

# Ingénieur

## INDUSTRIALISATION ET MÉTHODES POUR L'AÉRONAUTIQUE ET L'ESPACE

### Programme



# SOMMAIRE

SOMMAIRE	2	<b>UE SCIENCES DE L'ENTREPRISE</b>	<b>37</b>
UNITÉS D'ENSEIGNEMENT	3	Stratégie d'entreprise	38
PROGRAMME	4	Développement durable et RSE	39
<b>UE SCIENCES DE L'INFORMATION, MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE</b>	<b>5</b>	Propriété industrielle et innovation	40
Mathématiques appliquées	6	Droit des contrats et des affaires	41
Mécanique des solides et systèmes mécaniques	7	Gestion financière et comptable	42
Mécanique des fluides	8	Analyse et calcul des coûts	43
Thermodynamique et transferts thermiques	9	Simulation d'entreprise	44
Informatique	10	<b>UE SCIENCES HUMAINES ET COMMUNICATION</b>	<b>45</b>
Traitement du signal	12	Communication : écrite, orale	46
Automatique	13	Anglais	47
<b>UE TECHNOLOGIQUES</b>	<b>14</b>	Management humain	48
Capteurs et chaîne d'acquisition	15	Design thinking	49
Architecture des systèmes numériques	16	<b>UE SYSTEMES ENERGETIQUES ET MATERIAUX AVANÇÉS</b>	<b>50</b>
CAO - FAO	17	Industrialisation des systèmes propulsifs	51
Comportement des matériaux et des structures	18	Intégration aérodynamique	52
Cybersécurité	19	Combustion et performances	53
Télécommunication et réseaux	20	Thermique des systèmes	54
<b>UE AEROSPACE</b>	<b>21</b>	Performances mécaniques des structures & matériaux	55
Mécanique du vol	22	<i>Démarche écoresponsable</i>	
Aérodynamique de l'aile basse vitesse	23	Matériaux pour les transports et l'énergie	56
Aérodynamique et propulsion aérospatiale	24	<i>Approche par fonctionnalités</i>	
Énergie électrique et actionneurs	25	Procédés et innovations :	
Architecture des aéronefs	26	Fabrication additive et applications laser ; électrification des systèmes	
Structure aérospatiale	27	<b>UE PROJETS</b>	<b>58</b>
Architecture des véhicules et systèmes spatiaux	28	Projet de Recherche & Développement	59
<b>UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION</b>	<b>29</b>	Projet Innovation & Conception	60
Gestion de projet	30	<b>UE INTEGRATION EN ENTREPRISE</b>	<b>61</b>
Conception fonctionnelle et ingénierie simultanée	31	Intégration en entreprise 1A	62
Méthodes de fabrication	32	Intégration en entreprise 2A	63
Organisation industrielle	33	Intégration en entreprise 3A	64
Usine du futur : défis et enjeux	34		
Qualité (Lean, Six sigma,...)	35		
Certification et réglementation	36		

## UNITES D'ENSEIGNEMENT

	UE Sciences de l'information, mathématiques et physique
	UE Technologiques
	UE Aerospace
	UE Outils et méthodes de l'industrialisation
	UE Sciences de l'entreprise
	UE Sciences humaines et communication
	UE Systèmes énergétiques et matériaux avancés
	UE Projets
	UE Intégration en entreprise

# PROGRAMME

Unité d'Enseignement	Matière	Vol hor 1A	ECTS 1A	Vol hor 2A	ECTS 2A	Vol hor 3A	ECTS 3A	Total ECTS
<b>UE Sciences de l'information, mathématiques et physique</b>	Mathématiques Appliquées	100	6	0	0	0	0	0
	Mécanique des solides et systèmes mécaniques	80	4	0	0	0	0	0
	Mécanique des fluides	45	3	0	0	0	0	0
	Thermodynamique et transferts thermiques	0	0	50	3	0	0	0
	Informatique	30	2	30	2	0	0	0
	Traitement du signal	25	1	0	0	0	0	0
	Automatique	20	1	25	1	0	0	0
<b>UE technologiques</b>	Capteurs et chaîne d'acquisition	30	2	0	0	0	0	0
	Architecture des systèmes numériques	30	2	0	0	0	0	0
	CAO - FAO	40	2	0	0	0	0	0
	Comportement des matériaux et des structures	30	2	30	2	0	0	0
	Cybersécurité	0	0	20	1	0	0	0
<b>UE Aerospace</b>	Télécommunication et réseaux	0	0	30	2	0	0	0
	Mécanique du vol	30	2	0	0	0	0	0
	Aérodynamique de l'aile basse vitesse	15	1	0	0	0	0	0
	Aérodynamique et propulsion aérospatiale	0	0	50	3	0	0	0
	Energie électrique et actionneurs	0	0	30	2	0	0	0
	Architecture des aéronefs	20	1	0	0	0	0	0
	Structure aérospatiale	0	0	25	2	0	0	0
<b>UE Outils et méthodes de l'industrialisation</b>	Architecture des véhicules et systèmes spatiaux	0	0	20	1	0	0	0
	Gestion de projet	20	1	0	0	0	0	0
	Conception fonctionnelle et ingénierie simultanée	25	2	20	1	0	0	0
	Méthodes de fabrication	40	2	0	0	0	0	0
	Organisation industrielle	30	2	0	0	0	0	0
	Usine du futur : défis et enjeux	0	0	20	1	0	0	0
	Qualité (Lean, Six sigma, ...)	0	0	35	2	0	0	0
<b>UE Sciences de l'entreprise</b>	Certification et réglementation	0	0	0	0	30	2	0
	Stratégie d'entreprise	0	0	20	1	0	0	0
	Développement durable et RSE	15	1	15	1	0	0	0
	Propriété industrielle et innovation	0	0	10	1	0	0	0
	Droit des contrats et des affaires	0	0	0	0	15	1	0
	Gestion financière et comptable	20	1	0	0	0	0	0
	Analyse et calcul des coûts	0	0	15	1	0	0	0
<b>UE Sciences humaines et communication</b>	Simulation d'entreprise	0	0	15	1	0	0	0
	Communication : écrite, orale	10	1	10	1	0	0	0
	Anglais	45	2	40	2	40	2	0
	Management humain	0	0	0	0	20	2	0
<b>UE Systèmes énergétiques et matériaux avancés</b>	Design thinking	0	0	0	0	15	1	0
	Industrialisation des systèmes propulsifs	0	0	0	0	20	1	0
	Intégration aérodynamique	0	0	0	0	40	2,5	0
	Combustion et performances	0	0	0	0	40	2,5	0
	Thermique des systèmes	0	0	0	0	40	2,5	0
	Performances mécaniques des structures & matériaux	0	0	0	0	60	3,5	0
	Matériaux pour le transport et l'énergie	0	0	0	0	60	3,5	0
<b>UE Projets</b>	Procédés et innovations	0	0	0	0	30	1,5	0
	Projet Recherche & développement	0	0	90	5	0	0	0
	Projet innovation & conception	0	0	0	0	90	5	0
<b>Volume horaire académique et ECTS associés</b>		<b>700</b>	<b>41</b>	<b>600</b>	<b>36</b>	<b>500</b>	<b>30</b>	<b>107</b>
<b>Nombre de semaine en entreprise et ECTS associés</b>		<b>29</b>	<b>19</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>74</b>



# UE SCIENCES DE L'INFORMATION, MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

Mathématiques appliquées  
Mécanique des solides et systèmes mécaniques  
Mécanique des fluides  
Informatique  
Automatique  
Traitement du signal  
Thermodynamique et transferts thermiques

Total ECTS : 23

**Apprenti ISAE-ENSMA**  
**Programme**

**1<sup>re</sup> année**

# UE SCIENCES DE L'INFORMATION, MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

**6**  
**ECTS**  
**100h**

## MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Responsables : J. VIDAL (Cnam), H. EI YAMANI (ENSMA)

**Objectifs du module :**

- approfondir et utiliser les notions déjà connues dans le contexte des sciences de l'ingénieur (espaces vectoriels, algèbre linéaire, probabilités, etc.),
- développer et améliorer la compétence à modéliser et simuler des phénomènes issus des sciences de l'ingénieur (automatique, signal, physique, etc.),
- comprendre et utiliser les outils développés pour les missions de développement et de production (simulation, sûreté de fonctionnement, etc.).

**Compétences visées :**

- identifier et reconnaître les outils mathématiques à mettre en œuvre face à une problématique,
- comparer et décrire les méthodes utilisées lors de la mise en œuvre pratique,
- illustrer et commenter ces méthodes sur des exemples simples.

**Prérequis:**

*Définitions et de notions :*

- analyse (limites, continuité, dérivabilité, intégrales et primitives, intégration par parties, fonctions classiques : polynômes, exponentielle, logarithme, trigonométriques)
- espaces vectoriels en dimension 2 ou 3 (produit scalaire, norme, convergence)
- Algèbre linéaire élémentaire (matrices carrées, inversibilité, déterminant, trace, transposée, symétrie, positivité)
- équations différentielles ordinaires (linéaires en 1D, existence et unicité par variation de la constante)
- probabilités (discrètes, dénombrement, espérance, probabilité conditionnelle, Bayes, loi uniforme, loi binomiale)
- nombres complexes (écritures cartésienne et polaire, module, argument, lien avec la trigonométrie).

**Contenus :**

- I : Optimisation (12h)** : Moindres carrés - Fonctions de plusieurs variables - Descente du gradient (sans contrainte)
- II : Analyse fonctionnelle (6h)** : Théorèmes d'intégration - Espace  $L^1$ ,  $L^2$  et  $L^\infty$  - Définition d'un espace de Hilbert réel
- III : Analyse Harmonique (12h)** : Transformée de Fourier Discrete - Série de Fourier - Transformée de Laplace
- IV : Équations aux Dérivées Partielles (15h)** : Théorie elliptique - Théorie parabolique - Théorie hyperbolique
- V : Méthodes numériques et simulations (25h)** : Différences finies - Éléments finis - Volumes finis
- VI : Probabilités (12h)** : Variable aléatoire réelle - Théorème limite - Vecteur aléatoire
- VII : Statistique (18h)** : Régression - Estimation paramétrique - Tests d'hypothèse

**Modalités pédagogiques :**

Cours, TD, études de cas.

## **MÉCANIQUE DES SOLIDES ET SYSTEMES MÉCANIQUES**

Responsables : C. NADOT-MARTIN, Y. NADOT, L. SIGNOR (ENSMA)

**Apprenti ISAE-ENSMA**

**Programme**

**1<sup>re</sup> année**

### **Objectifs du module :**

**Système de solides rigides** : comprendre les efforts aux liaisons et écrire les équations de la dynamique pour un système de plusieurs solides rigides et en étudier la stabilité.

**Solides déformables** : connaître les différentes classes de matériaux et comprendre les déformations et les contraintes dans un solide déformable.

### **Compétences visées :**

- comprendre et écrire les équations de la dynamique des systèmes de solides rigides
- comprendre et résoudre un problème de structure pour un matériau donné

### **Prérequis:**

Calcul vectoriel, calcul matriciel, drive.

### **Contenus :**

#### **Partie 1 Mécanique générale (50h) :**

- Lecture de plans et analyse de mécanismes
- Théorèmes généraux pour un problème de mécanique d'un système de solides rigides
- Efforts de liaison,
- Equations du mouvement (PFD, Lagrange)
- Stabilité d'une position d'équilibre

#### **Partie 2 Mécanique du solide déformable (30h) :**

- Matériaux
- Description des déformations (locales et globales)
- Description des efforts intérieurs - contraintes
- Notion de comportement - loi thermoélastique linéaire
- Formulation et résolution d'un problème de structure (efforts extérieurs – conditions aux limites)

### **Modalités pédagogiques :**

Cours, TD, études de cas.

## MÉCANIQUE DES FLUIDES

Responsable : J. BOREE (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 1<sup>re</sup> année

##### Objectifs du module :

Cet enseignement expose les concepts fondamentaux de mécanique des fluides et les illustre sur des problèmes d'aérodynamique. Il fournit les bases pour comprendre et analyser les écoulements incompressibles, visqueux, stationnaires ou non. Les méthodes d'analyses sont mises en œuvre dans des configurations d'écoulement en conduite ou autour d'obstacles de géométrie simplifiée. La physique et la modélisation des écoulements à grand nombre de Reynolds, typiques des applications aéronautiques sont détaillées. Les notions de couche limite, turbulence, décollement et dynamique tourbillonnaire sont ainsi introduites. Les efforts aérodynamiques se développant sur un corps en mouvement dans un fluide sont détaillés avec notamment les différentes sources de traînée.

##### Compétences visées :

- classifier les écoulements
- citer les modèles classiques de mécanique des fluides et leurs limites de validité,
- savoir évaluer ces limites dans des cas pratiques,
- utiliser la terminologie, les paramètres et les outils d'analyse des écoulements,
- définir les coefficients d'efforts aérodynamiques,
- justifier les principes de création des efforts aérodynamiques,
- décrire un écoulement laminaire / turbulent,
- Connaître les enjeux de la modélisation des écoulements turbulents,
- identifier les situations propices au décollement de couche limite,

##### Prérequis:

dérivées partielles, calcul tensoriel

##### Contenus :

- paramètres caractéristiques et propriétés des fluides,
- statique des fluides,
- bilans fondamentaux appliqués aux mouvements de fluides,
- équations de Bernoulli, introduction aux écoulements potentiels,
- équations de Navier-Stokes,
- dissipation mécanique et pertes de charge
- échelles caractéristiques et similitudes en aérodynamique
- notions de dynamique tourbillonnaire
- notions de couche limite, transition, décollement
- aérodynamique turbulente, propriétés physiques et enjeux de la modélisation

##### Modalités pédagogiques :

Cours, TD/mini projets

## **THERMODYNAMIQUE ET TRANSFERTS THERMIQUES**

Responsables: J. SOTTON, V. AYEL (ENSMA)

### **Apprenti ISAE-ENSMA**

#### **Programme**

#### **2<sup>e</sup> année**

##### **Objectifs du module :**

Ce module a pour objectif de poser les bases de la thermodynamique et des transferts thermiques utiles aux applications aéronautiques et spatiales. Les apprentis obtiendront ici les fondamentaux pour comprendre et analyser le fonctionnement des différents types de machines thermiques ainsi que les différents modes de transfert de chaleur.

##### **Compétences visées :**

- analyser les différentes transformations thermodynamiques réelles,
- utiliser les diagrammes thermodynamiques,
- distinguer et comprendre les 3 modes de transfert de chaleur : conduction, convection, rayonnement et résoudre un problème couplé simple.

##### **Prérequis:**

Module "mécanique des fluides "

##### **Contenus :**

###### **Thermodynamique (25H)**

- premier et second principe de la thermodynamique
- transformations thermodynamiques et grandeurs totales
- diagrammes et cycles thermodynamiques

###### **Transfert Thermique (25H)**

- transferts de chaleur par conduction (équation de la chaleur, problèmes stationnaires 1D, application des ailettes, problèmes transitoires),
- transferts de chaleur par convection (équations générales, convection forcée en écoulement externe & interne, convection naturelle),
- transferts de chaleur par rayonnement (grandes fondamentales, corps noir, facteurs de formes, transferts entre surfaces noires et entre surfaces réelles),
- problème couplé multi-modes (conduction/ convection/ rayonnement).

##### **Modalités pédagogiques :**

Cours / TD/ BE

**Apprenti ISAE-ENSMA**  
**Programme**

**1<sup>re</sup> année**

## **INFORMATIQUE**

Responsable : M. DJOUDI (CNAM)

**Objectifs du module :**

- décomposer un problème complexe en éléments simples afin de produire un algorithme de résolution efficace,
- produire un programme informatique respectant les bonnes pratiques d'écriture (lisibilité, réutilisation, modularité, ...)

**Compétences visées :**

- maîtriser les règles élémentaires de conception logicielle et acquérir la capacité d'écrire dans un langage de programmation,
- savoir lire et expliquer un programme simple,
- savoir sélectionner les algorithmes pertinents par rapport à un problème donné,
- savoir sélectionner et utiliser des bibliothèques programmatiques,

**Prérequis:**

aucun

**Contenus :**

- introduction à la programmation informatique via le langage python,
- réalisation de quatre projets traitant de
  - 1) analyse de données textuelles
  - 2) programmation 3D
  - 3) gestion et représentation de données
  - 4) programmation de systèmes embarqués.

**Modalités pédagogiques :**

Cours, TD et TP sur machine

## **INFORMATIQUE**

Responsable : E. GROLLEAU (ENSMA)

**Apprenti ISAE-ENSMA**

**Programme**

**2<sup>e</sup> année**

**Objectifs du module :**

Maîtriser la complexité de systèmes non nécessairement à logiciel prépondérant :  
1. acquérir un langage en partage, SysML ; norme internationale, supportée par des outils industriels,  
2. mener une analyse des fonctions et services à offrir par des systèmes complexes,  
3. concevoir et valider une architecture de systèmes complexes.

**Contenus :**

- 1) Introduction au MBSE
- 2) MBSE pour les systèmes embarqués
- 3) SysML (langage, outils, méthodes)
- 4) Prise en main d'un outil SysML
- 5) Etudes de cas et projet

**Modalités pédagogiques :**

Cours, BE, TP et projets

**Compétences visées :**

- développer des modèles SysML de taille moyenne et acquérir la capacité de lire des modèles de grande taille,
- mener une analyse guidée par les cas d'utilisation,
- dériver une ou plusieurs architectures d'une même analyse et évaluer les pour et contre de chacune de ces conceptions,
- ne pas limiter l'usage de SysML à du dessin industriel mais utiliser des outils de simulation et vérification formelle de modèles SysML.

**Prérequis:**

Bases en ingénierie système et en traitement des exigences.

# UE SCIENCES DE L'INFORMATION, MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

**1**  
**ECTS**  
**25h**

## TRAITEMENT DU SIGNAL

Responsable : J. VIDAL (CNAM)

### Objectifs du module :

Acquérir les bases du traitement du signal pour l'analyse et la mise en application sur des signaux électromagnétiques, électroniques ou optiques.

### Compétences visées :

- connaissance d'outils mathématiques de base du traitement du signal,
- savoir reconnaître les signaux réels,
- savoir appliquer les outils de traitement du signal en adéquation.

### Prérequis:

connaissances sur la thématique acquise en DUT GMP, DUT Mesure Physique, DUT GEII

### Contenus :

#### 1) Traitement du signal déterministe (cours 8h, PC 4h)

- Séries de Fourier à coefficients réels (spectre discret à fréquence positives)
- nombres complexes, formule de Moivre/Euler
- séries de Fourier à coefficients complexes (spectre discret à symétrie hermitienne)
- généralisation à la TF continue (spectre continu à symétrie hermitienne)
- filtrage linéaire invariant (fonction de transfert, réponse impulsionnelle, convolution continue)
- CAN (modèle simple) et théorème de Shannon (repliement spectral, signal à bande limitée)
- TFD et FFT (propriétés "basiques", utilisation d'une fenêtre de pondération, filtrage, convolution numérique)

Optionnel : introduction DSE, DSP, fonction de corrélation en PC

#### 2) Traitement du signal aléatoire (cours 2h, PC 2h)

- signaux stationnaire au 2nd ordre
- filtrage des Signaux stationnaire au 2nd ordre

### Modalités pédagogiques :

# UE SCIENCES DE L'INFORMATION, MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

1+1  
ECTS  
20h + 25h

## AUTOMATIQUE

Responsable : H. BAUER (ENSMA)

Apprenti ISAE-ENSMA

Programme

1<sup>re</sup> & 2<sup>e</sup> année

### Objectifs du module :

Le cours de représentation, d'analyse et commande des systèmes linéaires continus aborde d'une part les techniques de modélisation des systèmes dynamiques et ensuite les méthodes classiques de réglage des régulateurs. L'objectif est de fournir aux apprentis le bagage minimum pour aborder les problèmes d'asservissement, depuis la modélisation jusqu'à la mise en œuvre, en passant par les étapes de conception et de simulation.

La première étape de cours et travaux dirigés en classe est complétée par une étude de cas approfondie, qui permet de concrétiser les notions théoriques abordées et également d'aborder des notions importantes de la commande des systèmes, telles que la robustesse et l'implantation numérique.

### Compétences visées :

- comprendre la mise en œuvre des outils de base de la modélisation et de l'analyse des systèmes dynamiques,
- comprendre la mise en œuvre des outils de base de la synthèse de lois de commande,
- analyser la robustesse d'un système,
- comprendre la mise en œuvre numérique des lois de commande,
- analyser les performances d'un système de régulation complexe.

### Prérequis:

analyse de Fourier, transformée de Laplace

### Contenus :

#### *Sur la première année :*

Introduction et généralités. Classification. Représentation des systèmes LTI. Etat et transfert. Schéma fonctionnel Analyse temporelle et fréquentielle des systèmes. Systèmes d'ordre 1 et 2. Boucle fermée et réglage empirique via un simple gain de retour.

#### *Sur la deuxième année :*

Critères de stabilité. Marges de stabilité. Précision des systèmes asservis. Effet intégral. Correcteurs fréquentiels. Avance, retard, PI, PD, PID. Commande modale.

### Modalités pédagogiques :

cours, TD et mise en œuvre en simulation et expérimentalement



# UE TECHNOLOGIQUES

**Capteurs et chaîne d'acquisition  
CAO - FAO**  
**Comportement des matériaux et des structures**  
**Architecture des systèmes numériques**  
**Cybersécurité**  
**Télécommunication et réseaux**

Total ECTS : 13

## UE TECHNOLOGIQUES

**2**  
**ECTS**  
**30h**

### CAPTEURS ET CHAINE D'ACQUISITION

Responsable : O GROSPEAUD (CNAM)

#### Objectifs du module :

Cet enseignement vise à donner aux apprentis les compétences de base leur permettant de comprendre, d'analyser, de concevoir les systèmes d'acquisition et de mesure des principales grandeurs physiques des systèmes embarqués aérospatiaux ainsi que de simuler, de réaliser et de produire les fonctions électroniques d'acquisition et de traitement du signal utilisés dans ces systèmes. Il aborde en particulier, à travers des exemples, les principes de mesure des principales grandeurs physiques ainsi que les briques de base de l'électronique pour l'amplification et le conditionnement des signaux des capteurs correspondants, la prise en compte du bruit dans les circuits électroniques de traitement, la conversion analogique-numérique.

#### Compétences visées :

- sélectionner les capteurs à utiliser pour la mesure des principales grandeurs physiques,
- définir le conditionnement et l'interfaçage des principaux types de capteurs,
- contenir le bruit et optimiser le rapport signal à bruit de la mesure,
- concevoir, réaliser, mettre en œuvre et exploiter des chaînes d'acquisitions,
- garantir l'intégrité des signaux mesurés.

#### Prérequis:

électricité de base - électrostatique - électrocinétique et lois des circuits - grandeurs physiques de base

#### Contenus :

- introduction aux fonctions électroniques pour les chaînes d'acquisition et de mesures des grandeurs physiques,
- les principes de mesures des principaux capteurs modernes,
- amplification et conditionnement des signaux issus de capteurs – non-idéalités – correction,
- signaux et bruit dans les fonctions électroniques de mesure et traitement- méthodes de réduction du bruit,
- mise en œuvre de la quantification,
- techniques d'interfacage,
- synthèse et génération de fréquence pour les chaînes d'acquisition.

#### Modalités pédagogiques :

# ARCHITECTURE DES SYSTEMES NUMÉRIQUES

Responsable : F. RIDOUARD (ENSMA)

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 1<sup>re</sup> année

#### Objectifs du module :

Développer les compétences de base en électronique numérique permettant de comprendre, d'analyser et de sélectionner une architecture de système numérique (comme un calculateur). Comprendre les avantages, inconvénients et limitations des diverses architectures matérielles.

#### Compétences visées :

- savoir représenter l'information sous forme binaire,
- savoir concevoir un circuit logique combinatoire simple,
- savoir concevoir un circuit logique séquentiel simple,
- savoir reconnaître les principales fonctions qui composent les systèmes numériques et comprendre leur principe de fonctionnement,
- connaître les grandes familles d'architecture matérielle,
- être capable de sélectionner une architecture matérielle pour un besoin spécifique.

#### Prérequis:

aucun

#### Contenus :

- codage binaire de l'information,
- portes logiques et fonctions logiques combinatoires (tables de vérité, équations logiques, fonctions remarquables (décodeur d'adresse, multiplexeur...)),
- fonctions logiques séquentielles (synchrone): bascules, mémoires, registres, machines à état fini,
- introduction à l'architecture et au fonctionnement des calculateurs (processeur, architecture Von Neumann vs Harvard, instructions/langage assembleur),
- introduction aux architectures matérielles programmable (FPGA vs microcontrôleurs) : introduction au VHDL, programmation de microcontrôleurs (initiation), programmation de registres, notions d'entrées/sorties, principe d'interruption...
- vue d'ensemble, avantages et inconvénients, des diverses architectures matérielles (CPU, FPGA, microcontrôleur, DSP, ASIC...).

#### Modalités pédagogiques :

Cours, TD/TP

## CAO - FAO

Responsables : J.C. RONCIN, O. SER (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 1<sup>re</sup> année

##### Objectifs du module :

L'objectif de cet enseignement est de donner aux élèves la capacité d'utiliser pleinement les outils de conception, d'analyse et de simulation de la fabrication offerts par la CFAO en lien à la fois avec la fabrication et les méthodes de dimensionnement. Mais le but n'est pas la simple utilisation d'un système de CFAO certes industriel, mais bien l'intégration d'une autre façon de concevoir grâce aux nouvelles technologies telles que la fabrication additive et les outils de simulation de la fabrication de manière générale.

##### Compétences visées :

- connaître les principes de construction mécanique
- connaître les outils de fabrication assistée par ordinateur
- connaître les méthodes et outils pour la conception en Ingénierie Simultanée
- connaître les règles de conception en lien avec la fabrication

##### Prérequis :

éléments et composants de machines, mécanique du solide, matériaux et structures

##### Contenus :

- conception 3D à travers différents types de modélisation : filaire, surfacique, volumique et solide
- introduction à la fabrication assistée par ordinateur
- présentation des modes et des procédés de fabrication et des outils de simulations associés, en lien avec le parc machine
- généralités sur la chaîne CAO-FAO-FA-IGS ou comment passer le plus vite possible et avec une qualité optimum de la conception au produit fini
- introduction aux concepts inhérents à la maquette numérique dans l'industrie
- projet sur produits types pour une simulation en IGS.

##### Modalités pédagogiques :

TP

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 1<sup>re</sup> & 2<sup>e</sup> année

## UE TECHNOLOGIQUES

**2+2**  
ECTS  
30h + 30h

### COMPORTEMENT DES MATERIAUX ET DES STRUCTURES

Responsables : J.C. GRANDIDIER (ENSMA), R. CAILLE (CNAME)

#### Objectifs du module :

- la première partie de cet enseignement vise à initier les élèves ingénieurs à l'étude des comportements de matériaux élastiques faiblement déformés. Il est le préambule à l'apprentissage de la résistance des matériaux et des structures,
  - donner les compétences et les méthodes pour étudier et analyser en statique linéaire et en flambement une structure modélisable par des éléments à grands élancements et/ou à faibles épaisseurs,
  - initier à la méthode des éléments finis, la démarche et les hypothèses de modélisation, la panoplie des EF de base pour le calcul des structures aéronautiques en 1D et 2D, le calcul proprement dit, l'analyse critique et le contrôle de la qualité des résultats en regard des hypothèses utilisées dans une boucle de dimensionnement,
  - les modalités et les contraintes d'utilisation d'un code de calcul industriel pour résoudre divers problèmes de mécanique des structures avec des applications typiques des structures aéronautiques.
- Un projet pratique permet aux élèves de s'approprier la démarche de dimensionnement et d'analyse et l'utilisation du code de calcul,
- initiation à la mécanique non linéaire en prédimensionnement et en analyse numérique.

#### Compétences visées :

- savoir identifier, choisir et modéliser le comportement de matériau afin de mieux appréhender son utilisation dans la structure,
- savoir prédimensionner des structures simples de type "structures élancées" ou "structures minces",
- savoir utiliser et exploiter un code de calculs par éléments finis en analyse linéaire,
- savoir analyser les non linéarités potentielles pour initier des modèles non linéaires en calculs de structures.

#### Prérequis:

Mécanique et Système mécanique des Solides indéformables

#### Contenus :

- définitions et propriétés d'usage des matériaux,
- définitions, analyse et représentations des sollicitations mécaniques,
- déterminations théoriques, numériques et expérimentales des contraintes et des déformations au sein d'un matériau sollicité,
- modélisation des états correspondants,
- relation rhéologique liant contraintes et déformations élastiques,
- principes et procédures de résolution de problèmes d'élasticité : formulations de Beltrami et de Lamé Clapeyron,
- critères de limites élastiques - approche énergétique,
- cas de déformation plane et de contrainte quasi plane,
- approches expérimentales de mesures (extensométrie, imagerie 2D et 3D...),
- déterminer les efforts de liaison,
- calculer les contraintes et utiliser un critère de dimensionnement,
- déterminer la déformée de structures simples,
- caractériser le flambement de poutres et de plaques,
- formulations intégrales de la mécanique : notions de travail et d'énergies,
- méthode des éléments finis : notions de discrétisation et d'approximation, fonctions de forme, exemples,
- définition de la raideur d'une structure : notion de structure travaillante, assemblage, exemples,
- résolution d'un problème complet, forces nodales équivalentes, calcul des déformations et contraintes,
- compléments sur les EF, différents EF en calcul des structures,
- initiation à la formulation en EF non linéaire.

#### Modalités pédagogiques :

## CYBERSÉCURITÉ

Responsable : J-F CASQUET (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 2<sup>e</sup> année

##### Objectifs du module :

introduction à la sécurité informatique et présentation de ses concepts fondamentaux. Fournir aux étudiants à la fois une compréhension des enjeux de la sécurité informatique en entreprise ainsi que des notions de base des principaux protocoles de sécurité usités en milieu professionnel.

##### Compétences visées :

- être capable d'expliquer pourquoi faut-il de la sécurité informatique et comment l'appliquer,
- être capable d'identifier les principales classes d'attaques et contre-mesures,
- comprendre l'organisation de la sécurité dans les milieux professionnels,
- être capable d'identifier des risques.

##### Prérequis:

La sécurité informatique concernant un spectre très large, notions de base en algorithmique, en réseau, en systèmes d'exploitation et en développement.

##### Contenus :

- Présentation générale, exemples commentés d'incidents
- Aspects juridiques, vie privée, RGPD
- Gestion de la sécurité et Normes Iso 27000
- Grandes familles d'insécurité, ingénierie sociale
- Cryptographie
- Attaques réseau et contre-mesures
- Attaques système et contre-mesures

##### Modalités pédagogiques :

Cours et études de cas

## UE TECHNOLOGIQUES

**2  
ECTS  
30h**

### TÉLÉCOMMUNICATION ET RÉSEAUX

Responsable : S. SBOUI (CNAM)

#### Objectifs du module :

Fournir aux apprentis les notions indispensables à la compréhension de l'architecture des réseaux de communications. Un accent particulier est porté sur les réseaux embarqués et leurs spécificités.

#### Compétences visées :

- comprendre les notions fondamentales de l'architecture des réseaux : modèle en couches, services et protocoles, adresses matérielles et logicielles, fonctions assurées par chaque niveau de la pile protocolaire,
- identifier les méthodes de gestion de ressources et les méthodes d'accès. Distinguer les arbitrages déterministes et non déterministes pour l'accès à la couche physique (ex : CSMA-CD vs CSMA-CR),
- avoir une connaissance générale des principes de la pile protocolaire TCP/IP,
- maîtriser les notions liées à la qualité ou différentiation de service, connaître les politiques d'ordonnancement simples (FIFO, Priority Queuing),
- connaître les spécificités des réseaux embarqués et savoir identifier les méthodes et techniques nécessaires aux respects des objectifs de performances,
- être en capacité d'appréhender un document normatif de type RFC, 3GPP, ETSI ou autre.

#### Prérequis:

aucun

#### Contenus :

1. Introduction aux réseaux informatiques (2h cours + 2h TP)
2. La pile protocolaire TCP/IP (4h cours + 2h TP)
3. Application aux réseaux sans fil, méthodes d'accès, services différenciés (6h cours + 4h TP)
4. Réseaux embarqués (10h cours + BE)

#### Modalités pédagogiques :

cours et TP sur machine



# UE AEROSPACE

Aérodynamique et propulsion aérospatiale  
Mécanique et thermodynamique des fluides compressibles  
Mécanique du vol  
Energie électrique et actionneurs  
Structure aérospatiale  
Architecture des aéronefs  
Architecture des véhicules et systèmes spatiaux

Total ECTS : 12

## MÉCANIQUE DU VOL

Responsable : C. SICOT (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 1<sup>re</sup> année

##### Objectifs du module :

Donner à l'étudiant une compréhension suffisante du vol de l'avion pour lui permettre d'interagir efficacement avec les spécialistes et de porter un regard critique en terme de sécurité du vol et de performance de produit sur les choix ou les incidents en matière de production ou d'opération qui impacteraient le vol de l'avion.

##### Compétences visées :

- connaître le vocabulaire de la mécanique du vol pour pouvoir échanger avec les experts du - bureau d'étude ou des essais,
- comprendre le fonctionnement et l'utilisation des instruments de pilotage (altimètre, anémomètres, incidence) et l'incidence de leurs indications sur la sécurité du vol,
- connaître le domaine de vol de l'avion et savoir décrire les phénomènes physiques qui le limitent. Savoir calculer ces limites (décrochage, facteur de charge, plafonds),
- savoir évaluer la poussée nécessaire au vol de l'avion, estimer un distance franchissable ou un taux de monté. Savoir exprimer un avis critique sur l'impact d'une augmentation de traînée ou d'une perte de poussée sur la sécurité du vol,
- connaître l'architecture des organes de pilotage (manuel ou automatique) de l'avion,
- savoir expliquer comment les organes de pilotage permettent le contrôle de la trajectoire et de la vitesse de l'avion,
- savoir expliquer et déterminer dans le cas simple du mouvement longitudinal, ce que sont les modes de l'avion, ce que signifie leur stabilité statique et dynamique, et quels sont les critères (centrages, dimensionnement des empennages) qui la détermine,
- connaître les dangers associés au contrôle du vol et reconnaître ces situations sur des enregistrements,
- savoir concevoir et dimensionner un dispositif simple d'aide au pilotage ou de protection du domaine de vol,
- pouvoir expliquer avec les outils de la mécanique du vol des normes ou exigences réglementaires comme la CS25.

##### Prérequis:

- Mécanique du point : référentiel - repère - système, bilan des forces, principe fondamental de la dynamique, action-réaction, travail et puissance d'une force, énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, énergie totale.
- Mathématiques : trigonométrie, définition des angles dans l'espace, projections, résolution d'équation du 2nd degré, équations différentielles ordinaires d'ordre 2.

##### Contenus :

- l'avion : principaux composants et géométrie, l'atmosphère : atmosphère standard et altimétrie,
- le mécanique du point appliquée à l'avion : angles et repères, énergie et hauteur totale, facteur de charge, équations de portance et propulsion,
- portance et trajectoire : la portance, le décrochage, le domaine de vol, le virage symétrique, la sensibilité aux turbulences atmosphériques,
- bilan propulsif et énergie : trainée, poussée des différents moteurs, 1er et 2nd régimes, distance franchissable,
- mouvement longitudinal, équilibrage longitudinal, stabilité statique et dynamique (oscillation d'incidence, phugoid),
- le latéral : force et moments transversaux, étude de la panne moteur, roulis pur, roulis hollandais, stabilité spirale,
- atterrissage et décollage et limitations associées (VMU, VMCG, VMA ....) et analyse de la rotation.

##### Modalités pédagogiques :

- classes inversées (cours en autonomie sur la base de courtes vidéos et quiz formatifs, suivi de séances de remédiation en présentiel)
- les TD comprennent la résolution d'exercices types et l'analyse d'essais en vol ou de rapports d'accident.
- TP télémétrie (possibilité de retransmission sur internet)

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

#### 1<sup>re</sup> année

## UE AEROSPACE

**1**  
**ECTS**  
**15h**

### AÉRODYNAMIQUE DE L'AILE BASSE VITESSE

Responsable : L. CHATELLIER (ENSMA)

#### Objectifs du module :

Cet enseignement fait suite au module fondamental de mécanique des fluides. Les connaissances sont appliquées à caractérisation des écoulements autour des ailes d'avion et la modélisation de leurs performances en basse vitesse. Les effets de géométries du profil (épaisseur, cambrure, dispositifs hypersustentateurs) et de l'aile (forme en plan) sont exposés. La sensibilité des performances aux paramètres de l'écoulement (nombre de Reynolds, turbulence, rugosité de paroi) est également abordée.

#### Compétences visées :

- fournir les ordres de grandeurs des coefficients aérodynamiques portance/traînée sur une voilure basse vitesse
- analyser les performances d'un profil d'aile basse vitesse en fonction de sa géométrie et du nombre de Reynolds
- expliquer l'origine physique des tourbillons marginaux et de la traînée induite
- expliquer le rôle des dispositifs hypersustentateurs becs et volets présents sur les voilures

#### Prérequis:

module de mécanique des fluides

#### Contenus :

##### Aérodynamique des profils subsoniques

- théorie des profils minces
- effets Reynolds, décrochage
- dispositifs hypersustentateurs

##### Aérodynamique de l'aile d'envergure finie

- traînée induite

#### Modalités pédagogiques :

Cours + TD/TP + BE xfoil

## AÉRODYNAMIQUE ET PROPULSION AÉROSPATIALE

Responsables : G. LEHNASCH, V. JAUNET, M. BELLENOU, E. GONCALVES (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 2<sup>e</sup> année

##### Objectifs du module :

Cet enseignement s'inscrit en continuité du module de mécanique des fluides et d'aérodynamique de première année, avec un caractère plus marqué vers l'analyse des écoulements aéronautiques (écoulement compressible à grand nombre de Reynolds).

Ainsi, les bases de la mécanique des fluides introduites en première année seront étendues aux écoulements compressibles haute vitesse. Ces connaissances fondamentales sont ensuite appliquées à l'analyse de l'aérodynamique de l'avion transsonique et supersonique. Par ailleurs, les architectures propulsives aéronautiques sont abordées à travers l'analyse de leur cycle thermodynamique et de leurs performances.

##### Compétences visées :

- borner les différents régimes d'écoulements (subsonique/subcritique compressible/transsonique/supersonique/hypersonique),
- d'identifier et calculer les régimes de fonctionnement des tuyères convergent/divergent et du jet supersonique de sortie,
- appliquer les méthodes de calcul de chocs et de détente de Prandtl-Meyer sur des géométries simples,
- estimer la performance de portance, traînée et moment d'une aile en fonction de sa géométrie et du nombre de Mach,
- citer les principales composantes de la traînée d'un aéronef,
- analyser les performances d'une architecture propulsive à flux continu,
- en modéliser les composants pour permettre une étude paramétrique de conception.

##### Prérequis:

modules "Mécanique des fluides ", "Aérodynamique de l'aile basse vitesse ", "Thermodynamique et transferts thermiques ".

##### Contenus :

###### Ecoulements haute vitesse

- écoulements compressibles monodimensionnels, écoulements internes à section variable
- détente supersonique
- onde de choc droite et oblique
- tuyère supersonique

###### Aérodynamique de l'avion

- profils et voilures transsoniques, effets de Mach
- voilures supersoniques, aile delta

###### Turbomachine et Propulsion aéronautique et spatiale

- propulseurs aérobies (moteur à piston, turbomachine, turboréacteur)
- propulsion anaérobie (moteur à propergol liquide, solide)

##### Modalités pédagogiques :

Cours + TD/TP + BE

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 2<sup>e</sup> année

## UE AEROSPACE

**2**  
ECTS  
—  
30h

### ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET ACTIONNEURS

Responsable : O GROSPEAUD (CNAME)

#### Objectifs du module :

Cet enseignement vise à développer chez les étudiants les compétences de base leur permettant de comprendre et maîtriser à la fois les principes de l'architecture électrique des véhicules (terrestres ou aériens), du stockage de l'énergie électrique, de la conversion de puissance et de l'actuation électrique.

Il aborde notamment l'analyse et la conception en simulation, mais aussi par une approche pratique, la mise en œuvre des convertisseurs de l'électronique de puissance et des actuateurs électriques.

#### Compétences visées :

- comprendre et maîtriser l'architecture électrique globale des véhicules\*, le stockage et la conversion de l'énergie électrique ainsi que le bilan de puissance électrique local et global,
- sélectionner et simuler les éléments la chaîne de puissance : stockage d'énergie, actionneurs et convertisseurs de puissance,
- être capable de mettre en œuvre des actionneurs et convertisseurs de puissance,
- limiter les perturbations CEM des éléments de la chaîne de puissance.

\*par exemple: automobiles et/ou aéronefs et/ou satellites

#### Prérequis:

électricité de base - puissance et énergie

#### Contenus :

- architecture des réseaux électriques des véhicules\* pour les approches Signal/Control-by-Wire et Power-by-Wire
- stockage d'énergie électrique : les batteries
- les actionneurs électriques pour les véhicules\* modernes, pour la robotique et la mécatronique
- architecture des convertisseurs de puissance AC/DC, DC/DC, DC/AC
- la commande des actionneurs: -exemples
- les perturbations CEM des éléments de la chaîne de puissance - Effets- Minimisation

\*par exemple: automobiles et/ou aéronefs et/ou satellites

#### Modalités pédagogiques :

### ARCHITECTURE DES AÉRONEFS

Responsables : Y. CARTIEAUX, R. BICHARD (DASSAULT AVIATION)

#### Apprenti ISAE-ENSMA Programme

#### 1<sup>re</sup> année

##### Objectifs du module :

Donner aux apprentis une connaissance minimale des différents systèmes composant l'avion, en comprenant leur impact sur la sécurité et l'efficacité du vol et en comprenant leurs interactions. En connaissant l'utilité de chaque (sous-)système, l'apprenti sera ainsi en mesure de contextualiser ses actions et ses décisions et, par exemple, d'apprécier les conséquences d'une non qualité du système de freinage sur la sécurité au décollage et les performances opérationnelles de l'avion.

##### Compétences visées :

- savoir décrire les principaux systèmes de l'avion, leur utilité et leurs interactions,
- être capable d'utiliser une norme comme celle des chapitres ATA pour regrouper des sous-systèmes,
- pouvoir citer les modes d'interactions de l'équipage de conduite avec les différents systèmes au cours d'une mission particulière,
- être capable de déterminer, sur la base du raisonnement, et d'expliquer, les conséquences de la panne d'un système (par exemple perte de pressurisation).

##### Prérequis:

aucun

##### Contenus :

- Introduction historique sur la conception des avions des frères Wright à nos jours
- Présentation de la classification ATA : comment pourquoi
- Présentation des différents systèmes
- La navigation sur les avions modernes : capteurs, FMS, pilote automatique, exigence de précision ...

##### Modalités pédagogiques :

- Cours et conférences sur les systèmes en privilégiant le point de vue de l'utilisateur (le pilote) plutôt que celui de la technologie,
- Etude de cas : comment déterminer les procédures à effectuer suite à un dysfonctionnement grave (par exemple panne hydraulique).

## STRUCTURE AÉROSPATIALE

Responsables : E. LAINE (ENSMA)

Apprenti ISAE-ENSMA

Programme

**2<sup>e</sup> année**

### Objectifs du module :

Présenter les matériaux aéronautiques et spatiaux et leur application dans les structures.  
Faire découvrir les principes constructifs généraux et le rôle joué par les différents éléments des structures aéronautiques face aux critères de résistance, de rigidité, de durabilité et de légèreté.

### Compétences visées :

- Connaître les principes de construction aéronautique
- Savoir prédire qualitativement et quantitativement le transfert de charges dans les structures par des méthodes d'analyse simplifiées (pré-dimensionnement)
- Connaître les règles de conception en lien avec la fabrication des avions
- Connaître l'usage des matériaux dans les structures aéronautiques et spatiales

### Prérequis:

Meca Sol, Matériaux et Structures, Méthode des Eléments Finis

### Contenus :

- Problèmes auxquels sont confrontées les structures aéronautiques : modes de rupture principaux, flambage.
- Introduction aux charges et philosophie de conception
- Principes constructifs des voilures, surfaces portantes
- Principes constructifs des fuselages
- Matériaux à usage aéro et assemblages structuraux.

### Modalités pédagogiques :

Cours, BE et TP sur machine

## ARCHITECTURE DES VÉHICULES ET SYSTÈMES SPATIAUX

Responsables : G. MOURY, R PINEDA, P. PASQUIER (CNES)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 2<sup>e</sup> année

##### Objectifs du module :

- identifier les enjeux et besoins de la conception des véhicules spatiaux (satellites et lanceurs),
- analyser les contraintes environnementales d'une mission spatiale,
- dimensionner les principaux sous-systèmes d'un microsatellite d'observation de la Terre tout en respectant les contraintes environnementales et d'interaction entre les différents sous-systèmes,
- utiliser les outils informatiques de dimensionnement proposés au cours du BE (Simusat, Satorb),
- formuler un rapport complet d'avant-projet d'une mission spatiale.

##### Compétences visées :

- analyser les besoins mission des programmes spatiaux d'observation de la Terre, de navigation ou des télécommunications,
- justifier les choix d'architecture lanceurs et satellites pour ces missions,
- Etablir les interfaces entre les différents sous-systèmes d'un système spatial.

##### Prérequis:

- conception fonctionnelle et ingénierie simultanée
- toutes les disciplines de 1A et 2A doivent être comprises

##### Contenus :

- Environnement spatial et ses effets sur le design
- Développement durable dans l'Espace
- Mécanique Céleste :
  - Le problème à deux corps
  - Les paramètres orbitaux
  - Les perturbations
  - Manœuvres orbitales
  - Orbites pour missions d'observation de la Terre
  - Orbites Géostationnaires
- Communications radio
- Architecture satellites :
  - Dimensionnement plateforme
  - Structures
  - Contrôle thermique
  - Puissance
  - SCAO
  - Propulsion
  - Télécommunications
  - Charge utile
- Architecture lanceurs :
  - Généralités sur les missions lanceurs
  - Propulsion
  - Etagement

##### Modalités pédagogiques :

Cours

Etude de cas : BE avant-projet de microsatellite d'observation



# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**Qualité (Lean, Six sigma, ...)**  
**Conception fonctionnelle et ingénierie simultanée**  
**Gestion de projet**  
**Certification et réglementation**  
**Méthode de fabrication**  
**Organisation industrielle**  
**Usine du futur : défis et enjeux**

Total ECTS : 13

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 1<sup>re</sup> année

# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**1**  
**ECTS**  
**20h**

## GESTION DE PROJET

Responsable : Z FOUHAMI (CNAME)

### Objectifs du module :

Acquérir les connaissances de base en gestion de projet, ainsi que les liens vers d'autres rôles (organisation industrielle, gestion de production, ingénierie systèmes, ...). Le module de Gestion de Projet est enseigné en première année. Dans les deux années suivantes et à travers les projets en entreprise, de petits rappels seront organisés.

### Compétences visées :

- 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
- cadrer des projets
- suivi des projets
- approfondir les bases pour des situations réelles
- comprendre les mécanismes financiers et économiques
- maîtrise des risques (lien avec le cours Qualité, qui lui prendra les connaissances acquises en gestion de projet en entrée)

### Prérequis :

aucun

### Contenus :

- introduction à la Gestion de Projet (3h)
- plan de développement d'un projet (3h)
- planning et Plan de Charge (5h)
- analyse et suivi financiers des projets (3h)
- maîtrise des risques (3h)
- tableau de bord de suivi de projet et revues de projet (3h)

### Modalités pédagogiques :

Cours, TD/études de cas, TP sur PC

# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**2+1**  
**ECTS**  
**25h + 20h**

## CONCEPTION FONCTIONNELLE ET INGÉNIERIE SIMULTANÉE

Responsables : J.M. RONCIN, O. SER (ENSMA) / M. LANDREAU (CNAME)

### Objectifs du module :

La maîtrise des systèmes complexes par les industriels est indispensable au maintien et à l'amélioration des positions de l'industrie française et européenne sur le marché mondial des grands systèmes, quel que soit le domaine : transports, espace, défense, finances, sécurité, santé, énergie... Ces systèmes font appel à de nombreuses disciplines : génie mécanique, génie électrique, génie automatique, génie civil, génie logiciel, génie électronique, génie chimique, génie industriel, sous-traitance, production, maintenance, sécurité... mais aussi commerce, marketing, relation clients, facteurs humains, développement durable. L'Ingénierie Système (IS) qui en fournit la vision globale et le management associé en est le chef d'orchestre. (cf. AFIS, Association Française de l'Ingénierie Systèmes)

L'objectif en 1A est d'acquérir les connaissances de base en ingénierie systèmes, conception fonctionnelle, ingénierie simultanée, ainsi que les liens vers d'autres métiers, à la fois techniques (mécanique, électronique, logiciel, ...) et organisation industrielle, gestion de production, gestion de projet, ... Le tout sera illustré avec des outils de base.

L'objectif en 2A est d'approfondir les connaissances acquises en 1A et notamment de les mettre en pratique avec un outil représentatif de ce qu'on peut trouver dans l'industrie aujourd'hui. Un projet fil rouge sera utilisé pour mettre en pratique ces notions et d'illustrer comment aller d'un concept vers le CAO.

### Compétences visées :

- être capable d'analyser un problème et de proposer des solutions
- savoir travailler efficacement en équipe
- savoir justifier, argumenter et être critique sur ses choix/décisions
- maîtriser l'ingénierie simultanée
- utilisation des outils associés

### Prérequis :

aucun

### Contenus :

#### Première année :

- définitions et concepts d'un système et hiérarchie au sein d'un système : décomposition des fonctions, quelles fonctions à réaliser en mécanique, en électronique, etc.
- utilisation et valeur de l'ingénierie des systèmes : le pourquoi et comment
- étapes génériques du cycle de vie, caractéristiques du cycle de vie, étapes et approches : cycles de vie standard et aérospatiale en particulier
- processus techniques, dont ingénierie des exigences, définition de l'architecture, conception, analyse, V&V, etc.
- processus de gestion technique
- model-Based Systems Engineering
- ingénierie simultanée

#### Deuxième année :

- présentation de l'outil et les grands modules inclus dans l'outil (ingénierie simultanée, ingénierie des exigences, ingénierie de l'architecture, management technique, analyses, V&V, les passerelles vers la CAO, ...)
- mise en place d'un projet fil rouge
- apprendre à utiliser l'outil pour les grandes phases depuis le début jusqu'au CAO (les fonctions de base)

### Modalités pédagogiques :

Cours, TP/études de cas

## **MÉTHODES DE FABRICATION**

Responsables : F TARTE (AUTOLIV), D GIRARD (UP)

### **Apprenti ISAE-ENSMA**

#### **Programme**

#### **1<sup>re</sup> année**

##### **Objectifs du module :**

Acquérir les connaissances de base sur les principaux procédés de fabrication et sur le contrôle métrologique utilisés dans le secteur aérospatial,  
Faire un lien entre ces connaissances, le bureau d'études (intégrer les spécificités d'un procédé dans une démarche de conception) et le bureau des méthodes (fabriquer en respectant le dessin de définition).

##### **Compétences visées :**

être capable de définir les principes, les limites et les méthodes de mise en œuvre des principaux procédés de fabrication et de contrôle métrologique utilisés dans le secteur aérospatial.

##### **Prérequis :**

Lecture d'un dessin de définition et exploitation d'un fichier CAO/FAO d'une pièce ou d'un mécanisme

##### **Contenus :**

Contexte général de la fabrication propre à l'industrie aérospatiale : besoin industriel, aspects économiques, organisationnels et sociaux.

##### Panorama des techniques de fabrication et de contrôle métrologique :

- classification et principes généraux,
- caractéristiques clés et mise en œuvre.

##### Techniques de fabrication abordées :

- usinage/ découpage/ formage/ assemblage
- fabrication additive
- métallurgie des poudres
- RTM, préimprégné,... (matériaux composites)

##### Thèmes pouvant être abordés en lien avec des exemples du secteur aérospatial :

- construction additive versus soustractive, programmation des machines à commande numérique
- assemblage mécano soudés/ collés/ rivetés (réalisation de tronçons, voilures,...).
- applications du laser et de techniques innovantes
- protections et revêtements (traitements de surface, peinture,...).
- ...

##### **Modalités pédagogiques :**

Cours, TP (machines)

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 2<sup>e</sup> année

# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**2**  
ECTS  
30h

## ORGANISATION INDUSTRIELLE

Responsable : J. VIDAL (CNAM)

### Objectifs du module :

Acquérir les connaissances de base en organisation industrielle en termes de concepts, d'implantations, de stratégies en gestion de production.

### Compétences visées :

- être capable d'identifier et de caractériser le système de production, le type de flux et la gamme de fabrication,
- être capable de définir une stratégie de production et de dimensionner les processus en fonction des prévisions de vente,
- être capable de réaliser une gamme de fabrication,
- être capable de définir une analyse de marché et d'en tirer un business plan afin de dimensionner une production.

### Prérequis :

aucun

### Contenus :

- analyse de marché, définition du besoin et prévision de vente,
- cadencement d'une ligne de production, Takt Time, type de flux,
- approvisionnement et chaînes logistiques,
- organisation de l'usine (Job shop / product line),
- notion de la valeur, valeur ajouté, non-valeur ajouté, chaîne de valeur de Porter.

### Modalités pédagogiques :

cours, études de cas

# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**1**  
**ECTS**  
**20h**

## USINE DU FUTUR : DÉFIS ET ENJEUX

Responsable : J. VIDAL (CNAM)

### Objectifs du module :

L'objectif de ce cours est de sensibiliser les étudiants à l'importance des défis auxquels les systèmes industriels sont confrontés dans le contexte de la quatrième révolution industrielle. Ceci inclus la numérisation de l'usine, la flexibilité de l'usine et configurabilité de la production, les nouveaux outils logistiques et les nouveaux outils de simulation. Le but est une usine économe en énergie et en matières premières.

### Compétences visées :

- comprendre les enjeux de l'usine du futur,
- savoir caractériser les contributions des différents technologies autour de l'usine du futur,
- comprendre comment ces différents technologies peuvent contribuer aux productions modernes.

### Prérequis :

Organisation industrielle

### Contenus :

- Sensibilisation aux technologies des usines du futur (infrastructure réseau, réalité augmentée, robots ou cobots, big data, cloud computing, systèmes cyber-physiques, sécurité)
- Comprendre les aspects économiques et sociaux (écologie, politique, économie, ...)
- Témoignages d'industriels

### Modalités pédagogiques :

Cours, études de cas

## UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**2**  
**ECTS**  
**35h**

### QUALITÉ (Lean, Six sigma,...)

Responsable : J. VIDAL (CNAM)

#### Objectifs du module :

Donner à l'élève-ingénieur une vision générale du système de management de la qualité ainsi que les principaux outils qui visent à amener et maintenir les processus au niveau de qualité requis pour prévenir les non-conformités.

#### Compétences visées :

- 1 : être capable d'animer une démarche qualité
- 2 : être capable d'identifier de mettre en œuvre les outils/méthodes statistiques pour évaluer la variabilité et la capacité des processus et des moyens de mesure
- 3 : être en mesure de piloter les processus en s'assurant de leur stabilité
- 4 : être capable de travailler par processus
- 5 : être capable de mettre en place les diagrammes d'analyse de la valeur
- 6 : être capable de mettre en œuvre des modèles de réduction des coûts grâce à l'amélioration continue

#### Prérequis :

statistique, gestion de projet, conception fonctionnelle

#### Contenus :

- Système de management de la qualité, roue de Deming
- Sensibilisation/fondamentaux, Approche Processus, Prévention : AMDEC-FMEA, AMDEC, Poka-Yoke, 5S
- Résolution de Problèmes : Méthode Global 8D, Diagramme Cause et effets- Ishikawa, IS-Isnot, 5 Why, FTA- arbre des défauts
- Rappels de statistique, plan d'expérience
- Etude des systèmes de mesure, la modélisation et les tests statistiques appliqués à l'industrie et la Maîtrise Statistique des Procédés (MSP)
- Présentation concepts de 6Sigma
- Les grands principes du lean, jeu de mise en situation par équipes
- Approche CID

#### Modalités pédagogiques :

Cours, études de cas

# UE OUTILS ET MÉTHODES DE L'INDUSTRIALISATION

**2  
ECTS  
30h**

## CERTIFICATION ET RÈGLEMENTATION

Responsables : L. LALAQUE-GUIRAUTE, D. YONNET (SAFRAN) – A. PERALTA-SASSIER (DASSAULT)

### Objectifs du module :

La conception, la fabrication et l'opération des aéronefs sont étroitement concernées par le cadre réglementaire applicable. Il faut notamment s'assurer que le système produit est conforme à son design et aux exigences réglementaires, et le reste pendant sa durée de vie. Ce module a pour objectif d'expliquer l'interface entre les spécialités aéronautiques (architecture et conception des divers systèmes), la réglementation et les normes de système d'assurance qualité aéronautiques. Au terme de ce module, l'étudiant sera capable de mettre en pratique en organisme de conception, production ou opération, les compétences opérationnelles de la réglementation aéronautique.

### Compétences visées :

- connaître le corpus réglementaire et les normes essentielles pour les systèmes d'assurance qualité en aéronautique,
- connaître le processus de certification de type d'un aéronef, moteur, équipements, les règlements associés et les principes de démonstration de conformité,
- connaître le processus de certification des organismes de production et de maintenance, la structure des référentiels associés et savoir évaluer la pertinence d'une organisation existante,
- connaître les règlements et exigences de gestion de navigabilité et de maintenance des aéronefs en service, savoir identifier la documentation technique applicable et renseigner les documents réglementaires existants, et connaître les principes de base de la planification et d'exécution des activités de maintenance,
- savoir en mettre en pratique les principes de base de gestion de configuration en production et en opération,
- être capable de trouver, en auto-apprentissage, dans la réglementation et les normes aéronautiques les informations pertinentes pour résoudre une problématique professionnelle donnée.

### Prérequis :

Architecture des aéronefs; Propulsion aéronautique; Mécanique et dynamique du vol; Structure aéronautique.

### Contenus :

- Objectifs de sécurité aérienne, rôles et responsabilités des acteurs de la sécurité aérienne (OACI, autorités, industriels)
- Normes de système d'assurance qualité en aéronautique (série EN9100)
- Gestion de la configuration des produits aéronautiques (production, opérations, maintenance)
- Certification de type d'un produit aéronautique: processus et règlements européens (EASA); méthodes de démonstration de conformité; interfaces avec la production, la maintenance et les opérations; modifications
- Certification d'un organisme de production aéronautique (POA): réglementation applicable; manuel d'organisme; audits de certification; organisation; interface conception-production; certification de la conformité de la production
- Maintien de la navigabilité: réglementation applicable; organisation et techniques pour la gestion de la navigabilité (CAMO), la maintenance et la formation; interfaces avec la conception (documentation technique, plan de maintenance, événements,...)
- Gestion des événements en service: reporting, suivi de navigabilité, consigne de navigabilité
- Réglementation opérationnelle européenne (transport aérien, approbations spécifiques, ...) et documentation opérationnelle

### Modalités pédagogiques :

Cours, études de cas



# UE GESTION D'ENTREPRISE

**Stratégie d'entreprise**  
**Gestion financière et comptable**  
**Développement durable et RSE**  
**Droit des contrats et des affaires**  
**Analyse et calcul des coûts**  
**Propriété industrielle et innovation**  
**Simulation d'entreprise**

Total ECTS : 8

# UE GESTION D'ENTREPRISE

**1**  
**ECTS**  

---

**20 h**

## STRATÉGIE D'ENTREPRISE

Responsable: H GISSLER (CNAM)

### Objectifs du module :

Comprendre et appliquer une réflexion stratégique à moyen/long terme pour orienter l'offre de l'entreprise vers les attentes du marché et la satisfaction du client.  
Maîtriser les outils d'identification des opportunités de marché et la mise en place de plans d'actions complets.

### Compétences visées :

- être capable d'analyser un secteur d'activité et de réaliser une veille concurrentielle stratégique
- être capable d'identifier les leviers d'une bonne stratégie d'entreprise
- être capable de définir une stratégie
- être capable de mobiliser les principaux outils d'analyse stratégique

### Prérequis :

Bonnes connaissances des principaux rouages économiques et financiers de l'entreprise.

### Contenus :

- 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 mise en place dans le contexte sectoriel**  
**Choisir sa stratégie**
  - Avantage concurrentiel et caractéristiques de l'industrie (BCG 2)
  - Les 3 stratégies génériques (Porter 1980)

### Modalités pédagogiques :

## DÉVELOPPEMENT DURABLE ET RSE

Responsables : V. AYEL, Y. PANNIER, J. SOTTON (ENSMA)

### Apprenti ISAE-ENSMA

#### Programme

#### 1<sup>re</sup> année

##### Objectifs du module :

La responsabilité sociale des entreprises, également appelée responsabilité sociétale des entreprises (RSE), est la prise en compte par les entreprises des enjeux environnementaux, sociaux et éthiques dans leurs activités.

##### Compétences visées :

- connaître les différents aspects de la RSE,
- comprendre les impacts sur les organisations,
- être capable d'appréhender la mise en place de cette démarche.

##### Prérequis :

Aucun

##### Contenus :

###### Module 1 : Cadre et objectifs du Développement Durable et de la RSE -10h

- Enjeux du développement durable et de la RSE
- Bilan carbone
- Aspects réglementaires; stratégiques et économiques

###### Module 2 : énergie et environnement (Proposition de l'ENSMA) - 10h

- Ressources énergétiques : historique et état des lieux
- Ressources fossiles : présentation, historique et projections
- Réchauffement climatique : physique, état des lieux, projections, atténuation et adaptation
- Scénarios énergie/climat pour les 30 ans
- Ressources matériaux

###### Module 3 : Penser autrement pour un Développement Durable - 10h

- Analyse du Cycle de Vie (ACV) et écoconception
- ACV et Réglementations orientées transports
- Bio inspiration
- Economie de fonctionnalité
- Economie circulaire

##### Modalités pédagogiques :

Cours, conférences-débats  
Etudes de cas

## PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE ET INNOVATION

Responsable : H. GISSLER (CNAM)

Apprenti ISAE-ENSMA

Programme

**2<sup>e</sup> année**

### Objectifs du module :

- comprendre les enjeux stratégiques de l'innovation et de la protection industrielle,
- acquérir les réflexes de la protection des créations industrielles et des signes distinctifs,
- connaître les conséquences et risques du non-respect de la protection intellectuelle,

### Compétences visées :

- être capable de comprendre les enjeux stratégiques de l'innovation et de la propriété industrielle
- être capable d'appréhender la PI dans les différentes phases d'un projet

### Prérequis :

aucune

### Contenus :

- Inventions, innovation, propriété intellectuelle / propriété industrielle ?
- Les enjeux et stratégies de la propriété industrielle. Secret, brevet, divulgation,
- Preuve de date de création / Brevet,
- Brevet : critères de brevetabilité ; étapes clés de la procédure de délivrance ; titularité ; valorisation/exploitation,
- Innovations partenariales : projets collaboratifs ; open innovation.

### Modalités pédagogiques :

Cours  
Etudes de cas

# UE GESTION D'ENTREPRISE

**1**  
**ECTS**  
**15 h**

## DROIT DES CONTRATS ET DES AFFAIRES

Responsable : B. LAGATTU (CNAME)

### Objectifs du module :

- connaître les règles afférentes à certaines notions clés telles que le contrat, la responsabilité civile,
- de comprendre l'articulation entre les différentes sources (loi, conventions et accords collectifs, contrat de travail...),
- de savoir sécuriser les étapes du contrat de travail de l'embauche à la rupture,
- de gérer les différents éléments de la relation de travail.

### Compétences visées :

1. Comprendre les causes, les modalités et les conséquences associées à la notion de "contrat" dans le droit civil français,
2. Maîtriser les fondamentaux juridiques appliqués à la gestion du contrat de travail, de son élaboration à sa rupture,
3. Gagner en autonomie dans la gestion de la vie du contrat de travail,
5. Maîtriser les fondamentaux juridiques appliqués à la gestion du contrat de travail, de son élaboration à sa rupture.

### Prérequis :

aucun

### Contenus :

1. Le CONTRAT
  - Les éléments constitutifs du contrat
  - Le contenu et les effets du contrat
  - L'inexécution et la rupture du contrat
2. La RESPONSABILITÉ CIVILE
  - Les conditions de la responsabilité civile
  - Les demandes indemnитaires
3. RECRUTEMENT et CHOIX du CONTRAT de TRAVAIL
  - Le recrutement : Les dispositions liées au processus de recrutement : discrimination, égalité homme/femme, etc.
  - Le choix du contrat de travail
  - Les clauses du contrat :
    - o Période d'essai
    - o Clause de mobilité
    - o Clause de non concurrence
    - o Clause de délit formation
  - Les particularités des contrats précaires : CDD, intérim.
4. DURÉE du TRAVAIL et REMUNERATION
  - Le temps de travail : durée et aménagement (différentes modalités, forfait,...)
  - Les congés payés et autres congés
  - La gestion de la suspension du contrat de travail (la maladie, la maternité, les accidents du travail, etc.).
  - La rémunération

### Modalités pédagogiques :

# UE GESTION D'ENTREPRISE

**1**  
**ECTS**  

---

**20h**

## GESTION FINANCIÈRE ET COMPTABLE

Responsable : H GISSLER (CNAME)

### Objectifs du module :

« De la même façon que l'on ne peut pas imaginer un monde sans entreprise, il est impossible d'imaginer une entreprise sans comptabilité » (Lire et analyser un bilan d'H. M. TUBIANA Edition LITEC).

La COMPTABILITÉ est un « système d'organisation de l'information financière permettant de saisir, classer, enregistrer des données de base chiffrées et présenter des états reflétant une image fidèle du patrimoine de la situation financière et du résultat de l'entité à la date de clôture » (art. 120-1 du PCG). La comptabilité est plus qu'une obligation réglementaire. Elle est :

- un OUTIL de CONTRÔLE des opérations,
- un MOYEN de PREUVE JURIDIQUE en cas de litige,
- une OBLIGATION LEGALE (toute entreprise doit tenir une comptabilité),
- un MOYEN FIABLE de CALCUL de l'assiette des IMPÔTS (justification),
- une SOURCE d'INFORMATION FINANCIÈRE sur la situation et l'évolution de l'entreprise,
- une AIDE à la PRISE de DECISION ECONOMIQUE et FINANCIÈRE

### Compétences visées :

- être capable de connaître l'impact des événements sur les documents comptables de l'entreprise,
- être capable de construire et de lire un compte de résultat,
- être capable de construire et de lire un bilan,
- être capable de différencier résultat comptable et trésorerie,
- être capable d'utiliser les connaissances comptables acquises pour monter un business plan,
- être capable d'analyser une situation économique et financière d'entreprise à partir de ses documents comptables de synthèse.

### Prérequis :

Aucun

### Contenus :

#### 1. Introduction

- a. Entreprise : lieu de prise de décision
- b. Entreprise : lieu d'échanges avec son environnement
- c. Objectifs de la comptabilité
- d. Exercice d'une création d'entreprise : évènements/activité/patrimoine

#### 2. Normalisation comptable

- a. Rôle de la comptabilité générale
- b. Plan comptable général : principes et codification
- c. Principes normalisés d'enregistrement
- d. Documents de synthèse : compte de résultat et bilan comptable

#### 3. Ecritures courantes

- a. Introduction
- b. Acheter/investir/vendre – la prise en compte de la TVA
- c. Emprunter/rembourser
- d. Payer ses salariés

#### 4. Ecritures d'inventaire

- a. Introduction
- b. Comptabiliser ses stocks
- c. Investir/amortir
- d. Provisionner les dépréciations et les risques

#### 5. Cas de synthèse

### Modalités pédagogiques :

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 1<sup>re</sup> année

# UE GESTION D'ENTREPRISE

**1**  
ECTS  
15 h

## ANALYSE ET CALCUL DES COÛTS

Responsable : H GISSLER (CNAME)

### Objectifs du module :

Comprendre le mécanisme des différentes approches pour estimer un coût de production et calculer une marge.  
Maîtriser les mécanismes de base du contrôle des coûts et du pilotage de la performance.

### Compétences visées :

- être capable de calculer les différents types de coûts (répartition des coûts directs et indirects), de valoriser un stock selon différentes méthodes,
- être capable de piloter les résultats de l'activité opérationnelle (seuil de rentabilité, marges),
- être capable d'exploiter, de sélectionner l'information utile au sein d'un volume important de données techniques et économiques.

### Prérequis :

Connaissances comptables et financières

### Contenus :

- la classification des charges et des coûts
- analyse fonctionnelle de l'activité - méthode des centres d'analyse
- méthode ABC
- les méthodes de calcul des coûts et des marges
- méthode de coûts partiels - imputation rationnelle - coût cible
- méthodes de valorisation des stocks
- seuil de rentabilité, point mort

### Modalités pédagogiques :

Cours, TP

## SIMULATION D'ENTREPRISE

Responsable: H GISSLER (CNAM)

Apprenti ISAE-ENSMA

Programme

**2<sup>e</sup> année**

### Objectifs du module :

- définir la stratégie d'une firme dans un environnement concurrentiel,
- analyser l'évolution de la performance et la rentabilité de cette stratégie,
- adapter la stratégie choisie face à l'évolution de l'environnement concurrentiel simulé.

### Compétences visées :

- être capable de comprendre et consolider toutes les connaissances de gestion acquises durant la formation,
- être capable d'appliquer les outils de gestion appris durant la formation.

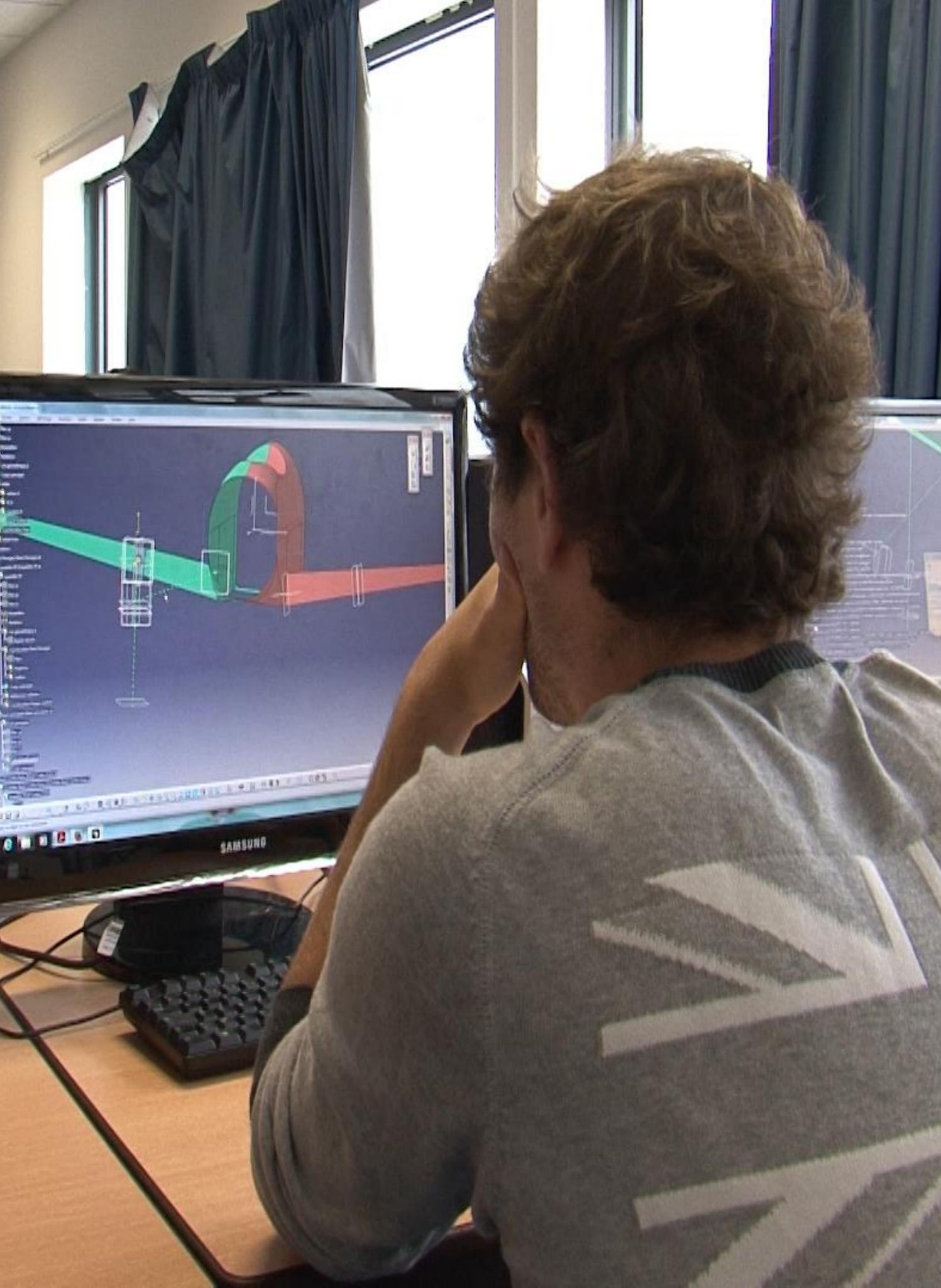
### Prérequis :

Toutes les notions acquises dans les cours de gestion.

### Contenus :

1. Définir une stratégie pour la firme :
  - stratégie de positionnement (différenciation traditionnelle, différenciation « verte » et domination par les coûts),
  - stratégie de croissance (spécialisation et diversification), modes de croissance (externalisation, création de Marketplace, alliance et fusion).
2. Définir un plan marketing : Gestion et optimisation du mix :
  - détermination de la politique de prix du (des) produits gérés
  - définition de la qualité du (des) produits gérés,
  - gestion de la force de vente,
  - évaluation du budget de publicité, gestion de l'image, obtentions de label...
3. Comprendre les contraintes de production :
  - gestion des stocks de matières premières et de produits finis,
  - gestion de la capacité de production (investissement et désinvestissement),
  - gestion éventuelle des émissions de CO2 (quota, contrat d'émission et taxe carbone),
  - gestion des salariés de production (actions de développement humain).
4. Intégrer la dimension finance, comptabilité et contrôle dans l'analyse de la performance :
  - gestion de la trésorerie,
  - gestion des besoins de financement et d'investissement (emprunt CT et LT, escompte et emprunt « vert bonifié »),
  - calcul et optimisation des couts de revient.

### Modalités pédagogiques :



# UE SCIENCES HUMAINES ET COMMUNICATION

Communication : écrite, orale  
Management humain  
Design thinking  
Anglais

Total ECTS : 11

**Apprenti ISAE-ENSMA**

**Programme**

**1<sup>re</sup> & 2<sup>e</sup> année**

## **COMMUNICATION : ÉCRITE, ORALE**

Responsable: N IGLESIAS (CNAME)

**Objectifs du module :**

Présenter les outils de communication écrits mobilisés en situation professionnelle.  
Sensibiliser aux différentes ressources de l'écrit (papier ou électronique) à mobiliser selon les situations de travail dans une organisation.  
Gagner en aisance dans la prise de parole et en confiance dans les relations professionnelles.  
Avoir un esprit critique dans les interactions sociales intéressées.

**Compétences visées :**

- savoir choisir et rédiger des documents écrits à usage professionnel,
- savoir exposer un plan d'exposé et un texte,
- savoir se situer face à l'autre pour évaluer le niveau de synthèse et le style d'écriture adaptés à l'interaction,
- être capable de prendre la parole en public et de faire passer un message clair et assuré.

**Prérequis :**

Aucun

**Contenus :**

- les écrits professionnels
- typologie des documents professionnels
- techniques de prise de parole
- régulation, production et écoute en réunion
- communication verbale et non verbale

**Modalités pédagogiques :**

**Apprenti ISAE-ENSMA**  
**Programme**

**1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> & 3<sup>e</sup> année**

## **ENGLISH - COMMUNICATION SKILLS**

Course Coordinators : M ELLIOTT, S. THURSTON (ENSMA)

**Objectifs du module :**

L'objectif pédagogique principal est la communication (dans toutes ses dimensions).

Apprendre et pratique de l'anglais à travers les 5 compétences, expression orale et écrite, compréhension orale et écrite, interaction. Donner suffisamment de clés à l'apprenti pour qu'il évolue sereinement dans sa vie professionnelle dans un milieu multiculturel. Faire progresser l'apprenti à l'utilisation de l'anglais dans un contexte social et professionnel.

Valider le niveau B2 par obtention d'un score supérieur ou égal à 800 au TOEIC (ou autre examen linguistique validé au niveau B2)

**Compétences visées :**

**EXPRESSION ORALE ET ÉCRITE**

- Faire une présentation détaillée sur une gamme variée de sujets relatifs à son domaine d'intérêt en y incluant des exemples pertinents. Développer une argumentation claire et logique. S'écarter d'un exposé préparé pour développer des réponses spontanées aux questions posées. Convaincre.
- Rédiger une correspondance professionnelle
- Rédiger un rapport factuel qui développe une argumentation et explique les avantages et inconvénients des différentes options.
- Synthétiser des informations issues de sources diverses.

**COMPRÉHENSION ORALE ET ÉCRITE**

- Comprendre les idées principales d'une intervention complexe (fond et forme) y compris des discussions techniques.
- Comprendre des annonces et instructions orales sur des sujets concrets et abstraits.
- Posséder un vocabulaire de lecture assez large pour permettre de saisir l'essentiel du sens d'une correspondance dans son domaine d'activité, d'identifier rapidement le contenu et la pertinence d'un rapport, d'un article ou d'instructions longues dans son domaine de compétences.

**INTERACTION**

**Prérequis :**

Niveau B1

**Contenus :**

Cours de communication orale et écrite en groupe

**Modalités pédagogiques :**

TD, mise en situation, étude de cas

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 3<sup>e</sup> année

## UE SCIENCES HUMAINES ET COMMUNICATION

**2**  
ECTS  
20h

### MANAGEMENT HUMAIN

Responsable : N. IGLESIAS (CNAM)

#### Objectifs du module :

Transmettre aux apprentis l'ensemble des savoirs, savoir-être et savoir-faire afin qu'ils puissent pleinement exercer leur futur rôle de manager.

#### Compétences visées :

- savoir instaurer la confiance dans une équipe,
- savoir communiquer en tant que manager,
- savoir développer l'intelligence collective,
- savoir gérer et traiter les signes précurseurs des Risques Psycho Sociaux.

#### Prérequis :

Aucun

#### Contenus :

1. Introduction sur la notion de management
2. La dimension organisationnelle du management
3. La dimension personnelle
4. La dimension interpersonnelle
5. La dimension Animation d'équipe
6. La notion de responsabilités

#### Modalités pédagogiques :

## **DESIGN THINKING**

Responsable : A. ROY (ENSMA)

**Objectifs du module :**

Le Design Thinking est une méthodologie, un processus d'innovation centré sur l'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 intéressante 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...

**Compétences visées :**

- 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.

**Prérequis :**

Aucun

**Contenus :**

Présentation des diverses étapes de la méthode et mise en situation

**Modalités pédagogiques :**

Cours interactif, études de cas



# UE SYSTEMES ENERGETIQUES ET MATERIAUX AVANCES

« La crise écologique résulte en bonne partie de la manière dont nous utilisons l'énergie et les matériaux, si nous décidons de faire quelque chose pour y remédier, la première chose à faire est de comprendre l'origine, les mécanismes, les conséquences et le niveau auquel, par un choix attentif des systèmes énergétiques et des matériaux, nous pouvons influer sur la situation. »

**Industrialisation des systèmes propulsifs**  
**Intégration aérodynamique**  
**Combustion et performances**  
**Thermique des systèmes**  
**Performances mécaniques des structures & Matériaux**  
**Matériaux pour les transports et l'énergie**  
**Procédés et innovations**

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 3e année

## INDUSTRIALISATION DES SYSTEMES PROPULSIFS

Responsable : M BELLENOUE (ENSMA)

Equipe pédagogique : M. BELLENOUE, R. LE DORTZ (AIRBUS), A. LEFEBVRE (SAFRAN), B. ROBIC (SAFRAN)

#### Objectifs du module :

Acquérir une vision d'ensemble des tendances et évolutions des systèmes propulsifs en fonction des missions de mobilité qu'ils doivent assurer et du contexte de développement durable dans lequel ils doivent s'inscrire.

Acquérir une connaissance technique des différents types de propulseurs aérospatiaux (avions, fusées, missiles, navettes spatiales, sondes, satellites...) et de leurs systèmes de pilotage (contrôle-commande), ainsi que des moyens industriels permettant leur production.

Identifier l'origine des limitations de performances en fonction du système propulsif.

Ce module introductif à l'UE "systèmes énergétiques et matériaux avancés" permettra de donner une vision d'ensemble sur les différents items traités dans l'UE.

#### Compétences visées :

Etre capable de situer les différents types de propulseurs dans le panorama des solutions technologiques, de renseigner leurs caractéristiques principales et constructives ainsi que les grandes problématiques auxquelles ils sont confrontés dans leurs développements.

Avoir une vision des perspectives générales de développement pour les systèmes propulsifs.

#### Prérequis :

Les enseignements A1 et A2 constituent les prérequis.

#### Contenus :

- Classification générale et évolution des systèmes propulsifs,
- Décomposition fonctionnelle et technologie,
- Performances et dimensionnement (points clés et critiques),
- Industrialisation et méthodes, cycle de vie
- Certification.
- Nouvelles architectures moteurs.

#### Supports :

- propulsion aérobie : turboréacteurs (simple/double flux, double/triple corps, Geared Turbo-Fan...), turbopropulseurs et Open Rotor ;
- propulsion anaérobie : moteurs fusées à ergols liquides/solides/hybride, propulseur plasmique/ionique ;
- Perspectives générales de développement pour les systèmes propulsifs : propulsion décarbonée, hybridation, électrification, nouveau mode de combustion, nouvelles intégrations fuselage : nouvelles architectures possible pour hélicoptère, avion régional/moyen courrier, APU, propulsion distribuée.

#### Modalités pédagogiques :

**Apprenti ISAE-ENS, A  
Programme**

**3e année**

52

## **INTEGRATION AERODYNAMIQUE**

Responsables : J. BOREE, E. GONCALVES H. BONNARD (ENSMA), J. MARTY (ONERA), B. PARCELIER (AIRBUS)

**Objectifs du module :**

En se basant sur l'ensemble des connaissances acquises dans le tronc commun ce module vise plus spécifiquement l'intégration des aspects aérodynamiques dans la conception de systèmes complexes. Il s'agit par exemple de l'intégration des nacelles moteurs dans le système avion ou encore le développement d'un compresseur ou d'une turbine pour un turboréacteur. A cause du rôle dominant du régime turbulent dans tous ces ensembles - et dans les systèmes énergétiques au sens large - les connaissances en turbulence sont élargies et mises en œuvre dans des projets applicatifs qui permettent l'initiation à la modélisation de la turbulence dans un cadre de CFD (simulation OpenFOAM) proche des contraintes industrielles (turbomachine, nacelle de propulsion mais aussi dans les autres modules de bloc systèmes énergétique).

**Compétences visées :**

A l'issue de ce module, les apprentis devront être capable :

- d'analyser des interactions aérodynamiques entre différentes composantes des systèmes étudiés (Interaction entre nacelle et aile, interaction entre couche-limite et écoulement principal, formation de décollement impact sur le système)
- d'identifier des zones à régime turbulent dans le système étudié
- de choisir un modèle de turbulence adapté à la situation simulée
- de dimensionner un maillage et des conditions aux limites adaptés à la modélisation de la turbulence en proche paroi retenue
- d'évaluer la précision de la simulation

**Prérequis :**

Modules "Mécanique des fluides ", "Aérodynamique de l'aile", "Thermodynamique et transferts thermiques ", "Aérodynamique et propulsion aérospatial", "Mécanique du vol"

**Contenus :**

**Turbulence (10H)**

Approches statistiques (Equations de Reynolds, interprétation). Conséquences physiques de l'agitation turbulente (Modèle de diffusion par mouvements continus, Bilan d'énergie et hiérarchie de mouvements tourbillonnaires, Voies principales pour la simulation numérique). Ecoulements turbulents pariétaux (Description, échelles représentatives, Conséquences pour la modélisation).

**Intégration de nacelles (10H)**

Composantes du système entrée d'air, aérodynamiques des entrée d'air en fonction du régime de fonctionnement, évaluation des paramètres de conception (Forme aérodynamique, position par rapport de la structure de l'avion, etc).

**Aérodynamique des turbomachines (20H)**

Equation d'Euler des turbomachines, fonctionnement de grilles d'aubes, étage compresseur, étage turbine, tuyère de sortie, adaptation entre turbine et compresseur, méthodes de conception.

**Modalités pédagogiques :**

Cours + TD/TP + BE

## Apprenti ISAE-ENSMA

### Programme

### 3e année

## COMBUSTION ET PERFORMANCES

Responsables : Z. BOUALI, M. BELLENOUE (ENSMA)

#### Objectifs du module :

Ce module a pour but de transmettre aux apprentis les notions et les outils qui leur permettront de concevoir les chambres de combustion actuelles et futures. Seront abordés à la fois les notions de base de la combustion et les aspects technologiques des chambres de combustion actuelles, mais aussi leurs contraintes de conception et d'intégration dans les systèmes propulsifs. Les différentes notions seront pratiquées au moyen d'outils numériques largement utilisés dans le monde industriel (Cantera). Les connaissances acquises dans ce module seront mises en œuvre dans le cadre de projets permettant d'initier les apprentis à la conception des chambres de combustion.

#### Compétences visées :

A l'issue de ce module, les apprentis devront être capables :

- de caractériser le mélange des gaz frais et des gaz brûlés,
- d'évaluer l'impact des paramètres thermochimiques sur les propriétés des gaz brûlés (température de flamme et composition des produits de combustion),
- d'analyser des données de mesure ou de simulation d'écoulements réactifs,
- de proposer des solutions permettant de réduire les émissions polluantes,
- de choisir les outils de dimensionnement les mieux appropriés,
- d'interagir avec le bureau d'études.

#### Prérequis :

Modules : thermodynamique et transferts thermiques, aérodynamique et propulsion aérospatiale.

#### Contenus :

##### Thermochimie (10 h)

- o Equilibre en phase gazeuse ; Impact des points de fonctionnement (température et pression initiales, richesse, combustible) et des modes de combustion sur la température de flamme et des propriétés énergétiques des gaz brûlés
- o Oxydo-réduction ; phénomène des piles à combustible

##### Combustion et flamme (15 h)

- o Cinétique chimique, flammes de prémélange et de diffusion, auto-inflammation, limites d'inflammabilité, émissions polluantes.
- Initiation-propagation-extinction
- o TP de propagation de flamme

##### Stratégies de modélisation des chambres de combustion (15h)

- o Modélisation phénoménologique 0-D orientée simulation système, prenant en compte les phénomènes physico-chimiques de la chambre de combustion, dans une plateforme de simulation1. Bilans énergétiques, estimation des performances et des émissions des gaz à effet de serre et polluants.
- Possibilités de récupération d'énergie et d'hybridation électrique
- o Introduction à la modélisation et la simulation numérique (CFD) d'une chambre de combustion
- 1 type AMESim

#### Modalités pédagogiques :

Cours + TD + Projets

**Apprenti ISAE-ENSMA**  
**Programme**

**3e année**

## **THERMIQUE DES SYSTEMES**

Responsable : V. AYEL

Equipe pédagogique : V. AYEL, G. LALIZEL, E. VIDECOQ (ENSMA), C. ROMESTANT (CNRS)

### **Objectifs du module :**

L'objectif de ce module est double : il s'agit premièrement d'obtenir un niveau de connaissances et de pratiques suffisants pour être capable de dresser et résoudre des bilans thermiques multiphysiques complexes au niveau des interfaces fluide/solide en incluant le rayonnement entre surfaces et sources environnantes. Dans un second temps, il s'agit de connaître et maîtriser les notions fondamentales sur les échangeurs et d'être capable de dimensionner des échangeurs simples, ainsi que d'avoir des éléments de connaissance de base sur les phénomènes d'évaporation, ébullition, condensation et sur des systèmes diphasiques passifs (caloducs, boucles diphasiques).

### **Compétences visées :**

- A l'issue de ce module, l'apprenti(e) devra être capable de :
- dresser un bilan thermique pariétal complexe incluant conduction, convection et rayonnement et être capable de le résoudre.
  - choisir les corrélations de coefficients de convection adaptées aux différentes situations
  - dimensionner un échangeur de géométrie simple et maîtriser les fonctionnements d'échangeurs complexes
  - connaître et analyser les modes de transfert incluant le changement de phase liquide/vapeur et leur systèmes associés pour le refroidissement de sources dissipatives
  - Utiliser un code de calcul CFD pour analyser les phénomènes de transferts convectifs et conductifs.

### **Prérequis :**

Modules "Thermodynamique et transferts thermiques ", "Mécanique des fluides "

### **Contenus :**

#### **Bilans thermiques en ambiances ouvertes et confinées (16H)**

Notions de bilans thermiques multiphysiques sur des surfaces. Approche couplée de conduction/convection/rayonnement. Travaux pratiques : application aux plaques planes - comparaison de corrélations de coefficients de convection naturelle avec les valeurs mesurées. Mesures de températures intrusives et pariétales. Application à la thermique d'habitacle (type avion).

#### **Echangeurs et systèmes diphasiques (24H)**

Introduction aux échangeurs de chaleur : échangeurs tubulaires simples (comparaison des cas co-courant et contre-courant); notions de coefficient d'échange global, écart de température logarithmique ; efficacité d'un échangeur et nombre d'unités de transfert (NUT). Echangeurs complexes (échangeurs à faisceaux, échangeurs à courants croisés, échangeurs à plaques). Travaux pratiques : application aux échangeurs réels tubulaires et à faisceaux ; utilisation d'un outil de calcul CFD pour des échanges convectifs confinés. Dimensionnement d'un échangeur complexe ; méthodes de conception. Introduction aux phénomènes d'évaporation, ébullition et condensation. Introduction aux systèmes diphasiques passifs (caloducs, boucles diphasiques).

### **Modalités pédagogiques :**

# UE SYSTEMES ENERGETIQUES ET MATERIAUX AVANCES

**3,5  
ECTS  
60h**

## PERFORMANCES MECANIQUES DES STRUCTURES & MATERIAUX – Démarche écoresponsable

Responsable : D. HALM (ENSMA)

Equipe pédagogique : D HALM, G HENAFF, C NADOT-MARTIN, Y NADOT, Y PANNIER, E. LAINE (ENSMA)

### Objectifs du module :

Ce module vient faire le lien entre les fondamentaux de conception mécanique et de développement durable acquis dans le tronc commun et le module "Applications transports et énergie des matériaux". Il s'agit d'une part de comprendre comment appréhender, modéliser et contrôler la tenue mécanique d'une structure, ainsi que sa durée de vie. D'autre part, il s'agira d'apporter aux étudiants des notions qui leur permettront d'être en capacité de réaliser une pré-sélection éclairée des matériaux par leurs caractéristiques qui sont directement liées aux questions environnementales : contenu en énergie, empreinte carbone, fraction recyclable, toxicité. L'objectif étant par cette double compétence de pouvoir réaliser des choix éco-responsables en conception par une optimisation des performances mécaniques et environnementales.

### Compétences visées :

- Pouvoir analyser et réaliser un cahier des charges mécanique d'une structure
- Comprendre les principes et les résultats d'une modélisation par la méthode des éléments finis
- Pouvoir choisir et analyser des méthodes expérimentales : tests et instrumentation
- Pouvoir réaliser des choix éco-responsables en conception par une optimisation des performances mécaniques et environnementales

### Prérequis :

Modules "Mécanique des solides et systèmes mécaniques", "Comportement des matériaux et des structures", "Développement durable et RSE"

### Contenus :

#### Comportements mécaniques et durabilité (30h)

- Rappels sur les différents comportements mécaniques des matériaux (métalliques, polymères, composites, céramiques ..)
- Plasticité - Viscoélasticité - Viscoplasticité - Endommagement et rupture (avec quelques éléments de modèle)
- Tolérance au dommage - Fatigue
- Fluage-relaxation
- Tenue à l'environnement et couplages

#### Choix éco-responsable en conception (10h)

Eco-caractéristiques des matériaux  
Pré-design  
Stratégies de sélection et dimensionnement mécanique  
Choix matériaux

#### Dimensionnement mécanique et durabilité (20h)

- Approfondir les éléments finis par l'exemple
- Pratique de la méthode des éléments finis (EF) : découverte de l'outil (Abaqus CAE)
- 1. Modélisation d'un système mécanique : barres/poutres, plaque/coques, volumiques
- 2. Applications aux comportements linéaire et non linéaires : élasticité, plasticité, viscoplasticité ...
- 3. Analyse critique des résultats ; convergence
- Etudes de cas (ex. aile d'avion : dimensionnement, instrumentation, calcul en fatigue)

### Modalités pédagogiques :

Cours, TD/TP, Etudes de cas, projet

# UE SYSTEMES ENERGETIQUES ET MATERIAUX AVANCES

**3,5  
ECTS  
—  
60h**

## MATERIAUX POUR LE TRANSPORT ET L'ENERGIE

### – Approche par fonctionnalités

Responsable : J CORMIER(ENSMA)

Equipe pédagogique : J CORMIER, C GARDIN, S HÉMERY, O SMERDOVA (ENSMA), X MILLET (UP)

#### Objectifs du module :

Appréhender le comportement et les fonctionnalités spécifiques des matériaux intégrés à des applications transports et énergie, en lien avec leur structure, leur procédé d'élaboration et leurs conditions de fonctionnement. Le cours abordera les matériaux métalliques, céramiques, composites, polymères ...

#### Compétences visées :

Être capable de choisir un matériau et son procédé de mise en œuvre en fonction de ses propriétés spécifiques et suivant ses contraintes de fonctionnement ;

Pouvoir interpréter des données suivant les différents types de matériaux et les paramètres d'essais; comprendre les règles de dimensionnement des composants à haut niveau de sécurité et/ou d'intégrité mécanique ;

Pouvoir analyser une défaillance et proposer une réparation, une modification ou un remplacement de pièce.

#### Prérequis :

Modules "Mécanique des solides et systèmes mécaniques", "Comportement des matériaux et des structures"

#### Contenus :

##### Matériaux hautes températures (12,5h)

- Superalliages base Ni, base Co, base Ni-Fe: enjeux environnementaux, procédés de mise en forme (voie coulée - forgée, voie fonderie - dont solidification dirigée, métallurgie des poudres) et applications associées, grandes classes de superalliages, métallurgie des superalliages, traitement thermique, tenue environnementale (dont protections environnementales, sous-couches d'accroche et barrières thermiques), performances mécaniques en traction, fatigue, fluage, réparabilité, spécificités des applications de production d'énergie, Off-shore, spatiale, automobile, industrie verrière.

- CMC et céramiques ternaires : grandes classes de CMCs (base SiC, SiC/C, Oxydes/Oxydes, ...) et phase MAX, procédés d'élaboration, gains potentiels par rapport aux alliages métalliques, applications, performances environnementales (protection vis à vis de la corrosion H<sub>2</sub>O, barrières environnementales - EBC), modes d'endommagement spécifiques aux CMC, critère de dimensionnement.

#### Contenus (suite) :

##### Matériaux à hautes propriétés spécifiques (25h)

- Alliages d'aluminium: procédés de mise en forme (voie coulée-forgée, voie fonderie, métallurgie des poudres) et applications associées, grandes classes d'alliages d'aluminium, métallurgie des alliages d'aluminium, traitements thermiques, comportement mécanique monotone, durabilité en fatigue, tenue en corrosion, réparabilité.

- Alliages de Titane: généralités sur le titane et les alliages de titane, métallurgie et propriétés du titane et de ses alliages, élaboration, procédés de mise en forme, propriétés d'usage en lien avec la microstructure et les traitements thermo-mécaniques.

- Composites à matrice organique (CMO) pour l'allégement des structures : Les différents types de pièces, les matrices et procédés associés (stratification, placement de fibre, enroulement filamentaire, pultrusion ...) ; comportement et durabilité.

Caractérisation thermo mécanique - essais normés spécifiques - précautions à prendre dans l'analyse des données matière en vue de conception (anisotropie, influence des conditions expérimentales).

##### Matériaux pour l'électronique de puissance (10h)

Introduction : de l'intérêt de l'électrification des systèmes /

Systèmes électronique de puissance (généralités et évolutions).

Les convertisseurs actuels: architecture (multi - matériaux /

fonctionnalités (thermiques / mécaniques / électriques)

Évolution en fonctionnement (problèmes incompatibilités CTE,

Fluage, fatigue, transformation de phases).

Dernières évolutions (normes RoHS et autres améliorations de performance): ré-imaginer les matériaux dans l'architecture (si un composant change, le reste doit changer car impacté).

##### Tribologie (10h)

Concepts de frottement, d'usure et de lubrification. Caractérisation, traitements et texturation des surfaces. Applications dans l'espace : revêtements tribologiques (procédés et propriétés). Applications dans l'automobile : pneus et joints élastomères (procédés et propriétés tribologiques), freins (composites à matrice métallique, composites carbone-carbone).

##### Modalités pédagogiques :

Cours, TD/TP, Etudes de cas

# UE SYSTEMES ENERGETIQUES ET MATERIAUX AVANCES

**1,5  
ECTS  
30h**

## PROCEDES ET INNOVATIONS

Responsable : Y. NADOT, (ENSMA)

Equipe pédagogique : Y NADOT, A CLAVERY, T T HOANG (ENSMA), D MELLE (SAFRAN), R ECAULT (AIRBUS), A THOMAS (ENSIP), R CAYZAC (SAFT)

### Objectifs du module :

L'objectif de ce module est de sensibiliser les étudiants à l'exploitation de technologies et procédés innovants (fabrication additive, applications du laser, électrification des systèmes) en y incluant la compréhension du processus et des méthodes de développement qui ont permis d'aboutir à leur industrialisation (cycle conception-simulation-fabrication-test).

### Compétences visées :

Être capable de préciser l'intérêt, les principes et les limites des procédés de fabrication additive ainsi que les possibilités d'application du laser dans le développement et la fabrication d'un produit.

Être capable d'appréhender le principe de production-stockage-conversion d'énergie par batterie, piles à combustible (PàC) et l'intérêt de l'utilisation de supercapacités, notamment dans une problématique d'intégration de ces technologies dans un système satellite, drone, hybride...

Etre capable d'appréhender les étapes menant à l'industrialisation d'un produit innovant, du cahier des charges jusqu'à la validation de l'étude pour un passage en production, en lien avec des méthodes, outils, procédés et technologies.

### Prérequis :

Les enseignements A1 et A2 qui ont un lien direct avec ce module constituent les prérequis ainsi que le module introductif A3 (Industrialisation des systèmes propulsifs).

### Contenus :

Concevoir-Fabriquer-Tester-Innover: panorama synthétique et présentation de méthodes, outils, procédés et technologies qui permettent de développer des produits innovants (composants, mécanismes,...) en vue d'une industrialisation, avec prise en compte des performances et qualités requises du produit final, notamment pour des applications en lien avec les systèmes propulsifs électrifiés.

### Fabrication additive et applications du laser (15h)

#### Fabrication additive

Principe, panorama des techniques, domaines d'application, mise en œuvre, spécificités et santé matière en vue d'une intégration dans la chaîne complète "de la conception à la fabrication" des opportunités et contraintes du procédé additif :  

- élaboration de matériaux fonctionnels (intégration de renforts localement, multi matériaux, matériaux cellulaires, optimisation topologique ...)
- intégration et ajout de fonctions sur des pièces existantes et lors de la fabrication
- utilisation de la FA en maintenance (réparation et refabrication de pièces détachées)

#### Applications du laser

Principe de fonctionnement et application au découpage, soudage,..., dépôt de surface, contrôle non destructif, diagnostics optiques (vélométrie,...), avec volet sécurité.  
 Exemples de potentiel d'innovation à travers ces techniques.

### Electrification des systèmes (15h)

Production-stockage-conversion d'énergie électrique:  
 renouvelable vs conventionnel et filière hydrogène, focus conception-fabrication-test des batteries et piles à combustible.  
 Implémentation dans l'environnement, hybridation batterie-PàC, apport d'une supercacité)

### Modalités pédagogiques :

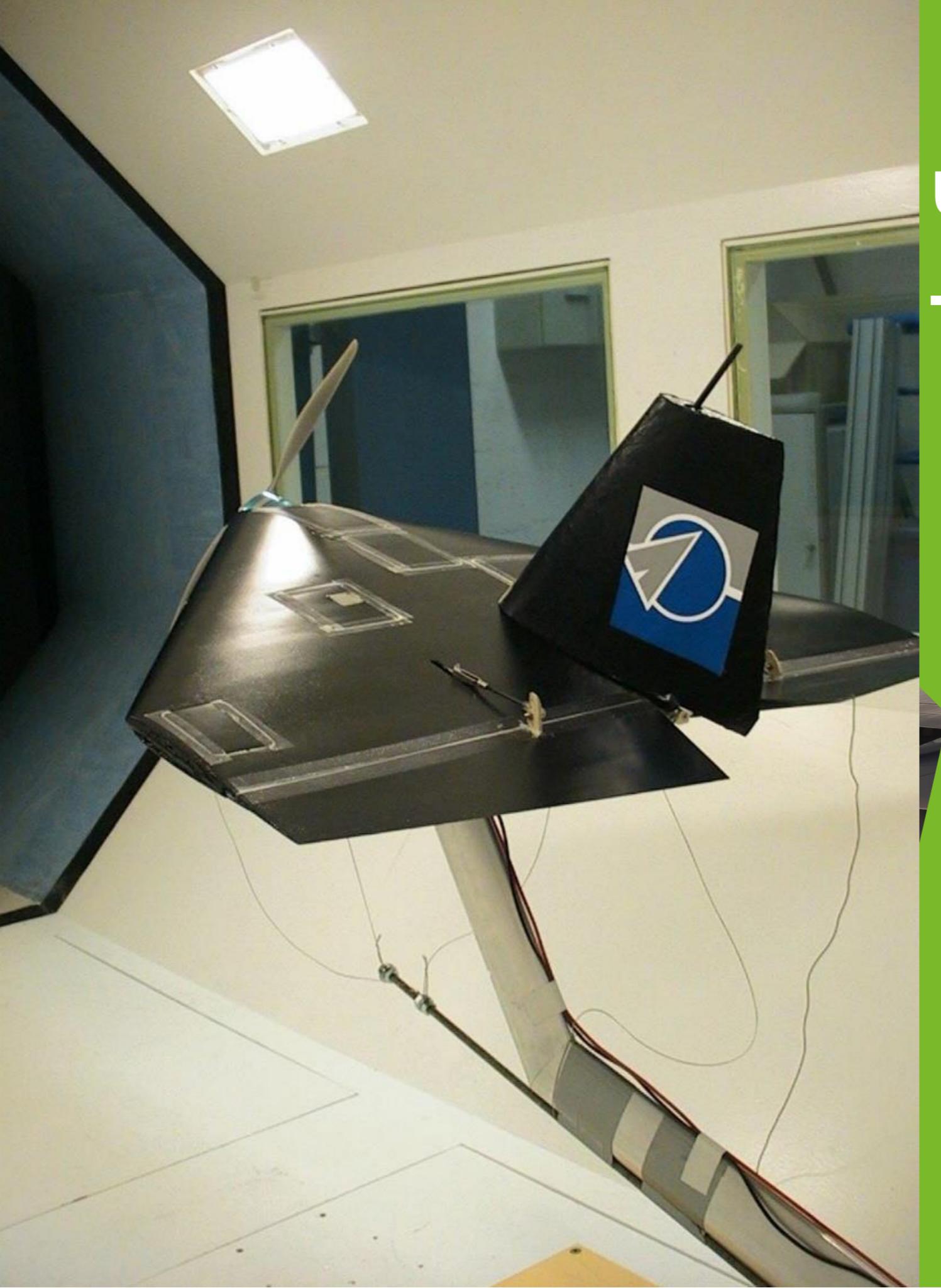
Cours interactif avec plusieurs intervenants

# UE PROJETS

---

Projet Recherche & Développement  
Projet Innovation & Conception

Total ECTS : 10



# PROJET DE RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

**Apprenti ISAE-ENSMA**

**Programme**

**2<sup>e</sup> année**

#### **Objectifs du module :**

Les projets recherche & développement s'inscrivent dans la pédagogie de la formation afin de permettre aux apprentis de développer des compétences collectives et individuelles relatives à une activité de recherche.

#### **Compétences visées :**

- étude bibliographique
- formulation du questionnement scientifique
- production de résultats
- analyse critique
- communication et valorisation

#### **Prérequis :**

Aucun

#### **Contenus :**

- Offre de projet proposée par les départements de recherche des laboratoires.
- Immersion (courte) dans une équipe de recherche

#### **Modalités pédagogiques :**

Mode projet

# PROJET INNOVATION & CONCEPTION

Apprenti ISAE-ENSMA

Programme

**3<sup>e</sup> année**

#### Objectifs du module :

Ce projet permettra aux apprentis de mettre en pratique leurs compétences techniques (multidisciplinaires) et humaines dans le cadre d'un projet transverse. Il permettra également de familiariser les futurs ingénieurs au contexte de la transition énergétique, à ses enjeux et aux solutions qui émergent dans les secteurs aéronautique et spatial.

#### Compétences visées :

- Pratiquer les notions acquises tout au long de la formation dans le cadre d'un projet transverse.
- S'appuyer sur des logiciels métiers performants.
- Travailler à partir d'un cahier des charges.
- Mobiliser les compétences d'un groupe au service d'un projet commun.
- Renforcer l'esprit d'échange au sein d'un groupe.
- Développer le sens d'organisation et de planification.

#### Prérequis :

Enseignements du tronc commun et de l'option « Systèmes Energétiques et Matériaux Avancés ».

#### Contenus :

##### Exemple de projet proposé :

Ce projet, situé au cœur d'une approche globale et transverse, est la réalisation d'une plate-forme permettant d'expérimenter différents modes de stockage et/ou de génération d'énergie électrique pour la propulsion d'un drone démonstrateur en matériaux légers (composites, ...) fonctionnant avec batteries, turbine à gaz hybride et/ou pile à combustible. Cela permettra aux apprentis à la fois d'utiliser les compétences acquises au cours de leur formation et l'expérience accumulée au sein de l'entreprise. Le passage à la fabrication d'un démonstrateur est une finalité et le drone est une structure réalisable à moindre coût qui de plus soulève la question très ouverte de l'architecture.

Les apprentis seront amenés à :

- Réaliser une étude de faisabilité en s'appuyant principalement sur les connaissances et compétences acquises lors de leur formation : réaliser un état de l'art exhaustif des solutions technologiques disponibles, sélectionner les options adaptées en s'appuyant sur des études techniques (simulations numériques) et proposer un plan d'action pour atteindre l'objectif du projet.
- Définir une architecture, mener des études de conception, faire des choix technologiques en fonction d'un cahier des charges.
- Réaliser une étude de cycle de vie d'un tel objet.
- Fabriquer et/ou acheter les composants constituant le drone.
- Réaliser le travail d'intégration conduisant à la création d'un prototype fonctionnel.
- Mener une réflexion à propos de l'industrialisation du prototype.

#### Modalités pédagogiques :

Projet encadré par une équipe pluridisciplinaire.



# UE INTEGRATION EN ENTREPRISE

Total ECTS : 73

## Apprenti ISAE-ENSMA Programme

### 1<sup>re</sup> année

## INTEGRATION EN ENTREPRISE

#### Objectifs du module :

Etre capable de s'intégrer au sein d'une entreprise du secteur aéronautique et spatial, en tant qu'assistant d'ingénieur (idéalement situés entre le bureau d'étude et la production).

Devenir opérationnel en se confrontant à des situations concrètes dans un environnement professionnel complexe.

#### Compétences visées :

- 1 - Notion : l'élève-ingénieur a des connaissances de base et est capable de les restituer ou d'en parler
- 2 - Application : l'élève-ingénieur sait appliquer les connaissances et les savoir-faire dans des situations courantes
- 3 - Maîtrise : l'élève-ingénieur est capable d'utiliser les différents concepts et de traiter des cas complexes ou inhabituels
- 4 - Expertise : l'élève-ingénieur maîtrise les différents concepts et est capable d'en utiliser ou d'en proposer de nouveaux

#### Savoirs :

Connaître les notions :

- techniques et technologiques (2) ;
- scientifiques (2) ;
- juridiques, économiques, sociales et commerciales (2) ; relatives à son projet en entreprise.

#### Savoirs-être :

- être capable de s'adapter à l'entreprise (ponctualité, engagements, culture) (2)
- être capable de s'ouvrir aux autres et travailler en équipe (2)
- être capable de faire preuve d'initiative et travailler en autonomie (2)
- adopter une posture proactive (curiosité, motivation, objectivité, proposition) (2)

#### Savoir-faire :

- être capable de communiquer au sein de l'entreprise (2)
- être capable de comprendre et de reformuler une demande (2)
- être capable de comprendre les méthodes de travail de l'entreprise et de les reproduire (4)
- être capable d'utiliser les outils informatiques et technologiques de l'entreprise (2)
- être capable de rechercher et acquérir une information et analyser le savoir-faire de l'entreprise (3)
- synthétiser et restituer l'information (2)
- résoudre des problèmes techniques et argumenter ses choix (2)
- être capable de définir de manière objective les délais d'une activité (2)
- être capable d'analyser les éléments d'une chaîne de valeur (1)

#### Prérequis :

Savoirs, savoir-faire et savoir-être d'un titulaire de DUT, BTS ou Licence à forte composante scientifique et technique.

#### Contenus :

En fonction des entreprises d'accueil et des missions confiées aux apprentis, ce module abordera les notions et problématiques du Génie industriel d'une entreprise du secteur aérospatial.

#### Modalités pédagogiques :

Mise en situation en entreprise, étude de cas réels.  
Tutorat et accompagnement effectué par un ou plusieurs maître(s) d'apprentissage issu(s) de l'entreprise ainsi qu'un tuteur pédagogique de l'ISAE-ENSMA ou du CNAM.  
Evaluations co-construites par le maître d'apprentissage, le tuteur pédagogique et l'apprenti.

## INTEGRATION EN ENTREPRISE

### Objectifs du module :

- savoir s'organiser dans son travail,
- concevoir et mettre en place des solutions,
- être capable d'optimiser un système, de résoudre un problème ou de réaliser des tâches comme technicien en mettant en œuvre des capacités méthodologiques ou techniques.

### Compétences visées :

- 1 - Notion : l'élève-ingénieur a des connaissances de base et est capable de les restituer ou d'en parler
- 2 - Application : l'élève-ingénieur sait appliquer les connaissances et les savoir-faire dans des situations courantes
- 3 - Maîtrise : l'élève-ingénieur est capable d'utiliser les différents concepts et de traiter des cas complexes ou inhabituels
- 4 - Expertise : l'élève-ingénieur maîtrise les différents concepts et est capable d'en utiliser ou d'en proposer de nouveaux

### Savoirs :

Connaître les notions :

- techniques et technologiques (3)
- scientifiques (3)
- notions juridiques, économiques, sociales et commerciales (3) relatives à son projet en entreprise.

### Savoirs-être :

- être capable de s'adapter à l'entreprise (ponctualité, engagements, culture) (3)
- être capable de s'ouvrir aux autres et travailler en équipe (3)
- être capable de faire preuve d'initiative et travailler en autonomie (3)
- adopter une posture proactive (curiosité, motivation, objectivité, proposition) (3)
- être capable d'assurer la fonction et les tâches d'un assistant ingénieur (3)

### Savoir-faire :

- être capable de communiquer au sein de l'entreprise (3)
- être capable de comprendre et de reformuler une demande (4)
- être capable d'utiliser les outils informatiques et technologiques de l'entreprise (4)
- être capable de comprendre et restituer le fonctionnement de l'entreprise (2)
- être capable de comprendre les enjeux globaux (1)
- être capable de comprendre les méthodes de travail de l'entreprise, de structurer l'organisation de ses activités (3)
- être capable de restituer la problématique d'un projet (2)
- définir les jalons des différentes tâches d'un projet (3)
- être capable de définir les indicateurs de performance des différentes tâches d'un projet (1)
- savoir identifier et utiliser les compétences et ressources nécessaires au bon déroulement d'un projet (3)
- identifier les risques potentiels et mettre en place un plan correctif (2)
- résoudre des problèmes techniques et argumenter ses choix (3)
- s'organiser pour pouvoir mener différents projets de front (2)
- savoir animer une réunion de travail (2)
- être capable de s'autoévaluer (2)
- savoir expliquer la démarche d'une mission (3)
- être capable de mettre en œuvre des écrits techniques (3)
- mettre en œuvre une analyse critique (2)
- être capable de rechercher des solutions techniques (2)

### Prérequis :

Savoirs, savoir-faire et savoir-être d'un élève ayant validé la 1A

### Contenus :

En fonction des entreprises d'accueil et des missions confiées aux apprentis, ce module abordera les notions et problématiques du Génie industriel d'une entreprise du secteur aérospatial.

### Modalités pédagogiques :

Mise en situation en entreprise, étude de cas réels.  
Tutorat et accompagnement effectué par un ou plusieurs maître(s) d'apprentissage issu(s) de l'entreprise ainsi qu'un tuteur pédagogique de l'ISAE-ENSMA ou du CNAM.  
Evaluations co-construites par le maître d'apprentissage, le tuteur pédagogique et l'apprenti.

## INTEGRATION EN ENTREPRISE

### Objectifs du module :

- être capable de piloter un projet,
- être capable en milieu professionnel d'optimiser un système et/ou de résoudre un problème et de réaliser des tâches mettant en œuvre des capacités méthodologiques ou techniques,
- savoir prendre de la hauteur par rapport à ses activités dans l'entreprise,
- développer une synthèse basée sur recherche documentaire liée à la mission d'ingénieur en entreprise,
- réaliser un mémoire de fin d'étude.

### Compétences visées :

- 1 - Notion : l'élève-ingénieur a des connaissances de base et est capable de les restituer ou d'en parler
- 2 - Application : l'élève-ingénieur sait appliquer les connaissances et les savoir-faire dans des situations courantes
- 3 - Maîtrise : l'élève-ingénieur est capable d'utiliser les différents concepts et de traiter des cas complexes ou inhabituels
- 4 - Expertise : l'élève-ingénieur maîtrise les différents concepts et est capable d'en utiliser ou d'en proposer de nouveaux

### ASSURER LE POSTE D'INGENIEUR

#### Savoirs :

Connaître les notions :

- techniques et technologiques (4) ;
- scientifiques (4) ;
- notions juridiques, économiques, sociales et commerciales (4) ; relatives à son projet en entreprise.

#### Savoirs-être :

- être capable de s'adapter à l'entreprise (ponctualité, engagements, culture) (4)
- être capable de s'ouvrir aux autres et travailler en équipe (4)
- être capable de faire preuve d'initiative et travailler en autonomie (4)
- adopter une posture proactive (innovation, motivation, objectivité, proposition) (4)
- être capable d'assurer la fonction et les tâches d'un ingénieur (4)

#### Savoir-faire :

- être capable de communiquer au sein de l'entreprise (4)
- être capable de comprendre les méthodes de travail de l'entreprise et de les reproduire (3)

- être capable de réaliser une veille technologique (2)
- savoir rechercher et exploiter des données traitant d'un sujet industriel (3)
- être capable de définir l'organisation d'un projet de A à Z et le manager (3)
- modéliser et développer une solution technique (3)
- être capable de gérer des complexités, des retards, du stress, de l'imprévisible... (3)
- analyser l'existant et mener des recherches documentaires pour élargir sa vision du projet (3)
- savoir tirer bénéfice d'un environnement multi-culturel (2)
- être capable de restituer ses activités de manière claire, synthétique et précise (4)
- savoir présenter et argumenter une solution ou une idée (3)

#### Savoir-faire spécifiques : REALISER UN MEMOIRE

- être capable d'utiliser les différents types de ressources documentaires (internet / livres / publications scientifiques (3)
- être capable de structurer différentes notions dans une synthèse bibliographique (2)
- être capable de vulgariser les connaissances sans les dénaturer (3)
- être capable d'argumenter ses décisions (2)
- être capable d'exposer une problématique en anglais (2)
- s'exprimer devant un public non initié (3)
- être capable d'effectuer une recherche documentaire (3)
- être capable de structurer des idées (2)
- savoir mettre en place des références bibliographiques (2)
- savoir éviter le plagiat (2)
- être capable de s'exprimer devant un public non initié (4)
- savoir synthétiser les informations tout en restant pertinent (3)
- être capable de justifier ses choix (2)

#### Prérequis :

Savoirs, savoir-faire et savoir-être d'un élève ayant validé la 2A

#### Contenus :

En fonction des entreprises d'accueil et des missions confiées aux apprentis, ce module abordera les notions et problématiques du Génie industriel d'une entreprise du secteur aérospatial.

#### Modalités pédagogiques :

Mise en situation en entreprise, étude de cas réels.  
Tutorat et accompagnement effectué par un ou plusieurs maître(s) d'apprentissage issu(s) de l'entreprise ainsi qu'un tuteur pédagogique de l'ISAE-ENSMA ou du CNAM.  
Evaluations co-construites par le maître d'apprentissage, le tuteur pédagogique et l'apprenti.



✉  
**ISAE-ENSMA**  
Téléport 2  
1 avenue Clément Ader BP 40109  
86961 Futuroscope – Chasseneuil Cedex  
France  
33 (0)5 49 49 8080  
[www.isae-ensma.fr](http://www.isae-ensma.fr)

