendre les formes historiques et contemporaines de mondialisation économique et financière, comprendre comment elles atténuent ou exacerbent les revendications nationales et les rapports entre les Etats.

Les mondialisations représentent une forme d'autonomisation des flux commerciaux et financiers, considérée par certains comme indispensable pour garantir la stabilité et la paix.

Cette conception, dominante après la 2<sup>e</sup> guerre mondiale est aujourd'hui de plus en plus contestée. Les mondialisations en réveillant des revendications nationales voir nationalistes, ne sont-elles pas menacées ?

Modalité d'évaluation : étude de cas par groupe de trois élèves sur des thèmes proposés par le professeur et à rendre à l'issue du cours (10 jours après).

Modalités d'évaluation : Etude de cas en groupe de 4 à 5 personnes à rendre à l'issue du cours (10 jours après).

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INITIATION A L'ECONOMIE (SUITE)

### → UNE HISTOIRE CRITIQUE DE LA PENSÉE ÉCONOMIQUE

**Dr. Laurent NOEL**

Economiste, Professeur Associé

Audencia Business School

La pensée économique à l'épreuve du temps et des faits. Lecture critique à l'aune des connaissances historiques et anthropologiques.

Depuis des décennies, la pensée économique est animée de débats sans fin sur les efficacités comparées du marché et de la gestion publique dans l'organisation de la production et des échanges. Puis, se sont superposées les interrogations, voire les doutes, sur la manière de conjuguer contraintes écologiques et croissance économique. Enfin, depuis quelques mois, la pandémie Covid-19 avive le dilemme entre économie ouverte, celle que nous connaissons depuis les années 1980 sous le terme de mondialisation, et un retour à davantage de souveraineté nationale et donc moins de dépendance extérieure.

A ces questionnements légitimes et essentiels, l'économie, en tant que discipline scientifique, n'offre pourtant que peu de leviers d'action. Ainsi des bienfaits de la concurrence qui sont énoncés mais la concurrence elle-même est peu visible car souvent contournée, l'exigence de régulation est réaffirmée par les chefs d'Etats et les institutions supranationales mais les résultats obtenus sont en deçà des objectifs, voire très en deçà.

Depuis la fin des trente glorieuses, un décalage apparaît en effet entre les hypothèses, les concepts et les théories économiques et les faits économiques, la réalité du terrain. Les outils d'analyse et de gestion proposés peuvent être efficaces à une échelle individuelle, mais rarement au niveau global. Où en est la pensée économique ? Est-elle encore en adéquation avec son temps et les missions qu'elle s'est assignée ? Les outils proposés aux dirigeants économiques, politiques, aux citoyens seraient-ils devenus peu ou prou obsolètes ?

L'objet du séminaire d'enseignement proposé est de tenter de comprendre pourquoi la pensée économique est depuis quelques décennies dans une impasse et peine à s'en extraire. Pour ce faire, il nous faudra aller au-delà de la pensée économique elle-même car, au sens stricte, la naissance de la discipline n'a guère plus de deux siècles et demi d'existence, et ne recouvre donc que très peu les expériences d'organisations économiques qu'a mené la civilisation depuis sa naissance il y a 3,3 millions d'années. D'autres disciplines académiques seront mobilisées. Il s'agit des sciences politiques et, surtout, de l'histoire et de l'anthropologie.

L'usage de connaissances et de méthodes différentes apporte un éclairage nouveau et intéressant sur les enjeux économiques et sociétaux actuels. Sous cet éclairage nouveau les débats actuels demeurent toujours aussi essentiels mais pas nécessairement bien posés et pourraient être formulés. D'autre part, parce que l'économie est une matière humaine, très interactive et sans vérités définitives, une confusion s'est installée entre fins et moyens. L'approche anthropologique réintroduit un discernement clair entre objectifs et outils et ce n'est pas le moindre de ses apports !

#### Objectifs du cours

- Décrire la science économique, son champ, sa méthode, ses enjeux mais aussi les débats théoriques, et souvent idéologiques, qui l'anime.
- Présenter l'évolution de la pensée économique au cours du temps, la motivation de ses principaux auteurs et les contextes dans lesquels ils vivaient et ont donc établi leurs diagnostics et préconisations, voire des théories.
- Confronter la pensée économique avec les faits économiques, ce qui signifie observer les résultats des décisions qui ont succédé aux préconisations et, d'autre part, constater les limites d'une discipline très jeune à l'aune d'une longue histoire de l'humanité. Et dès lors, quelles caractéristiques économiques pouvons-nous dégager des périodes antérieures ?
- Confronter la pensée économique contemporaine et l'organisation économique mondiale avec ce que nous enseigne l'anthropologie des premières formes d'organisations économiques, qu'il s'agisse de cellules restreintes comme la famille, ou élargie, comme les premières grandes communautés humaines.

#### Concepts et approches enseignés

- Histoire de la pensée économique
- Micro et macroéconomie, dont notamment de manière synthétique : marché, systèmes économiques, monnaie et système bancaire et financier, chômage, inflation, politiques économiques, mesure de l'activité et croissance, commerce international.
- Histoire des faits économiques
- Introduction à l'histoire des idées politiques
- Anthropologie économique
- Méthodes pédagogiques

Cours magistral et temps d'échange avec l'auditoire

Modalités d'évaluation : A déterminer en fonction de l'effectif de participant(e)s.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INITIATION A L'ECONOMIE (SUITE)

### ↳ L'ANALYSE ÉCONOMIQUE ET STRATÉGIQUE D'UN SECTEUR D'ACTIVITÉ

**Responsable : Saïd YAMI**

Professeur en Management Stratégique

IAE Lille, Université de Lille

104, Avenue du Peuple Belge – 59043 Lille

said.yami@univ-lille.fr

Objectif : le cours « Analyse économique et stratégique d'un secteur d'activité » a pour objectif de fournir aux étudiants les connaissances, outils et méthodes qui permettent de comprendre les principaux enjeux liés à tout secteur d'activité et leur lien avec l'avantage concurrentiel.

**THÈMES ABORDÉS :**

**LE COURS S'ARTICULE AUTOUR DE TROIS THÉMATIQUES :**

**1. L'analyse de l'industrie**

Identifier les règles de succès

- Caractéristiques de l'industrie
- Différentes activités (DAS – Domaines d'Activités Stratégiques)
- Facteurs Clés de Succès (FCS)

**2. L'analyse de la concurrence**

Analyser la pression concurrentielle

- Forces de la concurrence
- Groupes stratégiques

**3. Stratégies génériques**

Choisir sa stratégie

- Avantage concurrentiel et caractéristiques de l'industrie (BCG 2)
- Les 3 stratégies génériques (Porter 1980)

En plus des éléments théoriques et méthodologiques, le cours est nourri de multiples exemples illustratifs issus de l'actualité économique. Par ailleurs, afin de s'appropriier les concepts, théories et cadres d'analyse, les étudiants sont invités à travailler collectivement sur des cas sectoriels.



---

# STAGE DE RECHERCHE

---

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## ÉTUDE ET RÉALISATION

Responsable: un PAR département

### OBJECTIFS :

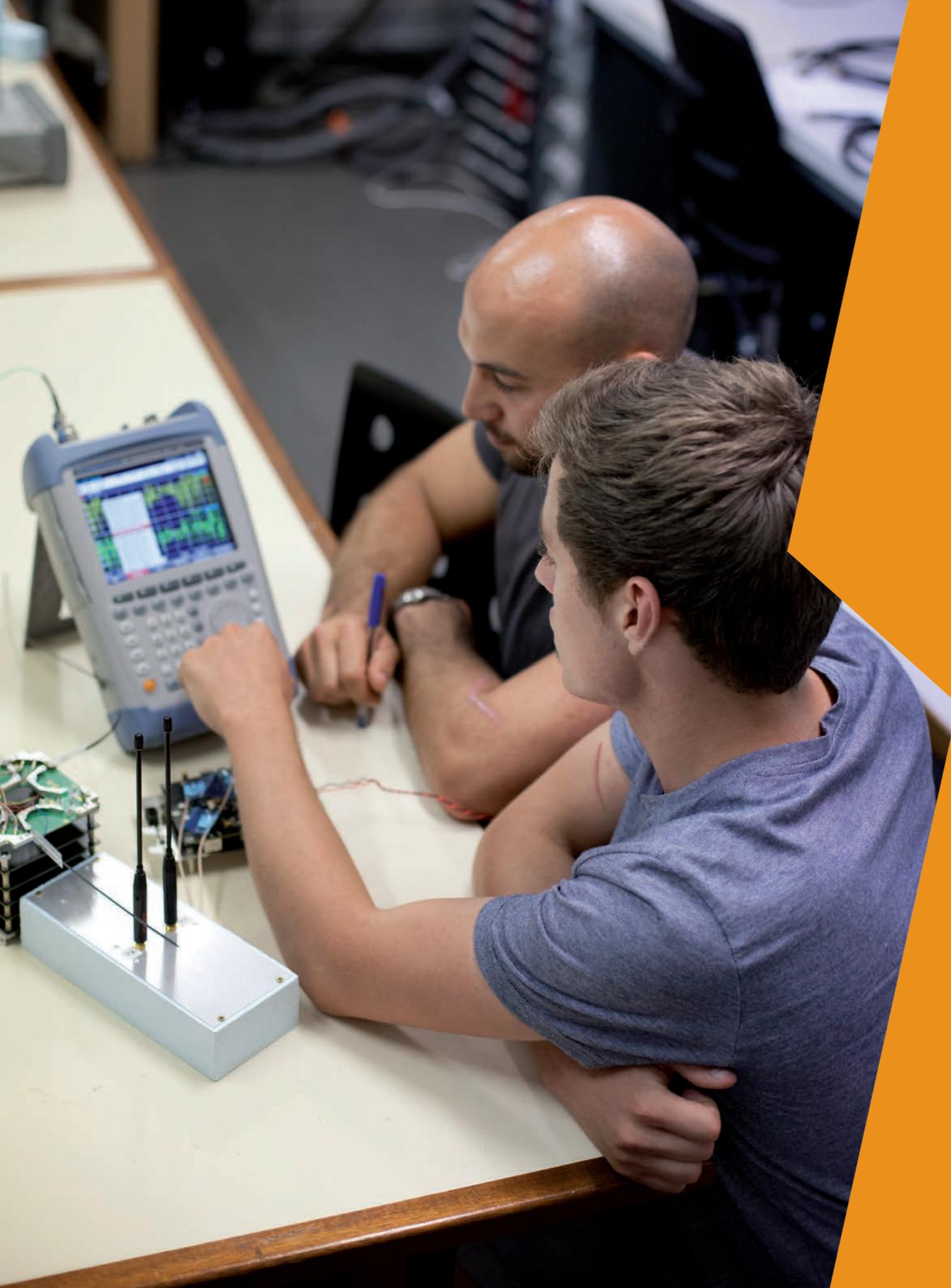
Le projet de formation à la recherche, stage de recherche, clôt la deuxième année d'études du cursus ingénieur ISAE-SUPAERO. Il doit permettre à l'étudiant de se familiariser avec l'univers de la recherche, au contact direct de chercheurs. Son objectif est de permettre aux étudiants de réaliser durant leur formation une activité privilégiant l'esprit d'initiative, le sens de l'innovation et la démarche inductive.

Le sujet traité doit permettre à l'étudiant de participer activement à un travail en cours dans l'équipe d'accueil ou de réaliser un travail personnel théorique et/ou expérimental en relation avec les activités de l'équipe. D'autre part, le sujet doit être suffisamment ouvert pour permettre la mise en œuvre d'une démarche scientifique et lui permettre d'apporter une contribution incrémentale par rapport à l'état de l'art.

Il est également attendu de l'étudiant qu'au-delà de l'activité scientifique cœur du projet, l'étudiant puisse appréhender le fonctionnement et l'environnement administratif lié à la recherche (recherche de subventions, salaires, statuts des membres etc...).

### COMPÉTENCES ATTENDUES :

- ➔ • Être capable de mobiliser ses connaissances, compétences et aptitudes en lien avec la problématique ;
- ➔ • Être capable d'effectuer un travail de bibliographie ;
- ➔ • Être capable de conduire un travail expérimental ou une simulation et d'analyser et critiquer les résultats scientifiques obtenus ;
- ➔ • Faire preuve d'autonomie en même temps que de sens du travail en équipe et d'esprit d'initiative ;
- ➔ • Savoir rendre compte de son expérience au travers d'une communication scientifique écrite efficace en langue anglaise



# MODULES ÉLECTIFS

Phénomènes aléatoires en dynamique des fluides.....	40
Écoulements géophysiques .....	41
Écoulements diphasiques à interface.....	42
Génie éolien .....	43
Approche pratique-intégrée expérimental/simulation en aérodynamique.....	44
Propulsion éolienne .....	45
Réaliser une pièce en fabrication additive : pourquoi et comment? .....	46
Matériaux aéronautiques et spatiaux.....	47
Matériaux innovants .....	48
Aéroélasticité.....	49
Optimisation de la tenue mécanique d'une structure par éléments finis.....	50
Biomécanique.....	51
Initiation aux techniques d'Essais en vol.....	52
Commande de vol .....	53
Facteurs Humains .....	54
Automatique avancée.....	55
Vols Habités .....	56
Introduction aux sciences de la Terre depuis l'Espace .....	57
Guidage et pilotage des drones.....	58
Maintenance des systèmes aéronautiques.....	59
Impact climatique de l'aviation : situation actuelle et perspectives.....	60
Théorie de l'information .....	61
Cryptographie.....	62
Distributions, Opérateurs et Semi-Groupes .....	63
Introduction à la théorie des graphes déterministe et aléatoire .....	64
Applications Web de nouvelle génération.....	65
Modélisation 3D .....	66
Méthodes de Monte-Carlo.....	67
Introduction au Big Data.....	68
Dans la peau d'un ingénieur en optimisation.....	69
Optimisation numérique avancée.....	70
MBSE .....	71
Architecture des systèmes .....	72
Algorithmes évolutionnaires.....	73
PFEM4PHS.....	74
La miniaturisation, jusqu'où ? Des nanotechnologies aux nano-objets .....	75
Effets de l'environnement radiatif naturel sur l'avionique, les lanceurs et les systèmes sol .....	76
Conception des circuits numériques complexes .....	77
Ingénierie quantique : .....	78
calculateurs quantiques, téléportation et molécules-machines.....	78
Communications optiques spatiales .....	79
Planétologie/Télescopes et surveillance de l'espace/Physique stellaire.....	80
Économie et sociétés contemporaines.....	81
L'économie à l'épreuve du temps .....	82
Montage d'un projet de création .....	83
Métier du conseil : Méthodologie, méthode agile .....	84
Économie circulaire .....	85
Management de la diversité.....	86
Innovover durablement par le design thinking.....	87
Semaine mobilité .....	88

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## PHENOMENES ALEATOIRES EN DYNAMIQUE DES FLUIDES

Responsable : F. PLOURABOUE / S. JAMME

L'objectif de ce module est de se familiariser avec la modélisation des processus aléatoires associés aux transferts et/ou au transport dans les milieux complexes. Le cours aborde sans pré-requis nécessaire les notions de base (théorème central limite, théorème fluctuation-dissipation, Wiener-Khinchin, processus Browniens) pour aborder la modélisation (Equations de Fokker-Planck, dispersion de Taylor) en mettant l'accent sur les calculs explicites, ainsi que la modélisation numérique de ces questions..

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les phénomènes aléatoires sont sous-jacents à de nombreuses questions et problèmes de mécanique des fluides et transferts : mélange, diffusion, dispersion, turbulence, transferts pariétaux sur surfaces rugueuses, milieux poreux, etc... Dans tous ces sujets la modélisation de champs aléatoires est utile et nécessaire. Ce cours aborde la question de la modélisation des champs et des processus aléatoires appliqués à des questions de mécanique des fluides et des transferts.

Il abordera de façon didactique et explicite, la modélisation de processus physiques avec des outils probabilistes (fonctions caractéristiques, processus, marche aléatoire). En partant de modèles simples,

on montrera comment certaines propriétés asymptotiques sont robustes (comportements asymptotiques aux temps longs). Le cours illustrera les concepts à partir de TP numériques. Il montrera les liens avec des notions importantes comme les dimensions fractales, les exposants de Liapounov, les transformations de boulanger pour le mélange. Les prérequis du cours sont minimales, mais une culture probabiliste sera la bienvenue.

### ÉVALUATIONS

Examen terminal de 2h30, avec ou sans documents, au choix des étudiants

### BIBLIOGRAPHIE

An Introduction to Stochastic Processes in Physics, Don S. Lemons, John Hopkins Univ. Press, 2002  
The Kinematics of Mixing, Stretching, Chaos, and Transport, J. M. Ottino, Cambridge Univ. Press, 1989

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## ÉCOULEMENTS GÉOPHYSIQUES

Responsable : Jérôme FONTANE

L'objectif de ce module est de donner les bases de mécanique des fluides associées aux écoulements géophysiques ainsi qu'une introduction aux applications possibles dans l'atmosphère et l'océan.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les écoulements géophysiques considérés dans ce cours sont les écoulements atmosphériques et océaniques pour lesquels les effets de rotation et/ou stratification ne peuvent pas être négligés. Le cours s'articulera autour de trois parties : (i) dynamique des fluides en rotation, (ii) dynamique des fluides stratifiés et (iii) les applications à l'océan et l'atmosphère.

#### (i) Rotation (effet de Coriolis) :

dans un premier temps, la dynamique de fluides non visqueux sera considérée dans cette partie. La dynamique est alors principalement pilotée par le nombre de Rossby. Les équilibres principaux seront discutés au regard de ce nombre sans dimension. Une étude plus approfondie des ondes associées soit à la variation du paramètre de rotation soit à la présence d'une surface libre sera proposée. Une partie sur les ondes sera accompagnée d'une séance numérique dans laquelle un code de résolution des équations de Saint-Venant en rotation sera utilisé. Les effets visqueux seront ensuite considérés pour introduire la structure de la couche limite au voisinage d'une paroi horizontale (couche limite d'Ekman).

#### (ii) Stratification :

ici le nombre de Froude permet de caractériser la dynamique. Afin de traiter des problèmes canoniques, la stratification en densité sera soit singulière (bicouche) soit continue linéairement. Dans ces deux cas, les mécanismes de dynamique des ondes peuvent être décrits.

#### (iii) Application :

dans les écoulements naturels, différentes approximations permettent de se ramener aux cas académiques décrits dans les deux premières

parties. Ces approximations seront discutées et leurs limites mises en évidence. Des cas réels d'application des mécanismes décrits par la dynamique en rotation et/ou stratification seront présentés et décrits. En lien avec le chapitre sur les effets de rotation, la structure de l'atmosphère et des océans à grande échelle sera discutée, en particulier la formation d'ondes de Rossby pour les structures météorologiques planétaires, et la formation de gyres pour les océans (avec génération de courants rapides type « gulfstream »). Sur des échelles de temps plus courtes, c'est la structure des ondes de marée qui seront interprétées comme des modes stationnaires d'ondes de surface modifiées par la rotation. Pour le chapitre sur les effets de stratification, ce sont les marées internes qui seront interprétées dans ce cadre, ainsi que la force de traînée associée à la génération d'ondes internes par un écoulement au-dessus de reliefs montagneux. Le problème équivalent de la force de traînée associée à un sillage interne dans un bicouche pour un navire se déplaçant en surface sera également traité (phénomène d'« eau morte ») de manière à illustrer la pertinence de cet enseignement pour des échelles plus petites que les océans et l'atmosphère.

### ÉVALUATIONS

Un test écrit pondéré avec la note de rapport de BE.

### BIBLIOGRAPHIE

Pedlosky J., Geophysical Fluid Dynamics, Springer, 1987  
 Vallis G.K., Atmospheric and oceanic fluid dynamics, Cambridge University Press, 2006  
 Cushman-Roisin B. & Beckers J.-M, Introduction to Geophysical Fluid Dynamics, Prentice-Hall, 2011

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES À INTERFACE

Responsable : Nicolás GARCÍA ROSA

L'objectif de ce module est d'approfondir les connaissances théoriques de l'étudiant sur les phénomènes de changement de phase et les écoulements diphasiques à interface, et de le sensibiliser à l'importance de ces phénomènes dans les principales applications d'intérêt (injection de carburant, débitmétrie, propulsion fusée) ainsi qu'aux spécificités de modélisation numérique.

### OBJECTIFS GLOBAUX

À l'issue de ce module, être capables de

- mettre en équation des problèmes canoniques d'écoulement diphasique à interface;
- expliquer et classer les mécanismes physiques entrant en jeu dans les applications d'intérêt (refroidissement par jet liquide, système d'injection, débitmétrie);
- citer les enjeux de la modélisation numérique d'écoulements diphasiques avec interface ainsi que les principales familles de techniques.

Cet enseignement est complémentaire du parcours Turbomachines et Combustion de la filière Dynamique des Fluides

### PROGRAMME PREVISIONNEL

- • physique du changement d'état et des interfaces liquide/solide/gaz;

- changement d'état, supercritique, surfusion, ...
- interfaces liquide/gaz: tension superficielle, gouttes, films;
- interfaces liquide/solide/gaz: mouillabilité, effet Leidenfrost;
- méthodes numériques locales et capture d'interface;
- configurations canoniques;
  - instabilités hydrodynamiques;
  - atomisation primaire d'une nappe liquide;
  - atomisation secondaire de gouttes;
- applications et modélisation réduite;
  - givrage d'un profil;
  - débitmétrie diphasique;
  - combustion dans un propulseur fusée hybride;
  - systèmes d'injection.

### ÉVALUATION

Rapports de BE (à définir)

### BIBLIOGRAPHIE

E. Guyon, JP. Hulin et L. Petit, Hydrodynamique physique. EDP Sciences, 2001.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## GENIE EOLIEN

Responsable : M. VEZZA / Stéphane JAMME

L'objectif de ce module est de montrer comment les principes de l'aérodynamique s'appliquent à l'étude des écoulements autour de bâtiments de grande taille, et comment ces derniers répondent aux sollicitations des vents.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Ce module constitue une introduction à l'étude des vents atmosphériques et des techniques de mesure associées. Il s'agit d'identifier les caractéristiques de ces écoulements qui sont à l'origine des charges statiques et dynamiques apparaissant sur les bâtiments et les structures de grandes dimensions, ainsi que de décrire les phénomènes aéro-élastiques caractérisant la réponse de ces structures.

Le module sera constitué d'une partie théorique (dispensée en anglais) et de séances dédiées à la description des techniques d'analyse numérique et expérimentale classiquement utilisées pour ce type d'écoulements, avec une partie pratique consacrée à l'analyse de données obtenues en soufflerie.

### EVALUATION

Notes d'exercices + rapport sur la partie BE

### BIBLIOGRAPHIE

John D. Holmes. Wing loading of structures. Third Edition, CRC Press, 2015

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

## APPROCHE PRATIQUE-INTÉGRÉE EXPÉRIMENTAL/ SIMULATION EN AÉRODYNAMIQUE

Responsable: Stéphane JAMME / Yannick BURY

L'objectif de ce module est d'introduire les bases des approches numérique et expérimentale en dynamique des fluides, et de les mettre en pratique de manière complémentaire dans l'analyse d'écoulements simples d'aérodynamique interne ou externe.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Ce module constitue une prise de contact avec les méthodes pratiques couramment mises en oeuvre pour analyser des écoulements dans le domaine de l'aérodynamique.

La mécanique des fluides numérique (CFD) sera abordée par le biais de logiciels commerciaux. L'objectif sera de former les étudiants à une bonne utilisation des logiciels de maillage et des codes de simulation numérique en gardant le point de vue de l'utilisateur, sans détailler l'analyse mathématique sous-jacente. Il s'agira d'acquérir une vue d'ensemble des étapes nécessaires à la mise en place correcte d'une simulation numérique, d'apprendre les notions essentielles nécessaires à l'ingénieur numérique, et de se forger une pratique de base des outils modernes dans ce domaine. Pour cela, une large place sera consacrée à l'utilisation des logiciels sur stations de travail.

Un parcours initiatique à la pratique expérimentale en mécanique des fluides sera également proposé en simultané.

Des cours magistraux auront vocation à présenter les notions fondamentales de l'approche expérimentale appliquée à la discipline, ainsi que les méthodes de diagnostics disponibles à l'heure

actuelle. Par la suite, des séances pratiques sur bancs d'essais permettront aux étudiants de se confronter avec la mise en oeuvre des méthodes et d'appréhender ainsi les contraintes particulières de cette approche.

Les deux aspects évoqués ci-dessus seront abordés en parallèle et l'accent sera mis sur la complémentarité entre les deux approches. Pour cela, les cas d'étude proposés seront autant que possible identiques entre les sessions sur machines et sur bancs d'essais. Ces applications pourront mettre en jeu des écoulements d'aéro-dynamique externe ou interne. En fonction du cas d'étude qui leur sera affecté, les étudiants pourront être formés à des logiciels différents (l'aérodynamique des machines tournantes est en effet généralement étudiée à l'aide de solveurs « spécialisés »).

### ÉVALUATION

➔ 1 QCM individuel + 1 présentation (environ 20' + 10' de questions) en binôme sur la base des sessions pratiques réalisées sur le cas d'étude attribué à chaque groupe + 1 mini-rapport sous forme d'article scientifique.

### BIBLIOGRAPHIE

C. Hirsch, Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. 1 et 2, Wiley, 1988.  
J-H. Ferziger & M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer-Verlag, 2001

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## PROPULSION ÉOLIENNE

Responsable : Vincent CHAPIN

L'objectif de ce module est d'étendre les savoirs faire de l'étudiant a un domaine de la mécanique des fluides source d'innovation : la propulsion éolienne. Ce champ est aujourd'hui le lieu de développements orientés vers la performance et/ou la durabilité. Les voiliers de compétition composés d'une aile rigide et de foils volent à l'interface eau/air. Ce mode de déplacement extrêmement performant engendre des problèmes de stabilité dynamique pour lesquels le rapprochement avec le domaine de l'aéronautique est naturel. Ces nouveaux développements se déclinent également sur des navires marchands à propulsion hybride pour relever le défi de la raréfaction des énergies fossiles par la propulsion éolienne.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

L'objectif est de donner les concepts fondamentaux de la propulsion éolienne. Les étudiants seront capables d'écrire et de modéliser les efforts aéro-hydrodynamique afin de décrire la dynamique d'un engin à propulsion éolienne. Le comportement et la modélisation des corps portants et des différentes sources de traînées seront abordés ainsi que leur validation à l'aide des outils de simulation numérique et des essais en soufflerie et en bassin des carènes. Quelques projets

emblématiques du renouveau de la marine marchande par la propulsion éolienne seront également abordés. Enfin, ce cours, à travers des séances pratiques et un projet donnera aux étudiants l'opportunité de coder leur propre programme de résolution des équations d'équilibre (VPP) afin de prédire les performances d'un navire à propulsion éolienne ou hybride.

### ÉVALUATION

Évaluation continue au fil des BE et du projet.

### BIBLIOGRAPHIE

- F. Fossati, Aero-Hydrodynamics & the Performance of Sailing Yachts, Adlard Coles Nautical, 2010.
- F. Bethwaite, High Performance Sailing: Faster Racing Techniques, Thomas Reed Publications, 2010.
- C.A. Marchaj, Sailing Performance: Techniques to maximize sail power, McGraw Hill, 2002.
- L. Larsson & R. Eliasson, Principles of Yacht Design, Ragged Mountain Press, 2014.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
 Semestre 4

## RÉALISER UNE PIÈCE EN FABRICATION ADDITIVE : POURQUOI ET COMMENT?

Responsable: K. MOUSSAOUI

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Initier les élèves en leur donnant des compétences et par une pratique, à la conception et à l'optimisation de pièces obtenues par fabrication additive. :

### ÉVALUATION

- 1 note de rapport de projet
- 1 note BE.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MATÉRIAUX AÉRONAUTIQUES ET SPATIAUX

Responsable : Rémy CHIERAGATTI / Laurent MICHEL

L'objectif de ce module est de présenter les principaux matériaux utilisés dans les structures aéronautiques et spatiales en justifiant leur utilisation par les caractéristiques qu'ils présentent: caractéristiques mécaniques, capacité de mise en œuvre, etc.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Pour répondre à l'objectif principal:

- ➔ problématique des matériaux:
  - pour cellules d'aéronefs
  - pour structures spatiales
  - pour transmission de puissance
- ➔ nature, fabrication, assemblage et propriétés:
  - matériaux composites à matrice organique (matrice céramique?)
  - alliages d'aluminium, de titane, bases Nickel
  - aciers spéciaux
  - alliages bases Nickel

- ➔ complément sur les propriétés d'usage, méthode d'essais, et relation avec les propriétés physiques des matériaux.

Ce cours permet d'étendre le cours de tronc commun Mécanique des Matériaux de 1<sup>re</sup> année et celui de Mécanique des structures de 2<sup>e</sup> année et de mettre l'étudiant dans le contexte d'un choix de matériaux pour une application aérospatiale.

À l'issue du module, l'étudiant sera capable de définir (de façon basique) les critères auxquels doivent répondre les matériaux d'un mécanisme aéronautique, d'une structure aéronautique ou spatiale et de les choisir en intégrant les contraintes de mise en œuvre, les traitements nécessaires.

### CONTENU

- ➔ Cours/TD sur les matériaux
- ➔ BEs d'application de choix des matériaux
- ➔ TP

### ÉVALUATION

Moyenne (TP/BE) + 1 Test écrit de Type QCM

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MATÉRIAUX INNOVANTS

Responsable : B. VIEILLE (Christophe BOUVET)

L'objectif de ce cours est le suivant :

- ➔ développer une culture matériaux plus large que les matériaux traditionnels (propriétés caractéristiques, applications) ;
- ➔ appréhender les lois de comportement de ces matériaux dans la perspective de la conception (étude de cas de dimensionnement), et de l'intégration dans des structures.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Dans la démarche de conception des structures, l'optimisation est devenue incontournable. Elle concerne la géométrie, la mise en œuvre et un choix de matériaux parfaitement adapté à l'application visée. L'idée consiste donc à utiliser des matériaux « sur-mesure » répondant à des fonctions spécifiques. Cette fonctionnalisation des matériaux repose sur des critères reconnus :

- ➔ matériaux plus performants du point de vue des propriétés mécaniques, physico-chimiques, de la résistance à la corrosion, de la tenue au feu, aux agents chimiques, etc... ;
- ➔ matériaux plus durables afin d'améliorer sécurité (transports) et rentabilité ;
- ➔ matériaux impliquant une mise en œuvre plus aisée ;
- ➔ matériaux présentant une aptitude au recyclage ;
- ➔ matériaux plus respectueux de l'environnement.

Les matériaux s'inscrivant dans cette catégorie sont souvent qualifiés de matériaux innovants. Le développement de ces matériaux et la compréhension de leur comportement thermomécanique parfois complexe forment la base indispensable à une intégration industrielle permettant d'obtenir des produits de haute technicité, composante importante de la compétitivité.

L'objectif de ce cours est multiple : développer une culture matériaux plus large que les matériaux traditionnels (propriétés caractéristiques, applications), appréhender les lois de comportement de ces matériaux

dans la perspective de la conception (étude de cas de dimensionnement), et de l'intégration dans des structures.

Pour chaque type de matériau innovant, présentation du matériau et de son comportement, de ses propriétés et ses principales applications :

- ➔ matériaux innovants (Silicium, bambou, mousse métallique, superalliage...);
- ➔ matériaux composites innovants (Matrice ou renfort innovant, écocomposite);
- ➔ matériaux intelligents (AMF, piézoélectriques, électro ou magnétostrictifs);
- ➔ structures hybrides adaptatives (Structure auto-contrôlable, contrôle de l'intégrité structurale, structure auto-réparante).

### COMPÉTENCES ATTENDUES :

À l'issue du module, l'étudiant sera capable de proposer une solution de matériau innovant pour une application donnée et de faire une pré-étude de dimensionnement (de façon basique) de son comportement mécanique.

### CONTENU

- ➔ cours de présentation des différentes classes de matériaux innovants et intelligents ;
- ➔ PCs sur l'utilisation et le pré-dimensionnement de matériaux innovants ;
- ➔ BE d'application sur une étude de cas ;
- ➔ type de pédagogie : cours, PC, BE.

### ÉVALUATIONS

- ➔ 1 BE.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## AÉROÉLASTICITÉ

Responsable : Joseph MORLIER

Ce module a pour objectif d'expliquer la problématique liée à l'aéroélasticité des avions souples. On introduit sa mise en équation et les hypothèses physiques associées. 4 BE illustreront les méthodes d'analyses des grands avionneurs (Airbus, Boeing, etc.). Le contexte industriel est utilisé pour mettre en relief les processus impliqués et les différentes interactions fluides-structures-contrôle. Enfin, le calcul des charges est abordé, aussi bien en vol qu'au sol.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

- savoir mettre en équation et résoudre les problèmes d'instabilités type flutter;
- comprendre les interactions fluides structure sur les avions;
- comprendre les principes d'instrumentation et identification modale lors des essais en vol;
- mettre en place des lois de contrôle adaptées;

Type de pédagogie : cours, TD, BE, projet.

**Prérequis (1A) :** Mécanique Générale, vibrations, Matlab

### PLAN

- introduction Flutter & Processus industriel;
- aéroélasticité Statique;
- aéroélasticité (commande de vol) & Turbulence;
- essais en Vol;
- identification;

- visite d'un laboratoire : essai en soufflerie et mise en évidence des phénomènes aéro-élastiques.

### ÉVALUATION

- 1 BE informatique noté et 1 projet;
- BE1 couplage des modes de flexion- torsion sur un profil mince (Matlab);
- BE2 identification modale sur des données vibratoires expérimentales (Matlab);
- BE3 Mise en place de Loi de contrôle de turbulence (Matlab/Simulink);
- BE4 Couplage de code fluide-structure en aéroélasticité (Nastran/DLM).

### BIBLIOGRAPHIE

Poly Lecordix

Vibrations des structures couplées avec le vent de Pascal Hémon

Aéroélasticité et aéroacoustique de Philippe Destuynder

Introduction to Aircraft Aeroelasticity And Dynamic Loads de Jan R. Wright et Jonathan E. Cooper

A Modern Course in Aeroelasticity de Robert Clark, David Cox, Howard C. Jr. Curtiss et John W. Edwards

Identification modale (note decours) de J. Morlier

Nastran Aeroelastic Analysis User's Guide by MSC

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## OPTIMISATION DE LA TENUE MÉCANIQUE D'UNE STRUCTURE PAR ÉLÉMENTS FINIS

Responsable : Christophe BOUVET / Samuel RIVALLANT

L'objectif de ce module est d'utiliser simultanément un code de calcul par éléments finis et un logiciel de conception assisté par ordinateur, utilisés industriellement, afin de concevoir, de dimensionner et d'optimiser une petite structure.

Pour répondre à cet objectif principal :

- introduire (ou rappeler) le principe de calcul de structures par éléments finis ;
- utiliser un logiciel de calcul de structure par éléments finis (EF) ;
- utiliser un logiciel de conception assisté par ordinateur (CAO) ;
- faire interagir le calcul par EF et la CAO ;
- concevoir, dimensionner et optimiser une structure réelle.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Pour répondre à l'objectif principal :

- introduire (ou rappeler) le principe de calcul de structures par éléments finis ;
- utiliser un logiciel de calcul de structure par éléments finis (EF) ;
- utiliser un logiciel de conception assisté par ordinateur (CAO) ;
- faire interagir le calcul par EF et la CAO.

Ce cours permet d'appliquer le cours de tronc commun Mécanique des Matériaux de 1<sup>ère</sup> année et celui de calcul de structures analytique et numérique de 2<sup>e</sup> année. Il s'agira de d'apprendre à utiliser un code de calculs par EF utilisé industriellement, ainsi qu'un logiciel de CAO, également utilisé industriellement. Afin de s'assurer que les bases scientifiques du calcul par éléments finis sont comprises, un cours de rappel sera dispensé en début du module.

L'utilisation simultanée d'un logiciel de calcul de structures et d'un logiciel de CAO permet un échange rapide entre ces 2 outils et d'appréhender le lien fort existant entre conception et dimensionne-

ment. L'objectif final est de concevoir une petite structure répondant à un cahier des charges fonctionnel, et en particulier supportant des charges données.

Ce module peut s'adresser à la fois aux élèves de 1<sup>ère</sup> année et de 2<sup>e</sup> année.

### Compétences attendues

À l'issue du module, l'étudiant sera capable de manipuler (de façon basique) un code de calcul par EF industriel et un logiciel de CAO industriel, et aura appréhendé les interactions fortes entre le calcul de structures et la conception.

### CONTENU

- rappel de cours sur les EF ;
- BE pour apprendre à utiliser un code de calcul par EF ;
- BE pour apprendre à utiliser un logiciel de CAO ;
- BE et petit projet permettant des allers-retours entre les 2 logiciels afin de concevoir, dimensionner et optimiser une petite structure.

**Type de pédagogie :** 1 cours d'introduction, BEs, projet

### ÉVALUATIONS

- 1 BE et un projet

### BIBLIOGRAPHIE

- Imbert (J.-F.), Analyse des structures par éléments finis, 1991, Cepadues.
- Prat (M.), La modélisation des ouvrages, 1995 Hermes.
- Barrau (J.+J.) et Sudre (M.), Modélisation des structures par éléments finis, 2005, Techniques de l'ingénieur.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## BIOMÉCANIQUE

Responsable : Frédéric LACHAUD / Christine ESPINOSA

L'objectif de ce module est de montrer le lien existant entre les méthodologies des sciences de l'ingénierie et les applications au vivant.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les approches interdisciplinaires appliquées au vivant constituent un vaste champ de développement ouvert sur les questionnements amont et fondamentaux et sur les applications cliniques et environnementales. Elles constituent un vecteur significatif d'innovations scientifiques et technologiques et leur impact sociétal est important (santé, environnement, technologies, économie).

L'objectif principal du module est de montrer le lien existant entre les méthodologies des sciences de l'ingénierie et les applications au vivant. Les problématiques cliniques concerneront les pathologies du vieillissement (maladies neurodégénératives, vieillissement articulaire), les défauts de croissance chez l'enfant (scoliose) et l'oncologie. Une problématique générique sera centrée sur la mécanobiologie des biofilms.

Les enseignements théoriques (22 heures) concerneront les points suivants :

- mécanique des milieux biologiques: fluides, structures (tissus durs/mous), problèmes couplés;
- approches multi-échelles, mécanobiologie et modèles prédictifs;
- transports en milieux réactifs biologiques;
- microcirculation cérébrale;

- imagerie appliquée au vivant;
- biomatériaux et Ingénierie tissulaire.

Un TP/projet sera proposé et mené sur 2 séances de 4 heures. Cette activité s'appuie sur le soutien IDEX Toulouse Formation en Ingénierie (Module Biomécanique (<http://www.univ-toulouse.fr/node/10543>)). L'objectif sera de mettre en lumière la pertinence des couplages ingénierie/vivant en utilisant une chaîne numérique et expérimentale.

A partir de l'imagerie médicale et/ou de données microtomographiques (équipement IMFT) sur spécimens biologiques et/ou par photogrammétrie (scanner optique disponible IMFT/CHU), les étudiants réaliseront

- la reconstruction géométrique 3D (codage de l'information, imagerie),
- la fabrication additive (imprimante 3D) et c) la caractérisation des propriétés structurales et des propriétés de transport (perméabilité effective du milieu poreux).

### ÉVALUATION

- TP/Projet.

L'évaluation de l'enseignement devra valider l'atteinte de nos objectifs par un retour du public étudiant. Nous pensons à l'évaluation de l'équilibre des notions amont et applicative, la pertinence du choix des intervenants et de leur message, la pertinence des applications présentées et notamment des TP/projet.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## INITIATION AUX TECHNIQUES D'ESSAIS EN VOL

Responsable: Éric POQUILLON / Étienne PERRIN

L'objectif de ce module est de comprendre la problématique des essais en vol de différents types d'avion et de systèmes, depuis le cadre réglementaire jusqu'à la réalisation des essais sur l'avion TB20 de l'école en passant par la conception des installations d'essais.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Après une présentation générale de la réglementation et des problèmes de certification les méthodes d'essais en vol sont décrites par les industriels du domaine, prenant en compte les spécificités liées aux différentes catégories d'avions.

Sont également abordés les problèmes d'instrumentation d'essais en vol.

Puis après présentation de notions de base (atmosphère, paramètres de vol) et description de l'installation de mesure de l'avion instrumenté TB20, 5 vols d'expérimentation sont réalisés.

L'élève est placé en situation d'ingénieur navigant d'essais avec une méthodologie rigoureuse liée à ce type d'activité (cours de présentation, préparation de l'essai, réalisation, exploitation).

### ÉVALUATIONS

L'évaluation sera faite sous la forme d'un rapport d'essais rendu par équipe de 3 personnes.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## COMMANDE DE VOL

Responsable : Philippe PASTOR

Ce module présente parallèlement l'étude du dimensionnement des gouvernes et l'étude de la définition des lois de pilotage qui seront intégrées dans les calculateurs. Son objectif est d'illustrer les rapports entre les caractéristiques aérodynamiques d'un avion, ses Qualités De Vol et les capacités des systèmes automatiques de gestion du vol. Ce module permettra d'aborder les aspects pratiques et technologiques du pilotage et guidage des aéronefs. Les fonctions de gestion du vol et de navigation seront succinctement présentées ainsi que les principaux instruments de bord.

On abordera également, au travers des méthodes classiques vue en tronc commun, le réglage dans le plan longitudinal d'un système de pilotage automatique d'avion civil en approche.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

L'objet de ce module est d'illustrer les rapports entre les caractéristiques aérodynamiques d'un avion et la capacité de le piloter :

- l'équilibrer autour de son centre de gravité ;
- le manœuvrer ;
- stabiliser ses mouvements.

Les commandes de vol électriques et les calculateurs de vol ont modifié radicalement l'approche conceptuelle d'un avion. Le pilote ne définit plus que des consignes et le calculateur assure la stabilisation et le respect de ces consignes. Un avion n'a plus besoin d'être naturellement stable.

Ensuite, dans un premier temps, les différents éléments du système de guidage-pilotage d'avion seront présentés.

- commande automatique du vol ;
- fonctions liées aux qualités de vol ;
- pilotage et guidage en croisière ;

- atterrissage automatique ;
- sécurité de la commande automatique du vol ;
- le FMS (Flight Management System) ;
- les principaux capteurs embarqués sur avion pour l'aide au pilotage et la navigation ;
- architecture des calculateurs.

Puis dans un second temps, des lois longitudinales en approche seront synthétisées. L'étude sera développée sur un modèle non linéaire d'avion civil.

### CONTENU DU MODULE

Dimensionnement des gouvernes - Le dimensionnement de l'avion et la qualité de vol. - Dimensionnement du plan horizontal. - Dimensionnement de la dérive. - Le roulis. - Les phases sol et les pannes.

Les lois de pilotage - L'avion naturel. - Le cahier des charges pour le pilotage. - Les techniques aérodynamiques pour la conception des lois. - La validation des lois de pilotage. - Les évolutions futures.

### ÉVALUATION

- Bureaux d'Études ;
- Un oral.

### BIBLIOGRAPHIE

P. Lecomte, Mécanique du vol, Dunod, 1962.

J-C. Wanner, La Mécanique du vol, Dunod, 1969.

P. Naslin, Théorie de la commande & conduite optimale, Dunod, 1969.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## FACTEURS HUMAINS

Responsable : M. CAUSSE

L'objectif de ce module est d'apporter un socle de connaissances de base autour des thèmes des facteurs humains et des interfaces homme machines. Les savoirs théoriques sont complétés par un certain nombre de travaux pratiques.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Ce cours constitue une introduction aux concepts clés des facteurs humains et permet de se former aux méthodes et aux outils d'analyse de l'homme en situation de pilotage d'aéronef. Le thème multidisciplinaire des facteurs humains est approfondi au travers de connaissances neuroscientifiques, et différents aspects tels que les interfaces hommes machines, les mesures physiologiques et oculométriques ou encore la neuroimagerie sont abordés. Les concepts théoriques en cours sont complétés par des exercices pratiques tels que

l'analyse du regard par oculométrie ou l'analyse cérébrale par électroencéphalographie...).

**Intervenants:** ISAE, ENAC, Air France...

### ÉVALUATION

L'évaluation est basée sur les notes obtenues à un rapport (réalisé en binôme/trinôme) portant sur l'analyse de données d'oculométrie enregistrés sur des pilotes en simulateur et sur un document dans lequel est effectuée une évaluation du module et des intervenants en fin de formation (l'évaluation est individuelle).

### BIBLIOGRAPHIE

CD Wickens, JG Hollands, S Banbury, R Parasuraman (2015). Engineering psychology & human performance.  
R Parasuraman, M Rizzo (2006). Neuroergonomics: The brain at work.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## AUTOMATIQUE AVANCÉE

Responsable : Caroline BERARD

L'objectif de ce module est de présenter d'autres techniques de synthèse de lois de commande pour aller au delà de ce qui a été fait dans le cours d'automatique de tronc commun. Ces techniques de synthèse seront présentées sous un angle très appliqué, les fondements théoriques étant abordés dans la filière de spécialisation de 3<sup>e</sup> année.

### OBJECTIFS GLOBAUX – COMPÉTENCES

Après un bref rappel des grands principes et des compromis de base de l'automatique, diverses techniques de synthèse de lois de commande seront abordées :

- ➔ la commande modale avec son extension aux systèmes multi-entrées, permettant entre autre de traiter les spécifications de découplage ;
- ➔ la commande linéaire quadratique que nous associerons à l'estimateur de Kalman pour aborder la commande linéaire quadratique gaussienne ;
- ➔ la commande H infinie, permettant entre autre de prendre en compte des spécifications de robustesse ;

- ➔ la commande adaptative qui connaît un regain d'intérêt et qui permet de synthétiser une loi de commande dont les performances s'adapte en fonction de certains paramètres du système.

En fonction de l'avancement du cours les aspects non linéaires pourront également être abordés.

Le cours sera construit autour d'une étude de cas sur laquelle les diverses techniques de synthèse seront appliquées. La démarche permettra de faire ressortir les principaux paramètres de réglage des techniques présentées et de mettre en évidence les points forts et faibles de chacune d'elles.

Le cours sera essentiellement axé sur le design et la mise en œuvre des lois de commande plus que sur la théorie qui les sous-tend. Ainsi ce module ne sera pas nécessairement redondant avec les enseignements de la filière de la 3<sup>e</sup> année. Il permettra en outre aux étudiants qui ne souhaitent pas se spécialiser dans cette discipline ou qui souhaiteraient réaliser un stage de césure dans le domaine, d'en avoir une vue plus large.

### ÉVALUATIONS

Étude de cas, soutenance orale, QCM

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année
  
 Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## VOLS HABITÉS

Responsable : Stéphanie LIZY-DESTREZ

L'objectif de une introduction à la problématique de l'Homme dans l'Espace, ses enjeux, ses spécificités et ses difficultés.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Le module s'articule autour de 2 axes principaux :

#### Axe humain : quelle survie pour l'homme dans un environnement aussi hostile ?

Cette partie présente les différentes étapes d'une mission spatiale pour un astronaute depuis la sélection jusqu'au retour sur Terre. Les effets de l'environnement spatial sur sa santé et les mesures mises en place pour sa surveillance médicale.

Les principaux enseignements sont : Historique du Vol Habité, Feuille de route de l'exploration spatiale habitée (point de vue ESA), Techniques de scaphandre et sorties extravéhiculaires, système de support vie, aspects historiques des facteurs humains dans les missions de vols habités....

#### Axe technologique : comment concevoir des systèmes spatiaux pour le vol habité ?

Les grandes thématiques du CADMOS (Centre d'Aide au Développement des Activités en Micropesanteur et des Opérations Spatiales) seront présentées par les experts du CNES : physiologie, moyens en micropesanteur, exobiologie, vols paraboliques, moyens sols, sciences de la matière,.... Pour illustrer ce module, une visite du CADMOS est programmée.

### ÉVALUATIONS

Le module sera évalué à travers un rapport, sur le thème d'une proposition d'expérience pour le vol en zéro-G.

Ce module n'attend pas de prérequis particulier, si ce n'est les cours de mécanique spatiale et d'Ingénierie Système du Tronc Commun de la deuxième année.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## INTRODUCTION AUX SCIENCES DE LA TERRE DEPUIS L'ESPACE

Responsable: E. ZENOU

Ce cours constitue une introduction à la météorologie et l'océanographie. La première partie «météorologie- physique de l'atmosphère» comprend la circulation atmosphérique à grande échelle, les lois physiques du mouvement atmosphérique, les principaux phénomènes des latitudes tempérées et tropicales et les principes de base des

modèles numériques. La deuxième partie «océanographie» comporte les bases de la circulation océanique, les techniques de mesure satellitaires, une introduction à la modélisation et l'assimilation océaniques, et le couplage océan-atmosphère. Une troisième partie concerne l'étude des glaces continentales.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## GUIDAGE ET PILOTAGE DES DRONES

Responsable : Y. BRIERE

Les nombreux « drones » (quadricoptères) vendus dans le commerce cachent un concentré de technologies et de méthodes de stabilisation. L'objectif de ce cours est d'avoir une vision globale des problèmes théoriques et pratiques qui permettent de concevoir une loi de commande permettant d'envisager une mission autonome. Tous les aspects pratiques de ce cours sont testés à la fois sur un support de simulation et sur un support expérimental.

### OBJECTIFS GLOBAUX - COMPÉTENCES

Les objectifs principaux de ce cours sont :

- connaître les principales technologies mises en œuvre dans les minidrones de type « quadricoptère » ;
- connaître et mettre en œuvre des principales lois de commande (attitude, vitesses, position) ;
- mettre en application les méthodes et principes d'automatique du cours de tronc commun sur un système réel et complexe ;
- couvrir le champ de l'asservissement de bas niveau et du guidage.

Le « fil rouge » du cours est une mission qui fera l'objet d'un BE en situation réelle. Les points successivement abordés seront les suivants :

- modélisation du système permettant de prédéterminer une loi d'asservissement ;
- modèle complet, couplages et découplages, effets négligés structures des lois d'asservissement, feedforward, compensations de non linéarités, anti windup, etc.
- synthèse des lois de commande, respect d'un cahier des charges ;
- test des lois de commande sur banc d'essai : tests unitaires, identification ;
- test de la mission de suivi de cible.

### PRÉREQUIS ET REMISE À NIVEAU

Cours d'automatique de tronc commun

### ÉVALUATION

- rapport de BE + examen oral individuel ;

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MAINTENANCE DES SYSTÈMES AÉRONAUTIQUES

Responsable : Joël JÉZÉGOU

### OBJECTIFS

Secteurs d'activité majeurs dans l'écosystème aéronautique civil et militaire, la maintenance des aéronefs, moteurs et équipements, les opérations aériennes et le support aux flottes en service génèrent un chiffre d'affaires mondial très significatif (et en hausse régulière) et de très bonnes perspectives d'emploi, notamment par l'augmentation du nombre d'aéronefs en service (+ 10 000 à l'horizon 2025).

L'objectif de ce module est de comprendre l'environnement et les enjeux de la maintenance et du support des systèmes aéronautiques tout au long de leur cycle de vie. L'évolution des techniques de maintenance et des opérations aériennes par les traitements de données disponibles (data science) est également introduit, pour donner aux futurs ingénieurs une perspective sur les opportunités techniques, commerciales et d'emploi issues du travail combiné des ingénieurs aéronautiques et des data scientists.

### CONTENU DU MODULE

Après une introduction aux enjeux, acteurs et outils de la maintenance et du support (métiers, données économiques, concepts de maintenance, réglementation, fiabilité, opérabilité), les phases clés du cycle de vie d'un aéronef seront étudiées au travers du point de vue de trois acteurs.

- Conception, avec le point de vue du constructeur : concevoir un aéronef maintenable, définir son programme de maintenance et les services de support aux opérations;
- Opération d'aéronefs civils incluant les activités de maintenance, avec le point de vue de la compagnie aérienne - industriel opéra-

teur de maintenance : mettre en œuvre un programme de maintenance, organiser et réaliser l'entretien d'une flotte d'aéronefs, connaître le risque "facteurs humains" et le système de gestion de la sécurité (SMS) en maintenance, connaître les coûts de maintenance;

- Opération d'aéronefs militaires, avec le point de vue de l'opérateur militaire : opérer dans un environnement militaire présentant des contraintes spécifiques, appréhender les facteurs à prendre en compte en conception pour maîtriser le coût du cycle de vie d'un produit, connaître l'ingénierie du soutien logistique intégré (SLI) et le soutien en service
- Apport de la data science pour une compagnie aérienne : production, collecte et traitement des data aéronautiques pour la détection et le diagnostic d'anomalies, la maintenance prévisionnelle et l'optimisation des opérations aériennes
- Analyse environnementale de cycle de vie, recyclage et fin de vie des aéronefs

Une visite du site d'Air France Industries à Blagnac (maintenance de la famille A320 d'Air France) est susceptible de compléter le module (sous réserve de disponibilité d'Air France).

Intervenants : ISAE-SUPAERO, Air France, Ministère des Armées, Airbus

### ÉVALUATION

- Examen (QCM) en ligne

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
Semestre 4

## **IMPACT CLIMATIQUE DE L'AVIATION : SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES**

Responsable: F. SIMATOS / S. DELBECQ

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## THÉORIE DE L'INFORMATION

Responsable : Jérôme LACAN

L'objectif de ce module est de présenter les concepts de base ainsi que les applications de la **théorie de l'information** qui permet de **mesurer la quantité d'information** contenue dans un fichier ou transmise sur un lien de communication.

Les applications de cette théorie sont la **compression de données**, le **codage** et la **sécurité** qui constituent certaines des bases des systèmes et réseaux de communications actuels.

### OBJECTIFS GLOBAUX, CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

La Théorie de l'Information définit un ensemble d'outils permettant de mesurer la quantité d'information contenue dans un fichier ou de donner le débit maximum atteignable lors d'une communication. Ces notions sont essentielles dans les réseaux, les communications et l'informatique. Elles sont également utilisées dans d'autres domaines tels que la biologie ou la chimie.

L'objectif de cet enseignement est d'introduire les concepts de base de la Théorie de l'Information et de présenter ses principales applications :

- la **compression de données**, qui permet de réduire la taille des données stockées ou transmises ;

- les **codes correcteurs d'erreurs** qui génèrent de la redondance pour stocker ou transmettre des données de manière fiable ;
- la **sécurité des informations** qui transforme les données de telle sorte à ce qu'elles ne soient pas accessibles à des personnes non autorisées ;
- d'autres applications plus exotiques : liens avec l'apprentissage automatique, les réseaux, la biologie, la chimie, la recherche d'extraterrestres...

### ÉVALUATIONS

Les évaluations seront réalisées sous trois formes :

- examen écrit ;
- BE notés ;
- présentation orale.

### BIBLIOGRAPHIE

Claude Shannon, «A Mathematical Theory of Communication». Bell System Technical Journal 27 (3): 379-423, Juillet 1948

Voyage dans le monde de la Théorie de l'information: <https://fr.khanacademy.org/computing/computer-science/informationtheory>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## CRYPTOGRAPHIE

Responsable : Jérôme LACAN

L'objectif de ce module est de présenter les différents algorithmes de chiffrement ainsi que leurs principales applications. Nous aborderons notamment les problématiques des chiffrements symétrique et asymétrique, de l'échange de clés ou du partage du secret. Dans ces différents domaines, nous présenterons les principaux algorithmes et nous analyserons leur sécurité aux niveaux théorique et pratiques.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

La cryptologie est aujourd'hui un des éléments essentiels du développement de l'Internet et plus généralement des systèmes de communications. La cryptologie est constituée de la cryptographie, qui consiste à concevoir des systèmes de chiffrement, et de la cryptanalyse, qui consiste à analyser la sécurité de ces systèmes. Les applications de ces systèmes comprennent :

- la confidentialité ;
- l'authentification ;
- l'intégrité ;
- la non-répudiation, le partage du secret et bien d'autres.

Ces différentes fonctionnalités sont absolument nécessaires pour la construction de systèmes d'information et de communications sûrs ayant des impacts sociétaux considérables :

- respect de la vie privée ;
- santé ;
- banques/finances (Bitcoin/blockchain) ;
- sécurité physique, etc.

Les révélations d'Edward Snowden ont mis en évidence l'utilisation de failles de sécurité de ces systèmes par des services de renseignements et des entreprises. Cette évolution montre que la connaissance de ces systèmes doit être partagée par le plus grand nombre.

Ce module est complémentaire du module 1A de « Théorie de l'Information » qui pose certaines bases théoriques (mais qui n'est pas un prérequis). Ce module se focalisera sur la présentation et l'analyse des algorithmes de chiffrement. Les outils mathématiques seront tout d'abord introduits (théorie des nombres, corps finis, courbes elliptiques, etc). Ensuite, les principaux algorithmes de chiffrement (symétrique, asymétrique, ...) seront présentés et analysés d'un point de vue théorique (présentation des attaques connues) et, pour certains d'un point de vue pratique. En effet, quelques BE permettront de réaliser des tests de résistance à la cryptanalyse sur des cas simples.

### ÉVALUATIONS

- examen écrit ;
- BE notés ;
- présentations de mini-projets.

### BIBLIOGRAPHIE

Doug Stinson, « Cryptography Theory and Practice »  
Alfred J. Menezes, Paul C. van Oorschot and Scott A. Vanstone,  
« Handbook of Applied Cryptography »

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## DISTRIBUTIONS, OPÉRATEURS ET SEMI-GROUPES

Responsable: M. SALAUN / D. MATIGNON / G. Haine

L'objectif de ce module est de donner un aperçu des mathématiques déterministes théoriques utiles dans les applications des sciences de l'ingénieur. Il se décompose en trois parties : distributions, opérateurs et semi-groupes, généralisant respectivement les fonctions, les matrices et les exponentielles de matrices. Le cours est émaillé d'exemples d'application concrets et utilisables.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les distributions généralisent les fonctions : les solutions faibles d'EDP sont des distributions particulières, la mesure ou le peigne de Dirac en sont d'autres. Ce cours donnera les définitions et propriétés essentielles, assorties d'exemples très utilisés dans les sciences de l'ingénieur. La transformation de Fourier sera définie sur les distributions dites tempérées, ce qui permettra de définir les espaces de Sobolev d'ordre quelconque qui sont utilisés pour la résolution d'EDP.

Les opérateurs généralisent les matrices sur les espaces de Hilbert. On distingue dans les applications les opérateurs bornés, comme le décalage des suites, ou non-bornés comme la dérivation de fonctions. On donnera des théorèmes de réduction similaires à la diagonalisation des matrices symétriques réelles. Le spectre d'un opérateur généralise les valeurs propres d'une matrice d'une manière surprenante : les définitions seront illustrées par des exemples simples très concrets et utiles.

Les semi-groupes généralisent les exponentielles de matrices à des opérateurs sur des espaces de Hilbert : ils permettent d'écrire les solutions des EDP d'évolution linéaires, comme la chaleur ou les

ondes. Les espaces de Hilbert considérés peuvent être des espaces de Sobolev. Dans les cas où la géométrie du domaine est simple, ce qui permet de connaître explicitement le spectre de l'opérateur, le semi-groupe possède une expression analytique simple, sous forme de série qui le rend facilement manipulable : des exemples concrets et utiles illustreront cette partie.

### ÉVALUATIONS

➔ 6 BE écrits de 1h chacun, deux dans chaque sous-partie.

### BIBLIOGRAPHIE

- L. Schwartz, Méthodes mathématiques pour les sciences physiques, Coll. Enseignement des Sciences, Hermann, 1965.
- A. W. Naylor and G. R. Sell, Linear operator theory in engineering and science, vol. 40 in Applied Mathematical Sciences, Springer Verlag, 1982.
- A. Pazy, Semigroups of Linear Operators and Applications to Partial Differential Equations, Springer Verlag, 1983,

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## INTRODUCTION À LA THÉORIE DES GRAPHS DÉTERMINISTE ET ALÉATOIRE

Responsable: F. SIMATOS

Ce module est une introduction à la théorie des graphes déterministes et aléatoires. Chaque séance développera un thème indépendant, proposera la preuve d'un résultat célèbre et s'accompagnera de quelques exercices.

### OBJECTIFS GLOBAUX, CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les graphes sont massivement présents au XXI<sup>e</sup> siècle. Les réseaux sociaux, les réseaux de communications, les réseaux d'interactions en biologie ou en chimie moléculaire sont au centre de grands enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux. L'objectif de ce cours est de fournir les concepts mathématiques clés pour penser et décrire ces structures complexes.

Chaque séance développera un thème indépendant, comme le coloriage des graphes, leur dénombrement ou les arbres aléatoires. Nous y présenterons la preuve d'un résultat célèbre que nous développerons autour de quelques exercices.

### ÉVALUATION

L'évaluation sera basée sur au moins deux notes, une note de mini-projet à réaliser seul ou en binôme, et une note d'examen sur table individuel. Les détails précis dépendront de l'effectif de la classe.

### BIBLIOGRAPHIE

- D. West "Introduction to graph theory". Second Edition. Prentice Hall, 2001.
- N. Alon et J. Spencer "The probabilistic method". Third Edition. John Wiley & Sons, 2008.
- S. Janson, T. Luczak et A. Rucinski "Random graphs". John Wiley & Sons, 2000.

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## APPLICATIONS WEB DE NOUVELLE GÉNÉRATION

Responsable : Tanguy PÉRENNOU

L'objectif de ce module est d'apprendre à concevoir et développer des applications web interactives et mobiles couplées à des serveurs Web dynamiques en s'appuyant sur l'écosystème Python, en particulier Django. Ces applications suivent globalement l'architecture suivante :

### OBJECTIFS GLOBAUX - COMPÉTENCES

À l'issue du module, les élèves seront en mesure de :

- décrire l'écosystème général des composants de développement d'applications Web – architecture, langages, interfaces, frameworks, bases de données, etc.
- expliquer la notion d'architecture logicielle trois tiers ;
- décrire le fonctionnement général d'un serveur de pages Web dynamiques couplé à une base de données ;
- décrire le fonctionnement général d'applications Web coté client utilisant des appels asynchrones, en particulier l'exemple d'Ajax
- décrire le fonctionnement général et l'utilisation d'un service Web de type RESTful ;
- faire des manipulations simples avec une base de données relationnelle ou non, comme par exemple MySQL, Postgres, H2 ou MongoDB ;
- développer des programmes de taille moyenne en langage Python ;
- réaliser de petits serveurs de pages Web dynamiques en Python/HTML/CSS avec Django ;
- développer des applications clientes (mobiles) avec Django.

### ÉVALUATIONS

L'évaluation se fera au moyen d'un projet en deux phases :

- Une phase individuelle
- Une phase en petit groupe, avec note individuelle Mini-projet + Examen écrit.

### BIBLIOGRAPHIE

W3School : Learn HTML, CSS, JavaScript (<http://www.w3schools.com>)

- M. Lorant, M. Xhonneux, OpenClassrooms : Développez votre site web avec le framework Django (<https://openclassrooms.com/fr/courses/1871271-developpez-votre-site-web-avec-le-framework-django>)
- Documentation officielle Django (<https://docs.djangoproject.com/fr/2.2>)

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MODÉLISATION 3D

Responsable : Pierre SIRON

Les univers virtuels sont devenus des éléments incontournables de notre environnement quotidien. On les retrouve systématiquement dans les programmes télévisés, les jeux, les films d'animation, la simulation, la construction (aéronautique, navale, automobile), l'urbanisme, etc. La création numérique de ces environnements passe par la création des objets tridimensionnels qui les composent. Des avancées importantes ont aussi effectuées sur les imprimantes 3D. Nous aborderons aussi les problématiques liées à la création d'objets numériques imprimables pour tous. La synthèse d'images est une autre application de ces modèles.

### OBJECTIFS GLOBAUX - COMPÉTENCES

Avec des illustrations sur des exemples concrets comme la création d'un fuselage d'avion, d'un personnage de film d'animation ou de jeu vidéo, etc, ce cours présente les modèles élémentaires de représentation de surfaces tridimensionnelles ainsi que les outils qui permettent de les manipuler. Nous verrons les concepts fondamentaux et les difficultés liées à la manipulation d'objets 3D. Les travaux pratiques (BE) se déclinent sous trois formes, au choix de chaque étudiant.

- ➔ à travers un programme en langage C, ils découvriront l'implantation informatique de surfaces avec leur visualisation interactive et les étudiants pourront créer des objets simples avec leur propre outil;
- ➔ en utilisant le logiciel Blender, les étudiants pourront créer un modèle ou un environnement complexe (éventuellement animé) et ainsi appréhender les difficultés liées à cette tâche;
- ➔ les étudiants pourront produire un état de l'art autour d'une problématique recherche en lien avec le cours.

Tout au long du cours, nous verrons aussi quelques exemples d'applications industrielles ainsi que des résultats de recherche. Nous pourrions ainsi illustrer les différences et les liens qu'il existe entre ces deux univers dans les domaines de la synthèse d'images.

### ÉVALUATION

Au choix : projet ou analyse d'articles

### BIBLIOGRAPHIE

<http://www.irit.fr/~Loic.Barthe/Enseignements/SupAero/>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MÉTHODES DE MONTE-CARLO

Responsable : X. GENDRE / J. MORIO

L'objectif du module est de comprendre, analyser et implémenter des méthodes de Monte-Carlo adaptées aux problèmes que peuvent rencontrer les ingénieurs dans la simulation de systèmes complexes

### OBJECTIFS GLOBAUX

La résolution de nombreux problèmes scientifiques nécessite de calculer des sommes, des intégrales ou encore de résoudre des équations ou des problèmes d'optimisation. Pour des systèmes complexes ou de grande dimension tels que la conception de lanceurs spatial ou la gestion de portefeuilles d'actifs, les techniques de calcul direct sont très vite dépassées. Les algorithmes stochastiques dits «de Monte-Carlo» offrent une alternative pour résoudre ces problèmes : ce cours propose un tour d'horizon théorique et algorithmique de ces méthodes.

La méthode de Monte Carlo classique pour calculer une intégrale consiste à utiliser la loi des grands nombres en interprétant l'intégrale comme l'espérance d'une variable aléatoire. L'erreur d'estimation dépend alors de la racine du nombre d'échantillons utilisés, au contraire d'une approximation par des sommes de Riemann dont l'erreur augmente avec la dimension du problème. Le cours présentera aussi des techniques d'échantillonnage préférentiel permettant d'améliorer les performances de cette technique.

Le cours présentera d'abord les bases de la simulation stochastique, puis visera à analyser les performances attendues des méthodes de Monte-Carlo. L'implémentation de ces techniques stochastiques à

l'aide de Matlab permettra à l'étudiant d'évaluer sur des cas concrets leurs forces et leurs faiblesses.

Le cours présentera d'abord les bases de la simulation stochastique, puis visera à analyser les performances attendues des méthodes de Monte-Carlo. L'implémentation de ces techniques stochastiques à l'aide de Matlab permettra à l'étudiant d'évaluer sur des cas concrets leurs forces et leurs faiblesses.

### PRE-REQUIS

Ce cours se déroule entièrement en salle machine et sous python. Il s'appuie sur les connaissances de base en probabilités et statistique. En probabilités, il est attendu des étudiants une bonne maîtrise des notions de convergence (loi des grands nombres et théorème central limite). En statistique, l'étudiant devra être familiarisé avec les notions de base en estimation telle que la notion d'estimateur sans biais et d'intervalle de confiance.

### ÉVALUATIONS

➔ 3 devoirs maison et un compte-rendu global. .

### BIBLIOGRAPHIE

C. Robert et G. Casella, Monte-Carlo statistical methods, Springer-Verlag, Springer texts in statistics, 2004.

Polycopié du cours de probabilités et statistique de l'ISAE, disponible sur la page web <http://personnel.isae.fr/florian-simatos/>

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## INTRODUCTION AU BIG DATA

Responsable : D. WILSON

L'objectif de ce module est de permettre une introduction par la pratique aux problématiques liées à la gestion, au traitement et à la valorisation de grands volumes de données. On abordera, au travers d'une série de cas d'étude variés, les différents enjeux autour du Big Data, les outils à disposition pour la chaîne de traitement et les verrous scientifiques des prochaines années.

- ➔ connaître les mots-clés des outils mis en œuvre dans un traitement Big Data ;
- ➔ savoir identifier l'usage de chaque outil dans la chaîne de traitement Big Data ;
- ➔ connaître plusieurs cas d'étude grandeur nature issus d'application réelles.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

- ➔ savoir reconnaître un problème Big Data (et ce qui n'en est pas) ;

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## DANS LA PEAU D'UN INGÉNIEUR EN OPTIMISATION

Responsable : Emmanuel RACHELSON

Que fait un ingénieur en optimisation au quotidien? Le but de ce module est de répondre à cette question par la pratique. Pour cela, un ingénieur-chercheur en optimisation de la production court terme à EDF R&D se mettra tantôt dans la peau des clients, tantôt dans la peau des experts, pour inverser les rôles et mettre les étudiants dans la peau d'une équipe d'ingénieurs R&D en optimisation, en traitant le problème de la planification journalière de la production électrique française. Le module s'articulera autour des questions de modélisation et de formalisation du problème, introduira des éléments d'optimisation combinatoire et impliquera leur mise en pratique grâce au logiciel OPL Studio et au solveur CPLEX. Le module se déroulera sous forme de plusieurs ateliers pratiques où se sont les étudiants qui proposeront des solutions. Il se terminera sur une ouverture sur les problèmes d'optimisation dans le monde de la gestion d'énergie.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

- ingénierie du besoin, expression de besoin et cahier des charges d'une solution d'optimisation, en relation avec un client des métiers de l'énergie;
- mise en pratique des notions d'optimisation combinatoire du tronc commun;
- compléments d'optimisation combinatoire;
- modélisation en optimisation combinatoire;
- environnement OPL Studio.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## OPTIMISATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

Responsable : Michel SALAÛN / Youssef DIOUANE

Ce cours se positionne en complément du tronc commun 1A en approfondissant le cours d'optimisation. L'objectif est d'introduire les algorithmes classiques l'optimisation numérique (avec et sans dérivée) pour résoudre un problème d'optimisation sans contraintes.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Le but de ce cours est de donner une vision pratique sur les algorithmes de résolution en optimisation où plusieurs BE sous MatLab permettront de les tester. Trois axes seront abordés donnant lieu à cours et BE MatLab :

- algorithmes de descentes (rappel, analyse et mise en pratique): 10h;
- algorithmes de régions de confiance (introduction, analyse et mise en pratique): 10h;

- optimisation sans dérivée (introduction, analyse et mise en pratique): 10h.

### ÉVALUATIONS

BE MatLab.

### BIBLIOGRAPHIE

\*Jorge Nocedal and Stephen J. Wright, "Numerical Optimization", 2006 Springer Science+Business Media, LLC.

\*Andrew R. Conn and Nicholas I. M. Gould and Philippe L. Toint, "Trust-Region Methods", 2000, Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, PA, USA.

\*Andrew R. Conn and Katya Scheinberg and Luis N. Vicente, "Introduction to Derivative-Free Optimization", 2009, Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, PA, USA.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## MBSE

Responsable : P. DE SAQUI-SANNES

Ce module a pour but de présenter l'architecture des systèmes avioniques, ensemble d'éléments logiciels et matériel utilisés à bord des avions, satellites et lanceurs. Au-delà d'un catalogue de fonctions, l'architecture avionique contrôle l'ensemble du système en phase opérationnelle. Sa conception requiert une compréhension des enjeux de l'Ingénierie Système, à même de capturer les besoins, et de l'Ingénierie des Systèmes Embarqués pour leur réalisation. Dans ce cadre, les technologies basées modèles jouent un rôle structurant permettant de lier tous les éléments de conception.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

L'objectif de ce module est de présenter les enjeux des architectures avioniques au travers de séminaires, et un projet permettant de concevoir une fonction utilisant Capella.

Il couvre les points suivants :

- Model-Based Systems Engineering
- Design Space Exploration
- Trade-space analysis

### ÉVALUATION

Réalisation d'un projet couvrant une étude de cas

### BIBLIOGRAPHIE

L'ouvrage « Introduction aux systèmes embarqués temps réel -- Conception et mise en œuvre » par Emmanuel Grolleau, Jérôme Hugues, Yassine Ouhammou, Henri Bauer aux Editions Dunod couvre la méthodologie et l'outillage utilisé dans ce cours

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## ARCHITECTURE DES SYSTÈMES

Responsable : Rob VINGERHOEDS

Le but des activités d'architecture de système est de définir une solution complète basée sur des principes, des concepts et des propriétés logiquement liés et cohérents les uns avec les autres. L'architecture de la solution a des caractéristiques, des propriétés et des caractéristiques satisfaisant, autant que possible, au problème ou à l'opportunité exprimé par un ensemble d'exigences système (traçables aux exigences de la mission / des affaires et des parties prenantes) et du cycle de vie sont réalisables grâce à des technologies (par exemple, mécanique, électronique, hydraulique, logiciels, services, procédures, activité humaine).

L'architecture du système est abstraite, axée sur la conceptualisation, globale et centrée sur la mission et les concepts du cycle de vie du système. Il se concentre également sur la structure de haut niveau des systèmes et des éléments du système. Il aborde les principes architecturaux, les concepts, les propriétés et les caractéristiques du système d'in-

térêt. Il peut également être appliqué à plus d'un système, formant dans certains cas la structure commune, le modèle et l'ensemble d'exigences pour les classes ou les familles de systèmes similaires ou connexes.

Le cours vise à enseigner les principes de l'architecture de système, de montrer sa place dans les cycles de développements (industriels), et de l'appliquer sur des cas concrets. Des cas d'application industriels seront présentés et analysés.

### CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Bases de l'ingénierie systèmes (semaine analyse fonctionnelle en S3).

### ÉVALUATION

Étude de cas à analyser et présenter.

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## ALGORITHMES EVOLUTIONNAIRES

Responsable : D. WILSON

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

The premise of evolutionary computation is simple: the simulation of natural selection used to solve a problem, where candidate solutions compete as individuals in order to influence future generations. From this simple premise, a multitude of algorithms have been developed, and evolutionary computation can be found in a number of domains. In this course, we'll give a broad overview of different evolutionary computation methods, focusing on the state of the art. The objective of this course is that students gain:
 

- First hand experience with and detailed knowledge of evolutionary methods
- Broad knowledge of many evolutionary algorithms and their respective strengths

The ability to write and use evolutionary algorithms for different tasks. As this is the first iteration of this course, we may change the following course material over time. Please keep up to date with the course website for any changes. This class will be given in French, although many of the course resources will be in English.

### BIBLIOGRAPHIE

De K. Evolutionary Computation: A Unified Approach. MIT Press, 2006.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## PFEM4PHS

Responsable : G. HAINE / D.Matignon

Les systèmes physiques complexes possèdent de multiples phénomènes qui interagissent entre eux. Il est de ce fait souvent difficile de proposer des modèles qui soient suffisamment robustes pour les contrôler, les simuler, les connecter, etc.

Le formalisme des systèmes Hamiltoniens à ports d'interaction (port-Hamiltonian systems : pHs) constitue l'un des meilleurs candidats pour ce faire, en s'appuyant sur les échanges d'énergie entre domaines (qu'il s'agisse de domaines spatiaux distincts mais en contact, ou de domaines énergétiques au sein d'un même volume d'espace : transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique, de l'énergie électro-magnétique en énergie interne, etc.).

Cette approche permet en particulier le déploiement des nombreuses techniques issues de l'automatique pour le contrôle du système étudié.

Par ailleurs, les pHs jouissent de propriétés remarquables :

Toutes les quantités ont un réel sens physique ;

- L'interconnexion de deux pHs est un pHs ;
- Une structure algébrique sous-jacente décrit la géométrie intrinsèque des solutions, indépendamment des paramètres physiques ;
- Ils préservent la séparation entre axiomes et lois comportementales.

Le but de ce module est de proposer une introduction aux systèmes Hamiltoniens à ports d'interaction, d'abord en dimension finie, puis dans le cadre des équations aux dérivées partielles, et d'en étudier la discrétisation structurée par la Méthode des Éléments Finis Partitionnés (Partitioned Finite Element Method : PFEM).

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## LA MINIATURISATION, JUSQU'OU ? DES NANOTECHNOLOGIES AUX NANO-OBJETS

Responsable: Sébastien MASSENOT

La miniaturisation des dispositifs et des machines (en télécommunication, dans les ordinateurs, dans les instruments de mesures ou dans les systèmes mécaniques) utilise maintenant les propriétés quantiques inhérentes aux systèmes atomiques et moléculaires. Ce module d'ouverture a pour objectif de sensibiliser aux limites de miniaturisation pour la réalisation de composants / machines aussi bien du point de vue technologique que du point de vue conceptuel avec la prise en compte des effets quantiques.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les thèmes suivants seront abordés au cours de ce module :

- introduction aux problématiques de la miniaturisation et ses limites ;
- présentation des techniques de nanofabrication, approches top-down et bottom-up ;
- nanocomposants optiques: sources de photons uniques et pour l'information quantique, cristaux et circuits photoniques ;

- nanocomposants électroniques: problématique de réduction de la taille des composants, transport des électrons dans des circuits à l'échelle nanométrique.

La compétence principale visée par ce bloc sera l'utilisation des propriétés du monde quantique, de la connaissance de la frontière entre le monde macroscopique et le monde quantique jusqu'à la reconstruction quand cela est nécessaire des lois de la physique macroscopique pour concevoir des nanocomposants.

### ÉVALUATION

Test écrit

### BIBLIOGRAPHIE

Collection: Les nanosciences, Tomes 1 à 5, Belin  
 C. Joachim et L. Plévert, Nanosciences: La révolution invisible, Seuil, 2008

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT RADIATIF NATUREL SUR L'AVIONIQUE, LES LANCEURS ET LES SYSTÈMES SOL

Responsable: Vincent GOIFFON

L'objectif de ce module est de sensibiliser les ingénieurs de demain aux effets de l'environnement radiatif naturel (neutrons atmosphériques, rayons cosmiques...) ainsi qu'à la manière de s'en prémunir dans le contexte des systèmes électroniques qui sont au cœur d'applications critiques comme l'avionique, les lanceurs, l'automobile et les serveurs informatiques (data centers, cloud...).

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Avec l'accroissement de la densité des circuits électroniques et la réduction des dimensions de la brique élémentaire, le transistor, la sensibilité des systèmes électroniques au rayonnement radiatif naturel présent sur l'intégralité du globe s'intensifie d'années en années. Les concepteurs et utilisateurs de systèmes numériques critiques ne peuvent pas aujourd'hui ignorer cette menace et ils doivent prendre en compte ces effets pour s'en protéger et assurer la sûreté de fonctionnement des systèmes critiques que l'on trouve notamment dans l'aéronautique, les lanceurs, l'automobile et les serveurs informatiques.

Ce module présente ce qui constitue l'environnement radiatif naturel que l'on trouve à proximité de la Terre et dans l'atmosphère, ainsi que les défaillances que peuvent engendrer ces radiations dans les systèmes électroniques critiques. Pour chaque application traitée dans ce cours, les effets de ces particules de haute énergie et les techniques pour s'en prémunir sont développées.

Le module est découpé en sept créneaux décrits ci-dessous (intervenants à confirmer):

- introduction/environnement radiation naturel/analyse de vulnérabilité des systèmes (Nuclétudes)

- prise en compte des effets de l'environnement radiatif naturel:
  - dans les lanceurs (Ariane Group)
  - dans les serveurs informatiques (data centers, cloud...)
  - dans les avions (Airbus)
  - dans l'automobile (Renault)
  - exemple de prise en compte de ces effets dans un accélérateur (CERN)
  - bureau d'étude/travaux pratiques

A l'issue de ce module les étudiants auront conscience de l'existence de la contrainte que représente l'environnement radiatif naturel et des techniques à mettre en œuvre lors de la conception ou de l'opération des systèmes électroniques critiques.

### ÉVALUATION

Rapport de la séance de BE/TP

### BIBLIOGRAPHIE

The Invisible Neutron Threat: [https://www.lanl.gov/science/NSS/issue1\\_2012/story4full.shtml](https://www.lanl.gov/science/NSS/issue1_2012/story4full.shtml)

E. Normand, «Single-event effects in avionics,» in IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 43, no. 2, pp. 461-474, Apr 1996. doi: 10.1109/23.490893

Single-Event Upsets and Microelectronics (Why neutrons matter to the electronics industry): <http://www.bartol.udel.edu/~clem/NMworkshop2015/presentations/Gordon.pdf>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## CONCEPTION DES CIRCUITS NUMÉRIQUES COMPLEXES

Responsable: V. GOIFFON / P. MAGNAN

Les circuits numériques font désormais partie de notre vie quotidienne: téléphones portables, GPS, appareils photos... Nos infrastructures reposent également sur ces circuits: satellites, internet... Malgré la complexité des applications, la conception de ces circuits repose sur des notions simples.

Le but de cet enseignement est de découvrir les différentes technologies et les méthodes de conception. La conception d'un système ne s'apprenant pas en cours, l'accent est mis sur la pratique au travers d'un projet. Des intervenants du monde industriels partageront leur expérience.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Dans un premier temps, nous présentons la technologie des circuits intégrés ainsi que les principales fonctions.

- technologie des circuits intégrés;
- fonctions d'électronique numérique;
- architectures des circuits numériques: micro-processeur, FPGA, ASIC, mémoire.

Nous présentons ensuite les règles de conception, déduites de la technologie. La technologie atteint les limites de la physique. Les

gains de performances, par exemple en fréquence de fonctionnement sont limités. Nous montrons comment l'association de ces architectures hétérogènes au sein d'un même circuit intégré permet une rupture de performances.

- règles de conception;
- systèmes sur puce.

En parallèle des notions précédentes, nous apprenons à utiliser les outils et langages associés.

- flot de conception;
- langages de conception: VHDL, C.

Ces notions et compétences s'apprennent mieux par la pratique. Un projet, tout au long de ce module, permet donc une mise en application directe sur une carte électronique.

### ÉVALUATION

Rapport de projet et examen écrit.

### BIBLIOGRAPHIE

«VHDL: A logic synthesis approach», David Naylor and Simon Jones.  
"Engineering the complex SOC", Chris Rowen.

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## INGÉNIERIE QUANTIQUE : CALCULATEURS QUANTIQUES, TÉLÉPORTATION ET MOLÉCULES-MACHINES

Responsable: Sébastien MASSENOT

L'ingénierie quantique est un domaine de recherche récent promis à un grand avenir, notamment dans le domaine du traitement de l'information. Cette discipline permet de s'intéresser à la réalisation de fonctionnalités diverses, (portes logiques, calculateurs, moteurs par exemple) à l'aide des propriétés quantiques de nano-objets individuels. Les applications phares de cette discipline concernent le traitement quantique de l'information avec la possibilité de développement de calculateurs ultra-rapides, la téléportation ou encore la cryptographie quantique.

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les thèmes suivants seront abordés au cours de ce module :

- frontière physique quantique / physique classique
- ingénierie quantique : moteurs moléculaires
- mécanique à l'échelle nanométrique
- calculateurs quantiques

➤ transferts d'information au niveau quantique: téléportation et cryptographie quantique

La compétence principale visée par ce module sera l'utilisation des propriétés du monde quantique pour la réalisation de fonctionnalités mécaniques, électroniques ou de traitement de l'information à l'échelle nanométrique.

### ÉVALUATION

Test écrit

### BIBLIOGRAPHIE

- M. LeBellac, Introduction à l'information quantique, Belin, 2005
- Molecule concept-nanocars: chassis, wheels and motors? ,C. Joachim, G. Rapenne, ACS Nano, 2013, 7, 11-14.
- E.G. Riefel, W.H. Polak, Quantum computing, a gentle introduction, MIT Press, 2014

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

## COMMUNICATIONS OPTIQUES SPATIALES

Responsable : Angélique RISSONS

Les technologies photoniques sont reconnues comme solution de choix pour satisfaire la montée en débit des télécommunications. La spatialisation de ces technologies n'est certes qu'au stade préliminaire mais sera largement implémentée dans les satellites en cours de conception. Quel est l'intérêt de ces technologies et dans quels systèmes sont-elles implémentées ?

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Ce module d'ouverture propose une initiation à la conception de systèmes de communication optique et à la manipulation de composants photoniques/optoélectronique en vue d'une implémentation spatiale. Après un apport des bases théoriques sur la photonique et les contraintes de spatialisation de cette technologie, des expérimentations sur les composants seront réalisées. Les applications seront présentées par des industriels du secteur et par des démonstrations d'un système de liaison laser satellite sol.

### PROGRAMME

- introduction aux technologies photoniques et leurs applications (2 C);
- qualification des composants et systèmes photoniques pour le spatial (2 C);
- communication laser en espace libre : liens satellite-satellite, liens satellite-sol (2 C);
- liaison par fibre optique à bord de satellite (2 C);
- 4 séances de Travaux pratiques et CAO portant sur le dimensionnement et la conception des systèmes de communication optique :

- initiation à l'utilisation des moyens de métrologie optiques et hyperfréquence ;
- caractérisation en signal et en bruit de chaque composant (laser, photodétecteurs, amplificateurs à fibre dopée Erbium, modulateurs, ...);
- métrologie du gain et du bruit d'une chaîne de communication ;
- application à un système : cubesat, lien laser espace libre pour communication satellite-sol ;
- démonstration ;
  - application à un système : cubesat, lien laser espace libre pour communication satellite-sol ;

### ÉVALUATIONS

- l'évaluation se fera sous forme de compte rendu de travaux pratiques.

### BIBLIOGRAPHIE

- L. Coldren, "Diode lasers and Photonic Integrated Circuits"
- B. Roy et al. , "Optical Feeder Links for High Throughput Satellites", ICSOS 2015
- S. Poulencard, S. Crosnier, A. Rissons, « Ground Segment Design for Broadband Geostationary Satellite With Optical Feeder Link », IEEE Journal Opt. Com. Net. , vol.7, No4 April 2015
- A. Majumdar, J. Ricklin, "Free Space Laser Communications", Springer, 2008, [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Telecommunications\\_Integrated\\_Applications/EDRS/First\\_SpaceDataHighway\\_laser\\_relay\\_in\\_orbit](http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/EDRS/First_SpaceDataHighway_laser_relay_in_orbit)

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme 2021-2022

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

## PLANÉTOLOGIE/TÉLESCOPES ET SURVEILLANCE DE L'ESPACE/PHYSIQUE STELLAIRE

Responsable: David MIMOUN

### OBJECTIFS GLOBAUX – COMPÉTENCES

#### Télescopes et surveillance de l'espace :

- l'atmosphère terrestre et l'espace ;
- télescopes et formation des images, récepteurs du rayonnement ;
- applications en astrophysique et à la surveillance de l'espace ;
- observations radar : propriétés générales, techniques des technologies de réception, radiotélescopes ;
- TP Radioastronomie.

#### Planétologie et technol. des sondes spatiales

- partie 1: Introduction à la planétologie comparée

La 1<sup>re</sup> partie du cours sera consacrée à la revue des connaissances de base sur le système solaire et par les bases de la planétologie comparée. Les grandes questions du moment (structure interne, exobiologie) seront abordées.

- le système solaire vu par les sondes spatiales ;
- les différents types de corps planétaires ;

- les planètes et leurs évolutions comparées.

➤ partie 2: Techniques et technologies des sondes spatiales  
Cette 2<sup>e</sup> partie déclinera les études en planétologie en se focalisant sur des combinaisons objets / Missions / Instruments. Les intervenants décriront ainsi un objet du système solaire, une thématique scientifique, une mission, un instrument et les résultats scientifiques obtenus. Ces cours aborderont :

- les techniques principales de l'instrumentation spatiale (en dehors de l'optique) ;
- les contraintes techniques spécifiques des sondes spatiales et lander planétaires et les solutions techniques associées ;
- les méthodes de sélection des charges utiles scientifiques.

#### Physique stellaire :

Formation des étoiles et des systèmes planétaires

### ÉVALUATIONS

Commentaires d'articles / Bureaux d'études

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
Semestre 4

## **ÉCONOMIE ET SOCIÉTÉS CONTEMPORAINES**

Responsable : P. ROUSSELOT

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

2<sup>e</sup> année  
Semestre 4

## L'ÉCONOMIE À L'ÉPREUVE DU TEMPS

Responsable : P. ROUSSELOT

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## MONTAGE D'UN PROJET DE CREATION

Responsable: D. NGUYEN

Ce module permet aux étudiants d'appréhender certains outils et méthodologies utilisés par un entrepreneur en stade amont de création d'entreprise. Il ne s'agit pas de gestion ou de connaissance du fonctionnement d'une entreprise mais bien de comprendre la démarche de l'idée à la création et de maîtriser les principaux concepts utilisés dans cet environnement.

Il est destiné aux étudiants intéressés par la création d'entreprise et plus généralement la conception d'une offre innovante dans un contexte incertain.

Il est fortement recommandé aux étudiants 2A souhaitant effectuer un PIR entrepreneuriat à la place d'un PIR recherche.

Le module est orienté start-up technologique mais les concepts peuvent être utilisés pour tout type de création d'entreprise.

Les interventions sont assurées par des experts ou consultants immergés professionnellement dans l'écosystème start-up.

Les thématiques couvertes sont abordées dans une optique création d'entreprise :

- Le mode de pensée d'un entrepreneur
- Le business model
- Marketing
- Le business plan
- Lean start-up
- Financer le démarrage d'une entreprise
- Les dispositifs d'accompagnement

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Apprendre et expérimenter une posture d'entrepreneur  
Appréhender des notions de base en marketing et finance  
Connaitre les approches actuelles de création d'entreprise

### ÉVALUATION

Etude de cas

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## MÉTIER DU CONSEIL : MÉTHODOLOGIE, MÉTHODE AGILE

Responsable : P. ROUSSELOT

Ce module a été élaboré et sera animé par Mews Partners qui est un cabinet de conseil en management indépendant de 140 consultants. L'activité du cabinet est la conduite de projets de stratégie opérationnelle avec eos clients de l'industrie, de la distribution et des services. Son approche combine expertise sectorielle, valeurs humaines et méthodes innovantes. « Le pragmatisme et l'excellence nous caractérisent ». Depuis 25 ans, l'esprit Mews Partners c'est « avancer ensemble » avec nos consultants et nos clients. Portés par une forte croissance, le cabinet a actuellement trois bureaux : Paris, Toulouse et Munich. L'ouverture de nouvelles filiales à l'international est au cœur de sa stratégie de développement.

**OBJECTIFS** Ce module a pour but de faire découvrir, au travers de l'expérience de vrais consultants, la logique et les méthodologies des métiers du conseil. Au-delà de l'aspect méthodologique, il s'agit de faire comprendre aux élèves ce qu'est le conseil et la vie de consultant.

### BIBLIOGRAPHIE

<https://www.mews-partners.com/expertises>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9\\_de\\_conseil](https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_de_conseil)

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
Semestre 4

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## ECONOMIE CIRCULAIRE

Responsable : P.-M. GUNIEHEUC

### OBJECTIFS GLOBAUX CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES

Les objectifs de ce cours sont les suivants :

- ➔ Acquérir une vision holistique des solutions de réduction des impacts environnementaux des 3 domaines de l'économie circulaire,
- ➔ Découvrir les méthodes et outils de réduction d'impacts des 7 piliers.

#### Economie circulaire

L'économie circulaire désigne un modèle économique dont l'objectif est de produire des biens et des services de manière durable, en limitant la consommation et les gaspillages de ressources (matières premières, eau, énergie) ainsi que la production des déchets. Il s'agit de rompre avec le modèle de l'économie linéaire (extraire, fabriquer, consommer, jeter) pour un modèle économique « circulaire ». C'est en ce sens que le gouvernement s'est engagé avec la Feuille de route économie circulaire.

Ce cours a pour objectif de donner une vision globale des impacts environnementaux tant sur la perspective du cycle de vie des produits et services que sur une perspective territoriale.

Les interventions permettront de découvrir les concepts théoriques associés, mais aussi et surtout les méthodes et les outils permettant de mettre en œuvre l'économie circulaire et permettre la transition énergétique et environnementale

#### Compétences attendues

À l'issue du module, l'étudiant sera capable de prendre le recul nécessaire sur les conséquences de choix de conceptions sur l'ensemble des étapes du cycle de vie d'un produit, et sur les acteurs qui peuvent être impliqués sur les territoires.

Les étudiants seront également en capacité de choisir et prioriser les outils et les méthodes les plus pertinents à mettre en œuvre selon les enjeux visés et les moyens disponibles.

#### Contenu

Le module s'articulera autour de 5 axes :

- ➔ Eco-conception
- ➔ Ecologie industrielle et territoriale
- ➔ Economie de la fonctionnalité, modification des comportements des consommateurs, obsolescence programmée...
- ➔ Achats Responsable et approvisionnement durable
- ➔ Fin de vie des produits
- ➔ Mondialisation;
- ➔ la mondialisation des échanges commerciaux;
- ➔ les firmes multinationales et l'organisation mondiale de la production;
- ➔ la globalisation financière: efficience où instabilité économique?

#### ÉVALUATIONS

Contrôle des connaissances par un QCM

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## MANAGEMENT DE LA DIVERSITÉ

Responsable : Anne O'MAHONEY

Dans ce module seront abordées les différentes formes de diversité que l'on peut rencontrer dans le cadre professionnel.

Qu'elle soit sociale, culturelle ou générique cette diversité sera étudiée à travers des retours d'expériences d'industriels, des mises en

situation et des formats pédagogiques innovants afin de faire émerger des pistes de réflexion pour une meilleure gestion de groupes hétérogènes.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39

Ingénieur ISAE-SUPAERO  
Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**  
**Semestre 4**

<b>TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>TRONC COMMUN HUMANITÉS</b> .....	<b>14</b>
<b>TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE</b> .....	<b>24</b>
<b>STAGE DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>MODULES ÉLECTIFS</b> .....	<b>39</b>

## INNOVER DURABLEMENT PAR LE DESIGN THINKING

Responsable : D. NGUYEN / Vincent CHAPIN

Ce module de 4 j proposé pendant la semaine de mobilité permet aux étudiants de pratiquer la méthodologie d'innovation appelée Design Thinking par la pratique, à partir de cas proposées par des entreprises.

Il est destiné aux étudiants ouverts à des carrières évolutives ayant pour point commun la capacité d'innovation.

Le Design Thinking est une méthodologie qui a germé à la d-School de Stanford: un processus d'innovation centré utilisateur, et axé sur l'observation. Les points clés sont la recherche des besoins, le prototypage rapide et l'itération permanente en vue de l'amélioration d'une situation d'usage.

Cette méthodologie est aujourd'hui largement répandue.

Si l'on peut définir le Design Industriel comme « le domaine de la création de concepts et de spécifications destinés à optimiser la fonction, la valeur et l'apparence d'un produit pour le plus grand bénéfice de l'utilisateur et du producteur », la notion de Design Thinking est plus large et intéresse de multiples champs d'application: du produit au service, du marketing au modèle économique, de la stratégie à la création de marque, de la prospective futuriste à l'émergence de nouveaux usages pour aujourd'hui...

Le Design Thinking est un processus de réflexion, d'action, et de résolution de problèmes, en vue de l'amélioration d'une situation d'usage.

Le Design Thinking repose sur une méthode d'innovation centrée sur l'utilisateur (« human centric design ») et qui comporte plusieurs phases: compréhension, observation, réappropriation, créativité, prototypage, test, implémentation.

Les idées-fortes structurant ce processus sont: le travail en groupes pluridisciplinaires, l'itération et la remise en question continues, et la démonstration par la preuve (prototypage et visualisation).

Le Design Thinking intègre de façon conjointe les problématiques touchant aux utilisateurs (ce qui est désirable), à la technologie (ce qui est réalisable), et à l'économique (ce qui est viable).

### OBJECTIFS

Apprendre à conduire un projet d'innovation grâce au Design Thinking  
Imaginer des services/produits innovants de manière simple et opérationnelle

Expérimenter les étapes clés de la méthode de Design Thinking avec un projet d'innovation

Ingénieur ISAE-SUPAERO
   
 Programme **2021-2022**

**2<sup>e</sup> année**
  
**Semestre 4**

## SEMAINE MOBILITÉ

La création du groupe ISAE en 2011 se traduit par la réalisation de projets variés, tant en recherche qu'en formation. Parmi les actions de formation, une semaine de mobilité est proposée aux étudiants de deuxième année des formations SUPAERO, ISAE-ENSMA, ESTACA et École de l'air.

Cette semaine conduit les étudiants des autres écoles à venir suivre un des modules d'enseignement électif mis en place au sein du cursus SUPAERO.

Les étudiants SUPAERO, pour leur part, peuvent suivre sur le campus des écoles partenaires des cours sur différentes thématiques.

Cette semaine de mobilité répond à un double objectif :

- ➔ accroître l'offre de formation proposée aux étudiants des écoles ;
- ➔ favoriser les échanges entre les étudiants.

Les étudiants ont aussi la possibilité de participer à un séminaire espace organisé autour de conférences et de tables rondes.

TRONC COMMUN SCIENTIFIQUE.....	4
TRONC COMMUN HUMANITÉS.....	14
TRONC COMMUN INGÉNIERIE ET ENTREPRISE.....	24
STAGE DE RECHERCHE.....	37
MODULES ÉLECTIFS.....	39



ISAE  
SIPAERO



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

☎ **33 (0)5 61 33 80 80**

**www.isae-sup aero.fr**

-  ISAE Supaero
-  @ISAE\_officiel
-  @isae-sup aero
-  ISAEcom
-  ISAE-SUPAERO