

Programme de Formation

Année scolaire
2021 – 2022

de S_1 au point O dans la base $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ ont :

$$I_{S_1} = \begin{pmatrix} 4m_1 h^2/3 & 0 & 0 \\ 0 & 4m_1 h^2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 2m_1 R^2/5 \end{pmatrix}$$

en G_2 dans la base $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ est :

$$I_{G_2} = \begin{pmatrix} 2m_2 R^2/5 & 0 & 0 \\ 0 & 2m_2 R^2/5 & 0 \\ 0 & 0 & 2m_2 R^2/5 \end{pmatrix}$$

on note :

(E₁) l'équation différentielle $y''(t) + 4y'(t) + 5y(t) = \cos t$,
 (E₂) l'équation différentielle $y''(t) + 4y'(t) + 5y(t) = e^{-2t} \sin t$
 L'équation homogène associée : $y''(t) + 4y'(t) + 5y(t) = 0$ est notée (H)

(A) $\int_0^4 g(t)dt$ est une intégrale divergente
 (B) $\int_0^4 g(t)dt = 0$
 (C) $\int_0^2 g(t)dt = 4 \int_0^3 \sin u du$
 (D) $\int_0^2 g(t)dt = 4 - 2\sqrt{3}$
 (E) $\int_0^4 g(t)dt$

La sortie RCO n'évolue pas de façon synchrone mais est liée de manière directe aux entrées ENT. (U/B) jet à Q₀, Q₁, Q₂, Q₃ par l'expression combinatoire suivante :

$$RCO = ENT \left[(U/B) Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, + (U/B) Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 \right]$$

On considère les quatre compteurs suivants. On suppose que pour chacun des compteurs on part de l'état initial Q₃Q₂Q₁Q₀ = 0010

(A) La famille $(i, j - k, j + k)$ est liée.
 (B) La matrice de f dans la base $(\bar{i}, \bar{j} - \bar{k}, \bar{j} + \bar{k})$ est $\begin{pmatrix} 1 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
 (C) La matrice de f dans la base $(\bar{i}, \bar{j} - \bar{k}, \bar{j} + \bar{k})$ est $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
 (D) Pour tout entier naturel non nul n, $A^n = I + nB + \frac{n(n-1)}{2} B^2$
 (E) $A^n = \begin{pmatrix} 1 & -200 & -200 \\ 0 & -9 & -10 \\ 0 & 10 & 11 \end{pmatrix}$

On se propose de trouver quelques propriétés de la courbe c' dont la représentation dans un repère du plan est :

$$\begin{cases} x(t) = \frac{1+t^2}{1-t^2} \\ y(t) = \frac{1-t^2}{1+t^2} \end{cases}, \text{ avec } t \text{ réel.}$$

On considère trois points du plan A, B, S **non alignés**. On suppose que A est d'abscisse -1, B d'abscisse +1, et l'on note $s = u + iv$ l'abscisse de S. Ainsi $v \neq 0$. On note C le cercle circonscrit au triangle (A, B, S), Ω son centre et ω l'abscisse de Ω . F est le point où la droite orthogonale à (AB) issue de S recoupe C , et H le symétrique de F par rapport à la droite (AB).

La matrice d'inertie de S_1 au point O dans la base $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ est :

$$I_{S_1} = \begin{pmatrix} 4m_1 h^2/3 & 0 & 0 \\ 0 & 4m_1 h^2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 2m_1 R^2/5 \end{pmatrix}$$

L'intégrale $\int_0^1 f(t)dt$ est convergente

$$\int_0^1 f(t)dt = \int_0^1 \frac{x^4}{x^4 - 16} dx$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{x^4}{x^4 - 16} \right) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{2}{x^2 - 4} - \frac{2}{x^2 + 4} \right)$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{x^4}{x^4 - 16} \right) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{2}{2(x+2)} + \frac{1}{2(x-2)} \right) = \frac{1}{4} \left(x + 4 \right)$$

$$\int_0^1 f(t)dt = 2 - \ln 3 - 2 \operatorname{Arctan} \frac{1}{2}$$


Table des matières

La scolarité à l'ENSMM.....	3
PROGRAMME DE PREMIERE ANNEE	4
• 1 ^{ère} année : Semestre BLEU	5
• 1 ^{ère} année : Semestre JAUNE.....	10
PROGRAMME DE DEUXIEME ANNEE.....	16
• 2 ^{ème} année : Tronc commun	17
• 2 ^{ème} année : Parcours Ingénierie des Systèmes	19
• 2 ^{ème} année : Parcours Ingénierie des Produits.....	23
PROGRAMME DE TROISIEME ANNEE	28
• 3 ^{ème} année : Tronc commun (UEOTC)	29
• 3 ^{ème} année : Projet Interdisciplinaire en Sciences et Techniques (UEOPIST) ..	32
• 3 ^{ème} année : Bio microsystemes (UEOBMS).....	34
• 3 ^{ème} année : Conception et réalisation d'objets connectés (UEOCROC)	40
• 3 ^{ème} année : Ingénierie Micromécanique (UEOIMM)	43
• 3 ^{ème} année : Ingénierie de l'innovation (UEOINNOV)	47
• 3 ^{ème} année : Ingénierie des systèmes de production (UEOISP)	62
• 3 ^{ème} année : Mécanique avancée des structures (UEOMAS)	66
• 3 ^{ème} année : Méthodes d'industrialisation (UEOMIND)	71
• 3 ^{ème} année : Matériaux et surfaces fonctionnels (UEOMSF)	76
• 3 ^{ème} année : Systèmes mécatroniques et robotiques (UEOSMR).....	82

La scolarité à l'ENSM

1^{ère} année : Semestre 1 et Semestre 2

- 2 semestres académiques **BLEU** (30ECTS) et **JAUNE** (30 ECTS)

La promotion est séparée en deux :

½ fait BLEU (S1) puis JAUNE (S2) ½ fait JAUNE (S1) puis BLEU (S2)

2^{ème} année : Semestre 3 et Semestre 4

- 1 semestre académique **VERT** composé de :

- 1 Tronc commun (5 ECTS)
- 1 parcours au choix :
 - parcours Ingénierie des Produits (25 ECTS)
 - parcours Ingénierie des Systèmes (25 ECTS)

- 1 semestre STAGE : Stage d'immersion en entreprise

La promotion est séparée en deux :

½ fait VERT (S3) puis STAGE (S4) ½ fait STAGE (S3) puis VERT (S4)

3^{ème} année : Semestre 5 et Semestre 6

- 1 semestre académique **OPTION** (30 ECTS) composé de

- 2 modules TRONC COMMUN (8 ECTS)
- 1 module PROJET (6 ECTS)
- 4 modules SPECIFIQUES (16 ECTS) (9 options possibles)
 - BMS - Bio-Microsystèmes
 - CROC - Conception et réalisation d'objets connectés
 - IMM - Ingénierie MicroMécanique
 - INNOV - Ingénierie de l'innovation
 - ISP - Ingénierie des systèmes de production
 - MAS - Mécanique avancée des structures
 - MIND - Méthodes d'industrialisation
 - MSF - Matériaux et surfaces fonctionnels
 - SMR - Systèmes mécatroniques et robotiques

- 1 semestre PFE : Projet de Fin d'Etudes en entreprise

L'ensemble de la promotion fait OPTION (S5) puis PFE (S6)

PROGRAMME DE PREMIERE ANNEE

			Total	CM	TD	TP	AA	ECTS
BLEU	UEB1	SHS1	26	0	26	0	0	2
		LV1	60	0	60	0	0	3
	UEB2	MATH1	46	10	36	0	0	3
		TS1	30	16	14	0	0	2
	UEB3	MMC1	44	10	22	12	0	3
		MMC2	30	6	12	12	0	2
	UEB4	FAB1	75	26	6	40	3	5
		PROD1	30	12	18	0	0	2
JAUNE	UEB5	AUT1	60	10	26	24	0	4
		INFO1	60	4	28	28	0	4
	TOTAL		461	94 20%	248 54%	116 25%	3 1%	30
	UEJ1	SHS2	26	0	26	0	0	2
		LV2	60	0	60	0	0	3
	UEJ2	CM1	90	0	82	8	0	6
		SDM1	90	28	34	24	4	6
	UEJ3	MATH2	46	10	24	12	0	3
		DYN1	46	10	28	8	0	3
	UEJ4	OPT1	44	18	14	12	0	3
		ELEC1	60	16	20	24	0	4
	TOTAL		462	82 18%	288 62%	88 18%	4 2%	30
			923	176 19%	536 58%	204 22%	7 1%	60

1^{ère} année : Semestre BLEU

461 heures d'enseignement, 30 ECTS, 5 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEB1 : SHS1 + LV1	Jean du VERGER	86	5
UEB2 : MATH1 + TS1		76	5
UEB3 : MMC1 + MMC2	Violaine GUICHERET-RETEL	74	5
UEB4 : FAB1 + PROD1	Christophe DIELEMANS	105	7
UEB5 : AUT1 + INFO1	Yann LE GORREC	120	8

AUT1 : AUTOMATIQUE (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Y. LE GORREC	60	10	26	24	0	0	4

Mode d'évaluation : Contrôle continu (1/4), TP (1/4), Examen final (1/2)

Détail du programme :

- Rappels d'automatique continue: signaux et systèmes, transformée de Laplace, fonctions de transfert (en particulier du 1er et du 2e ordre), réponse temporelle, analyse fréquentielle, stabilité, précision, principes de rétroaction et synthèse de lois de commande dans le domaine fréquentiel.
- Automatique échantillonnée : échantillonnage, convertisseurs numérique-analogique, analogique-numérique, bases de traitement du signal, choix de la période d'échantillonnage, transformée en z, bloqueurs d'ordre 0, fonction de transfert en z, analyse de stabilité, synthèse de correcteurs par des approches polynomiales (Réponse pile, Zdan, RST)

FAB1 : FABRICATION (75h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
C. DIELEMANS	75	26	6	40	3	0	5

Mode d'évaluation : TP (40%) + examen final (60%)

Détail du programme :

Ce module se construit autour de 3 axes :

- Langage de cotation : étude de la norme GPS (spécification géométrique des produits) dans ses aspects de spécifications : dimensionnelle, géométrique, de forme et d'états de surface.

- Procédés de fabrication : cette partie introduit les différentes familles de procédés (Ablation, Réplication, Addition et Jonction) et met en œuvre les principaux procédés (fraisage, tournage, injection plastique, fabrication rapide) afin d'en comprendre les spécificités technologiques et les limites.
- Métrologie et qualité : analyse et mise en pratique de différents aspects associés à la métrologie et à la qualité : calculs d'incertitudes, plan d'expériences, bases de la qualité et contrôle de pièces mécaniques (géométrie et états de surface).

PROD1 : GESTION DE PRODUCTION (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. GOURIVEAU	30	12	18	0	0	0	2

Mode d'évaluation : 1 examen final

Détail du programme :

L'objectif de ce module est de situer globalement l'activité de production au sein de l'entreprise, d'en connaître les missions et objectifs, de percevoir les interactions et dépendances avec les autres services, et de comprendre la nécessité de communication / synchronisation, principalement avec les services supports (Méthodes, Maintenance, Achats/Appros, Qualité, RH). Les étudiants sont initiés à quelques techniques, méthodes et outils (tant organisationnels que techniques et informatiques) nécessaires à une gestion efficace et pérenne de l'activité productrice, et cela, à différents horizons décisionnels (du long terme – stratégique, au court terme – opérationnel). L'importance d'une gestion cohérente des données, informations et connaissances de l'entreprise est également développée.

- Généralités sur la gestion de production (concepts, enjeux, flux...)
- Niveaux décisionnels et techniques de gestion (MRP / MRP II)
- Modèles de gestion des stocks et de prévisions
- Implantation d'atelier
- Eléments d'ordonnancement

INFO1 : INTRODUCTION A LA PROGRAMMATION ORIENTEE OBJET (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J.M. NICOD	60	4	28	28	0	0	4

Mode d'évaluation :

L'évaluation comporte trois notes obtenues respectivement suite à :

- Un partiel à mi-parcours,
- Un examen terminal,
- Un projet

Détail du programme :

Prérequis : algorithmique, fonctions, procédures, récursivité, complexité (cf. programme des classes préparatoires)

Description :

La programmation orientée objet (POO) est utilisée dans plus de 75% des développements informatiques. Ce module propose une introduction à la POO en langage Java. La première moitié du module est consacrée à l'acquisition des compétences de base (objets, classes, tableaux, listes, fichiers). Chaque notion est abordée en TD puis appliquée en TP. La deuxième partie est consacrée à la réalisation d'un projet en binôme. Le projet est l'occasion d'aborder des notions de programmation plus avancées en fonction du sujet (comme les parcours de graphes, les piles/files, la récursivité, les arbres, ou d'autres structures de donnée et algorithmes) et de réaliser une interface graphique. Le projet a pour objectif de développer des compétences d'analyse, de conception, de codage et de tests d'un logiciel concret.

Compétences visées à l'issu du module :

- Compétences de bases : utiliser les objets, définir une classe, utiliser des structures de données séquentielles et écrire les algorithmes de traitement associés, structurer des données du type liste/élément, lire et écrire des données dans des fichiers textes, créer une interface graphique élémentaire avec Swing.
- Compétences de gestion de projet : analyser un problème, concevoir les algorithmes et les structures de données permettant sa résolution, coder proprement un logiciel, tester un logiciel, rendre compte de son travail à l'oral ou à l'écrit.

Programme :

- Notion de bases (4h cours, 14h TD, 4h TDAO, 14h TP)
 - o Introduction, enjeux et principes de la POO (4h cours)
 - o Objets et références (2h TD, 2h TP)
 - o Classes (4h TD, 4h TP)
 - o Tableaux et algorithmes de traitement associés (4h TD, 4h TP)
 - o Classe ArrayList et structuration liste/élément (4h TD, 4h TP)
 - o Lecture et écriture de données dans des fichiers textes (4h TDAO)
- Projet (6h TD, 4h TDAO, 14h TP)
 - o Présentation et analyse du projet, conception des premières classes (2h TD, 6h TD)
 - o Algorithmique en relation avec le projet (4h TD, 4h TP)
 - o Interface graphique (4h TDAO, 4h TP)

LV1 : LANGUES VIVANTES (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. KUHN	60	0	60	0	0	0	3

Langue Vivante 1 : Anglais (30h)

Mode d'évaluation :

Les élèves sont évalués sur leur compétence orale et écrite. Ils devront effectuer 2 LINGUASKILL blancs, une présentation orale/entretien d'embauche ainsi qu'un travail écrit (*Essay*) dans le cadre de l'acquisition des compétences culturelles du monde anglophone. L'évaluation tiendra aussi compte de l'assiduité de l'élève ainsi que de son implication pendant le cours.

Détail du programme :

Le cours se propose d'initier les élèves à l'anglais pour ingénieurs et à l'anglais des affaires. En outre le cours d'anglais constitue une préparation au LINGUASKILL auquel est assujettie la délivrance du diplôme d'ingénieur. Il s'agira aussi de familiariser nos élèves avec le vocabulaire scientifique à travers la lecture d'articles provenant de revues scientifiques (*New Scientist, Nature...*) et de les initier à l'anglais pour ingénieurs (*mechanical engineering, computers in engineering, engineering and sustainability, horology, aeronautics, the automotive industry...*).

Toujours dans un souci de pré-professionnalisation, le cours prépare les élèves à la rédaction de CV, de lettres de motivation ainsi qu'à la conduite d'un entretien d'embauche en anglais. Il prépare également les élèves à présenter un produit technologique (*product demo*). Le cours a pour objectif l'acquisition des compétences culturelles du monde anglophone (à travers notamment l'étude de sujets d'actualités et/ou culturels). Ces connaissances contribueront à ce que nos élèves s'ouvrent à une diversité de cultures afin de consolider et développer les outils d'une compréhension inter-culturelle indispensable dans le cadre d'un environnement international. Enfin la préparation au LINGUASKILL permet à nos élèves de se familiariser avec les techniques et le vocabulaire propres à cette certification tout en révisant et consolidant leurs connaissances grammaticales de l'anglais. Afin d'améliorer l'expression orale des élèves le cours propose également une introduction aux techniques du *debating*.

Langue Vivante 2 : Anglais renforcé, allemand, espagnol et japonais (30h)

Mode d'évaluation :

Les cours d'allemand et d'espagnol constituent une préparation au Goethe Test Pro. **Les élèves sont soumis à plusieurs évaluations au cours du semestre** (le nombre et les modalités de ces évaluations varient selon les langues enseignées). Le cours d'anglais renforcé propose une préparation intensive au LINGUASKILL.

MATH1 : MATHEMATIQUES (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
G. NAMAHA	46	10	36	0	0	0	3

Mode d'évaluation : 2 examens avec une moyenne globale pondérée au prorata des heures de chaque sous module

Détail du programme :

- Analyse Statistique des Données (ASD) : Cours 6h, TD 18h
 - Notions de statistiques descriptives : moyenne, écart-type, séries doubles, méthode des moindres carrés.
 - Rappels de probabilités : lois usuelles (binomiale, Gauss, Poisson, Khi-deux) Détail du programme.
 - Statistiques inférentielles : échantillonnage et estimations, tests d'hypothèses.
 - Introduction à la méthode des plans d'expérience.
 - Introduction à la fiabilité (test de Weibull).
- Calcul Matriciel et Vectoriel (CMV) : Cours 4h, TD 18h
 - Calcul Matriciel : Opérations matricielles, déterminants, éléments propres, changement de base. Matrices particulières (symétriques, antisymétriques, définies positives, hermitiennes). Exemples de matrices associées à une transformation géométrique (rotation, symétrie, projection). Polynômes de matrices, notions d'exponentielle de matrices.

- Calcul Vectoriel : Opérations élémentaires (produits scalaire, vectoriel, mixte, tensoriel). Systèmes de coordonnées (cartésiennes, cylindriques, sphériques). Opérateurs différentiels (gradient, rotationnel, divergence, Laplacien). Intégration des formes différentielles. Intégrales multiples, curvilignes, de surface et théorèmes intégraux (Gauss-Ostrogradski, Green, Stokes)

MMC1 : MECANIQUE DES MILIEUX CONTINUS 1 (CONTINUUM MECHANICS 1) (44h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
V. GUICHERET S. THIBAUD	44	10	22	12	0	0	3

Mode d'évaluation : 2 partiels + évaluation TD/TP

Détail du programme :

Élasticité tridimensionnelle : Concepts de contrainte, déformation, déplacement - Équations fondamentales : équilibre, compatibilité - Lois de comportement élastique (isotrope) - Critères de limite élastique – Conditions aux limites – Simulation numérique (Méthode des Éléments Finis) – Méthodes expérimentales : Stéréo-corrélation d'images, extensométrie, ultrasons.

MMC2 : MECANIQUE DES MILIEUX CONTINUS 2 (CONTINUUM MECHANICS 2) (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
V. GUICHERET S. THIBAUD	30	6	12	12	0	0	2

Mode d'évaluation : 1 partiel + évaluation TD/TP

Détail du programme :

Statique et dynamique des poutres : Modèle analytique de structures rectilignes sollicitées en traction, torsion et flexion (Hypothèse de Bernoulli et Timoshenko) – Simulation numérique en statique et dynamique – Introduction au flambage

SHS1 : (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
N. BILLOT	26	0	26	0	0	0	2

Mode d'évaluation :

- 1 partiel de fin de semestre

-Projet : 1^{er} et 2^{ème} semestre : écrit et/ou oral

Détail du programme :

- Droit
 - Qu'est-ce qu'une personne pour le droit ?
 - Les principales formes juridiques des organisations.
- Gestion financière
 - Savoir lire un bilan et un compte de résultat : les documents comptables et leur finalité.
 - Performance et équilibre financier de l'entreprise au travers de l'analyse du bilan et du compte de résultat (bilan fonctionnel et S.I.G.)

TS1 : TRAITEMENT DU SIGNAL (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GALLIOU	30	16	14	0	0	0	2

Mode d'évaluation : 1 QCM (50%) + {1 examen d'application des TDs + 1 note TD LabVIEW} (50%)

Détail du programme :

- CM (8x2h) : Caractérisation des signaux déterministes - Énergie et puissance des signaux analogiques - corrélation et densité spectrale - Signaux aléatoires et bruit - Opérations sur les signaux - introduction au traitement numérique.
- TD (5 x2h + 2x2h) : Applications notamment à la mécanique vibratoire, la métrologie, l'automatique, l'électronique, avec utilisation des outils Matlab et LabVIEW en particulier.

1^{ère} année : Semestre JAUNE

462 heures d'enseignement, 30 ECTS, 4 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEJ1 : SHS2 + LV2	Jean du VERGER	86	5
UEJ2 : CM1 + SDM1	Eric MERAT	180	12
UEJ3 : MATH2 + DYN1	Sylvaine MALLET	92	6
UEJ4 : OPT1 + ELEC1	Serge GALLIOU	104	7

OPT1 : OPTIQUE (44h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
B. CAVALLIER	44	18	14	12	0	0	3

Mode d'évaluation : 2 partiels

Détail du programme :

- Instruments optiques
- Optique matricielle
- Polarisation
- Lasers
- Détection

SDM1 : MATERIAUX (90h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. BERCOT J. GAVOILLE	90	28	34	24	4	0	6

Mode d'évaluation : 3 partiels (2/3 de la note finale) + compte-rendu de TP (1/3 de la note finale)

Détail du programme :

- Structure des matériaux cristallins
 - o Contenu horaire : 12h Cours + 12h TD + 8h TP
 - o Cours et TD : Cristallographie, Techniques de caractérisation structurale, Liaisons interatomiques, Elasticité, Défauts dans les cristaux, Plasticité, Diffusion.
 - o TP : 2 sujets à traiter parmi les 3 suivants : Recristallisation de l'aluminium, Diffraction des RX, Diffusion dans les alliages de cuivre
- Métallurgie physique
 - o Contenu horaire : 8h Cours + 10h TD + 8h TP + 2h en auto-apprentissage
 - o Cours et TD : Métallurgie des aciers et des alliages d'aluminium, Traitements thermiques, Diagrammes de phase, TTT et TRC.
 - o TP : 2 sujets à traiter parmi les 4 suivants : Trempe des aciers, Essai Jominy, Métallographie, Durcissement structural.
- Matériaux céramiques
 - o Contenu horaire : 4h TD
- Matériaux polymères
 - o Contenu horaire : 8h Cours + 8h TD + 8h TP + 2h en auto-apprentissage
 - o Cours et TD : Matériaux polymères : microstructures, propriétés et comportements.
 - o TP : 2 sujets à traiter parmi les 3 suivants : Identification et comportement mécanique des thermoplastiques, Température Vicat et viscoélasticité, Cristallisation *in situ* et indice de fluidité.

CM1 : CONCEPTION (90h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
E. MERAT	90	0	82	8	0	0	6

Mode d'évaluation :

Evaluation basée sur une grille de compétences :

- en continu pendant les séances de TD/TP
- par projets
- par un examen final.

Objectif : Ce module de 1^{ère} année a pour objectif de former aux méthodes d'analyse de systèmes mécaniques complexes puis d'initier aux méthodes de conception en s'appuyant sur des systèmes simples. L'enseignement est organisé sous forme de synthèses, d'application à des études de cas industriels et sous forme de projets

Détail du programme :

- Prise en main d'un outil de CAO : Modélisation géométrique 3D des composants, assemblage des composants, édition des documents techniques ;
- Analyse et modélisation de systèmes simples : Schéma de principe, cinématique et technologique, schéma Bloc (action-flux), hyperstatisme ;
- Analyse de systèmes réels : Démontage, analyse et remontage de systèmes en TP ;
- Analyse et modélisation de systèmes complexes ;
- Initiation à la cotation fonctionnelle : Elaboration du dessin de définition d'une pièce ;
- Bases et méthodes de conception d'un système : analyse du besoin, approche systémique, dimensionnement d'une transmission de puissance, définition de liaisons complètes et de guidages simples. Maquettes numériques du système.
- Initiation à la gestion au PLM

DYN1 : DYNAMIQUE DES MECANISMES (MULTIBODY DYNAMICS) (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. OUISSE S. MALLET H. LENOIR	46	10	28	8	0	0	3

Mode d'évaluation : 2 partiels + évaluation TD/TP

Détail du programme :

Cinématique et dynamique des mécanismes : Cinématique des solides - Équations de liaison des mécanismes - Géométrie des masses – Cinétique - Dynamique des solides - Simulations numériques en dynamique des mécanismes.

ELEC1 : ELECTRONIQUE (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GALLIOU Y. KERSALE	60	16	20	24	0	0	4

Mode d'évaluation : 1 Partiel ; 1 Examen Final ; 1 examen de TP (3 * 1/3 de la note finale)

Détail du programme :

Simulation des circuits électroniques (SPICE). Amplificateurs opérationnels. Génération de signaux. Composants semi-conducteurs. Applications de base des composants semi-conducteurs. Logiques combinatoire et séquentielle. Conversions analogique/numérique et numérique/analogique.

LV2 : LANGUES VIVANTES (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J. DU VERGER	60	0	60	0	0	0	3

Langue Vivante 1 : Anglais (30h)

Mode d'évaluation :

Les élèves sont évalués sur leur compétence orale et écrite. Ils devront effectuer 2 BULATS blancs, une présentation orale/entretien d'embauche ainsi qu'un travail écrit (*Essay*) dans le cadre de l'acquisition des compétences culturelles du monde anglophone. L'évaluation tiendra aussi compte de l'assiduité de l'élève ainsi que de son implication pendant le cours.

Détail du programme :

Le cours se propose d'initier les élèves à l'anglais pour ingénieurs et à l'anglais des affaires. En outre le cours d'anglais constitue une préparation au BULATS auquel est assujettie la délivrance du diplôme d'ingénieur. Il s'agira aussi de familiariser nos élèves avec le vocabulaire scientifique à travers la lecture d'articles provenant de revues scientifiques (*New Scientist, Nature...*) et de les initier à l'anglais pour ingénieurs (*mechanical engineering, computers in engineering, engineering and sustainability, horology, aeronautics, the automotive industry...*).

Toujours dans un souci de pré-professionnalisation, le cours prépare les élèves à la rédaction de CV, de lettres de motivation ainsi qu'à la conduite d'un entretien d'embauche en anglais. Il prépare également les élèves à présenter un produit technologique (*product demo*). Le cours a pour objectif l'acquisition des compétences culturelles du monde anglophone (à travers notamment l'étude de sujets d'actualités et/ou culturels). Ces connaissances contribueront à ce que nos élèves s'ouvrent à une diversité de cultures afin de consolider et développer les outils d'une compréhension inter-culturelle indispensable dans le cadre d'un environnement international. Enfin la préparation au BULATS permet à nos élèves de se familiariser avec les techniques et le vocabulaire propres à cette certification tout en révisant et consolidant leurs connaissances grammaticales de l'anglais. Afin d'améliorer l'expression orale des élèves le cours propose également une introduction aux techniques du *debating*.

Langue Vivante 2 : Anglais renforcé, allemand, espagnol et japonais (30h)

Mode d'évaluation :

Les cours d'allemand et d'espagnol constituent une préparation au Goethe Test Pro. **Les élèves sont soumis à plusieurs évaluations au cours du semestre** (le nombre et les modalités de ces évaluations varient selon les langues enseignées). Le cours d'anglais renforcé propose une préparation intensive au Goethe Test Pro.

MATH2 : MATHEMATIQUES (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. BARRERE	46	10	24	12	0	0	3

Mode d'évaluation : Contrôles(s) écrit(s) (2/3) + rapport de travaux pratiques (1/3)

Détail du programme :

- Calcul des variations et optimisation (Cours: 4h, TD: 6h) : cas des fonctions de plusieurs variables, problèmes sans ou avec contraintes d'égalité ; cas des fonctionnelles, problèmes sans ou avec contraintes.
- Transformations et distributions (Cours : 6h, TD : 12h) : définitions et exemples de distributions ; opérations type translation, dérivation et convolution ; séries et transformation de Fourier, transformation de Laplace.
- Modélisation mathématique et calcul scientifique avec Mathematica (TD: 6h, TP: 12h) : initiation au logiciel de manipulations symboliques Mathematica en TD sur machine avec illustrations de cours ; les travaux pratiques, orientés modélisation et calcul avec le logiciel Mathematica, se déroulent en mode projets encadrés à la façon des TPE ou TIPE, en petits groupes (3 recommandé) sur des sujets individualisés, avec à l'issue un rapport à remettre ; liste des sujets accessible en ligne sur Moodle ou sur le site: <http://macmaths.ens2m.fr/students>

SHS2 : (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. PIERLOT	26	0	26	0	0	0	2

Mode d'évaluation :

Evaluation du travail de groupe : écrit (dossier) et oral

Projet : 1^{er} semestre : écrit + oral

2^{ème} semestre : évaluation du travail réalisé à partir d'une grille multicritères

Détail du programme :

- Communication (S.PIERLOT)
 - o La communication en milieu professionnel
 - o Approche comportementale « Attractive Learning »
 - o Le projet personnel
 - o Etude sectorielle

- Le PPP
- Les outils de la recherche
- Les principaux métiers à la sortie de l'ENSM. Les stages

PROGRAMME DE DEUXIEME ANNEE

			Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
TRONC COMMUN	UEV1	SHS3	30	0	28	0	2	0	2
		LV3	60	0	60	0	0	0	3
	TOTAL		90	0 0%	88 98%	0 0%	2 2%	0 0%	5
INGENIERIE DES SYSTEMES	UES1	SDM2	16	12	0	4	0	0	1
		OPT3	16	8	4	4	0	0	1
		MATH4	46	14	32	0	0	0	3
		INFO2	30	8	0	22	0	0	2
	UES2	CM3	60	0	60	0	0	0	4
		AUT2	90	22	16	52	0	0	6
	UES3	FAB2	100	38	26	32	0	4	6
		μTECH1	20	8	4	8	0	0	2
	TOTAL		378	110 29%	142 38%	122 32%	0 0%	4 1%	25
INGENIERIE DES PRODUITS	UEP1	SDM3	46	16	14	16	0	0	3
		OPT2	16	8	4	4	0	0	1
		MATH3	46	4	42	0	0	0	3
	UEP2	CM2	60	0	60	0	0	0	4
		ELEC2	70	12	42	16	0	0	4
		μTECH2	20	8	4	8	0	0	2
	UEP3	CDS	60	4	32	24	0	0	4
		DYN2	60	14	26	20	0	0	4
	TOTAL		376	64 17 %	224 60 %	88 23 %	0 0%	0 0%	25
			844	174 21%	454 54%	210 25%	2 0%	4 0%	60

2^{ème} année : Tronc commun

90 heures d'enseignement, 5 ECTS, 1 unité d'enseignement

Unité d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEV1 : SHS3 + LV3		90	5

SHS3 : ERGONOMIE ET PHYSIOLOGIE (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. GRAILHE	30	0	28	0	2	0	2

Mode d'évaluation : Projet + Examen (2h)

Détail du programme :

Fonctionnement du corps en mouvement (monde professionnel et de loisirs/sport)

Rappel des principes de fonctionnement du corps humain (cardio-respiratoire, neurologique), de l'anatomie (arthrologie, myologie) et de la physiologie de l'effort. Les fondamentaux de la biomécanique et de l'analyse du mouvement humain (plans, axes et mouvements, anthropométrie, ergonomie) sont abordés d'un point de vue théorique et renforcés par le travail sous forme de projets et d'auto-apprentissage. Sont également étudiés les principes fondamentaux de la mécanique appliqués à l'expression de la force, souplesse et résistance du système musculaire et ostéo-tendineux. Enfin, le cours relatif à la diététique-nutrition permettra d'optimiser le mouvement de l'homme (quotidien ou sportif). Pour finir, les effets du stress professionnel (physique et psychologique) et l'analyse/évaluation/prévention des risques professionnels seront des thèmes abordés pour la compréhension des interactions de l'homme (physiologie, anatomie, cognition) au travail/loisir/sport.

LV3 : LANGUES VIVANTES (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J. DU VERGER	60	0	60	0	0	0	3

Langue Vivante 1 : Anglais (30h)

Mode d'évaluation :

Les élèves sont évalués sur leur compétence orale et écrite. L'évaluation tiendra aussi compte de l'assiduité de l'élève ainsi que de son implication pendant le cours (pair work, debating, etc.)

(« Assessment Test » (questions de cours) + Projet + note d'oral)

Détail du programme :

Le cours se propose de consolider et développer les outils linguistiques qui permettront aux élèves de poursuivre l'ouverture culturelle sur le monde anglophone et d'aborder l'international, à travers l'étude de sujets d'actualités et/ou culturels.

Il s'agira également de renforcer la compréhension écrite et orale ainsi que l'expression écrite et orale des élèves amorcée en première année, toujours dans le contexte d'une pédagogie de projet (présentation orale en fin de semestre).

Le cours constitue enfin un approfondissement de la langue et du vocabulaire technique de l'ingénieur par l'étude de différents textes scientifiques mais aussi en lien avec l'anglais des affaires dans le cadre de la préparation au BULATS.

Langue Vivante 2 : Anglais renforcé, allemand, espagnol et japonais (30h)

Mode d'évaluation et programme :

Les cours d'allemand et d'espagnol constituent une préparation au BULATS. Les élèves sont soumis à plusieurs évaluations au cours du semestre (le nombre et les modalités de ces évaluations varient selon les langues enseignées)

Le cours d'anglais renforcé propose quant à lui une préparation intensive au BULATS (grammaire, vocabulaire et compréhension orale). L'élève devra effectuer 2 BULATS blancs ; il sera aussi tenu compte de son assiduité ainsi que de son implication pendant le cours (note d'oral).

2^{ème} année : Parcours Ingénierie des Systèmes

375 heures d'enseignement, 25 ECTS, 3 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UES1 : SDM2 + OPT3 + MATH4 + INFO2		108	7
UES2 : CM3 + AUT2		150	10
UES3 : FAB2 + μ TECH1		120	8

AUT2: AUTOMATIQUE (90h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Y. LE GORREC	90	22	16	52	0	0	6

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

- Automatique avancée
 - o Contenu horaire : Cours 8h, TD 12h, TP 12h
 - o Description : représentation d'état, commande par retour d'état, observateurs de Luenberger
- Commande par microcontrôleur
 - o Contenu horaire : Cours 6h, TD 4h, TP 24h
 - o Description :
- Optimisation des systèmes
 - o Contenu horaire : Cours 8h, TP 16h
 - o Description : optimisation pour la modélisation et la commande des systèmes dynamiques et la robotique, optimisation non linéaire sans contrainte et sous contraintes, optimisation multiobjectif pour l'identification de modèles, de dimensionnement de structures, l'étalonnage et le réglage optimal de correcteurs

CM3 : ECO-CONCEPTION MECANIQUE (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. FONTAINE	60	0	60	0	0	0	4

Mode d'évaluation : Evaluation basée sur une grille de compétences :

- En continu pendant les séances de TD
- Par projet à partir de plusieurs livrables en cours de semestre

Objectif : Ce module de 2^{ème} année a pour objectif de former à la démarche d'écoconception d'un système mécanique : du besoin à l'avant-projet, en mettant en avant le respect de l'environnement et la robustesse du système conçu. L'enseignement s'appuie sur un projet d'apprentissage pour aborder toutes les compétences nécessaires à la mise en œuvre d'une telle démarche.

Détail du programme :

- Analyse du besoin et des contraintes techniques et environnementales
- Rédaction du cahier des charges fonctionnel
- Recherche de solutions par approche systémique
- Choix d'une solution après simulation et optimisation numérique (outil CAO et notion de squelette)
- Dimensionnement des liaisons
- Définition de pièces témoins sélectionnées par l'enseignant :
 - o Optimisation en fonction des contraintes mécaniques
 - o Optimisation en fonction de critères environnementaux
 - o Optimisation en fonction de son obtention en lien avec les modules Fabrication (FAB2)
 - o Cotation et mise en plan
- Gestion de la maquette numérique via un outil de Product Life Management (PLM).

FAB2 : FABRICATION MECANIQUE ET METROLOGIE (92h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
C. DIELEMANS	100	38	26	32	0	4	6

Mode d'évaluation : voir détail du programme

Détail du programme :

- Méthodes de fabrication mécanique
 - o *Programme* : (22h C, 20h TD, 20h TP)
 - o Evaluation : partiel (70%) + TP ou projet (30%)
 - o Contenu : Méthodes de fabrication : conception de l'avant-projet du processus de fabrication d'un produit micromécanique. Cotation de fabrication et maîtrise statistique des procédés. Simulation d'usinage, modélisation et FAO. Introduction à la conception des outillages (moule d'injection et outils à suivre pour le découpage- pliage et emboutissage).
- Métrologie et qualité
 - o *Programme* : (16h C, 6h TD, 12h TP, conférence 4h)
 - o Evaluation : partiel (70%) + TP ou projet (30%)
 - o Contenu pour la métrologie : Calculs d'incertitudes et métrologie pour la micromécanique : Caractérisation des processus de métrologie sans contact et maîtrise des modes opératoires. Etudes des normes spécifiques et applications à la mesure d'états de surface et à la spécification géométriques des produits.
 - o Conférence : déploiement de la qualité en production pour un objectif de 0 ppm – Damien Chardaire – Sonceboz SA
 - o Plans d'expériences : plans d'expériences fractionnaires et méthode Taguchi.

INFO2 : DEVELOPPEMENT LOGICIEL AVEC SCRUM (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
G. LAURENT	30	8	0	22	0	0	2

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

Ce module aborde la gestion de projets informatiques à l'aide la méthode SCRUM. Il est organisé autour d'un projet commun réalisé en équipe. Chaque étudiant doit choisir un rôle dans l'équipe projet. Il est entendu que les étudiants ne développent pas les mêmes compétences en fonction de leur rôle, d'où un mode d'évaluation spécifique.

Le projet a pour objectif de développer une application connectée type client-serveur et sera réalisé principalement en Java et SQL sur différents systèmes (PC, android). Les nouvelles notions abordées en POO (héritage, interface, polymorphisme) sont dans la continuité du module INFO1 de première année (prérequis). L'utilisation des bases de données est également au programme du module.

Constitution de l'équipe projet :

- scrum master
- product owner
- infographiste
- développeurs clients PC
- développeurs clients android
- développeurs clients Access ?

MATH4 : RESOLUTION DE SYTEMES ALGEBRIQUES (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
G. NAMAHA N. ALIBAUD	46	14	32	0	0	0	3

Mode d'évaluation : un partiel en Résolution des Systèmes + un contrôle sur Ordi en Approx des EDP + un partiel en EDP. La moyenne sera calculée au prorata des heures.

Détail du programme :

Résolution des systèmes algébriques et différentiels, linéaires et non linéaires : analytique et/ou numérique

- Analyse qualitative des EDP

Principales EDPs de la physique : chaleur, Laplace, transport, ondes ; quelques méthodes de résolution : Fourier, Laplace, Green, méthode des caractéristiques, analyse spectrale, analyse variationnelle.

- Analyse numérique et calcul scientifique

Principales méthodes d'approximation : différences finies, éléments finis, méthode spectrale, optimisation; introduction à l'analyse des schémas : consistance, précision, stabilité et convergence ; mise en œuvre avec Matlab.

OPT3 : OPTIQUE (16h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
B. CAVALLIER	16	8	4	4	0	0	1

Mode d'évaluation : 1 examen (2/3) + 1 TP (1/3)

Détail du programme :

Interaction lumière-matière ; applications des lasers : procédés de gravure, soudure, découpage, impression ; sécurité laser ; Vision ; photométrie ;

SDM2 : PROPRIETES PHYSIQUES DES MATERIAUX ET METHODOLOGIE DE CHOIX (16h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. DEVEL N. MARTIN	16	12	0	4	0	0	1

Mode d'évaluation : 1 partiel sur les deux parties du module

Détail du programme :

- Propriétés physiques des matériaux

Conduction électrique dans les métaux et les semi-conducteurs, effets thermoélectriques de base (Seebeck, Peltier, Thomson), description phénoménologique des lois de comportement simples ou couplées (capacité calorifique, élasticité, permittivité diélectrique, susceptibilité magnétique, dilatation thermique, effets piézoélectrique, etc.).

- Choix des matériaux

Méthode Ashby pour la sélection de matériaux : fonctions d'objectif et indices de performance. TP avec utilisation d'un logiciel spécialisé pour le choix de matériaux lors de la conception d'objets.

μTECH1 : MICROTECHNIQUES (20h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GAUTHIER	20	8	4	8	0	0	2

Mode d'évaluation :

Evaluation : partiel (2/3) + compte rendu de TP et ou QCM (1/3)

Objectif : Introduction aux technologies de salle blanche

Détail du programme :

- Cours : (S. Margueron - 4 H)

Introduction à la photo-lithographie - Limites de résolution et principaux procédés de résines photosensibles
- Méthodes de microfabrication collective, différentes photolithographies. Exemples de dispositifs. Notions sur l'usinage chimique des métaux, du silicium par voie humide, principes de la gravure plasma. Technique LIGA : photolithographie, dépôt galvanique, micromoulage, nano-impression. Classes d'empoussièrement et règles d'utilisation d'une salle blanche.

- Cours : (J-Y Rauch - 4 H)

Méthodes de dépôts de couches minces métalliques et diélectriques - Évaporation, pulvérisation cathodique et applications. Présentation de la physique du vide, le libre parcours moyen des particules sous vide, -gaz et espèces vapeurs métalliques-. Présentation des équipements destinées à faire des dépôts PVD/CVD. Mode d'installation, servitude, contrôle des procédés, pureté des gaz et qualité des dépôts. Principe de la pulvérisation, simple, diode, magnétron, effet du bias sputtering sur la densité, les contraintes, effet du magnétron sur l'homogénéité. Principe de l'évaporation, homogénéité et densité, indice optique des couches obtenues. Comparaison des propriétés de l'évaporation et la pulvérisation au niveau de la lithographie, lift on (gravure)/lift off. Présentation de la machine de dépôt de l'ENSMM, ses avantages, ses limites.

- TD (S. Gauthier - 4h) :

Réalisation des flow chart pour les TP et d'un masque personnel pour le procédé gravure directe plus visite salle blanche.

- TP salle blanche (S. Gauthier - 8h) :

Introduction à la photolithographie - Couches minces : enduction de résine par centrifugation - Photolithographie de contact simple face – Résines positives et inversibles - Résines épaisses - Dépôt et gravure de couches minces métalliques - Procédés de gravure directe et lift-off.

2^{ème} année : Parcours Ingénierie des Produits

375 heures d'enseignement, 25 ECTS, 3 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEP1 : SDM3 + OPT2 + MATH3		106	7
UEP2 : CM2 + ELEC2 + μ TECH2		150	10
UEP3 : CDS + DYN2		120	8

CDS : CALCUL DE STRUCTURES (Structural Mechanics) (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. THIBAUD	60	4	32	24	0	0	4

Mode d'évaluation : 2 partiels + évaluation TD/TP

Détail du programme : Méthode des éléments finis linéaires adaptée au calcul de structures

Formulation intégrale et méthodes variationnelles en mécanique des milieux continus - Méthode d'approximation et discrétisation des formes intégrales - Méthode des Éléments Finis - Calculs élémentaires et élément de référence - Éléments finis Solides - Éléments finis de plaque - Éléments finis structuraux (poutres et barres) - Méthodes numériques de résolutions - Contraintes cinématiques et contact - Instabilité structurales (flambage) - Éléments de modélisation et techniques d'assemblage - Elasticité isotrope et anisotrope.

CM2 : CONCEPTION MECANIQUE (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J.F. LANOY	60	0	60	0	0	0	4

Mode d'évaluation : Evaluation basée sur une grille de compétences :

- En continu pendant les séances de TD
- Par projet

Objectif : Ce module de 2^{ème} année a pour objectif de former à la démarche de conception : du besoin à l'avant-projet. L'enseignement s'appuie sur un projet d'apprentissage pour aborder toutes les compétences nécessaires à la mise en œuvre d'une telle démarche. L'acquisition de ces compétences sera évaluée en continu pendant les séances et à travers un projet personnel.

Détail du programme :

- Analyse du besoin et cahier des charges
- Recherche de solutions par approche systémique
- Choix d'une solution après simulation et optimisation numérique (outil CAO et notion de squelette)
- Dimensionnement des liaisons

- Définition des pièces :
 - Optimisation en fonction des contraintes mécaniques en lien avec les modules Mécanique (MECA3) et Electronique (ELEC2)
 - Optimisation en fonction de son obtention
 - Cotation
- Gestion de la maquette numérique par PLM

DYN2 : DYNAMIQUE DES STRUCTURES (Structural Dynamics) (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
E. FOLTETE M. OUISSE	60	14	26	20	0	0	4

Mode d'évaluation : 3 partiels + évaluation TD/TP

Détail du programme :

Oscillateur mécanique élémentaire (fréquence propre, réponse libre, réponse forcée, FRF)

Approche hamiltonienne (établissement d'une équation de mouvement)

Hypothèses cinématiques pour les vibrations de poutres

Vibrations longitudinales des poutres (ondes, modes, réponse libre)

Vibrations de flexion des poutres (ondes, modes, réponse libre)

Formalisme analytique général d'un problème de dynamique des structures

Introduction à l'analyse numérique en dynamique des structures (méthode de Ritz, éléments finis)

Formalisme algébrique en vibrations (modes, réponse libre, réponse forcée)

ELEC2 : ELECTRONIQUE (62h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J. IMBAUD	70	12	42	16	0	0	5

Mode d'évaluation :

La moyenne du module est faite au prorata des heures d'enseignement de chaque partie

Détail du programme :

Conversion d'énergie (10h) : N. Ratier

Objectif : Composants pour la conversion d'énergie

Programme : (4h C, 6h TD)

Cours : Hacheur, onduleur, redresseur

TD : Applications hacheur, onduleur, redresseur

Mode d'évaluation : 1 Examen

Dimensionnement moteurs (18h) J. Imbaud

Objectif : Choix et dimensionnement d'un moteur faible puissance (< 1kW)

Programme : (4h C, 6h TD, 8h TP)

Cours : Magnétisme, moteurs DC, asynchrone, synchrone
 TD : Magnétisme, dimensionnement de moteurs AC et DC
 TP : Moteur DC et Moteur Asynchrone triphasé
 Mode d'évaluation : 1 Examen + note TP

Conditionnement du signal (14h) : S. Galliou, Y. Kersalé

Objectif : A travers une étude de cas, appréhender la question du conditionnement du signal en fonction du rapport signal/bruit d'origine

Programme : (14h TD)

7 séances de 2h de TDs dont 3 séances orientées vers la simulation

L'exemple traité à travers les 7 séances de TD est une chaîne d'amplification du petit signal produit par un capteur résistif, avec comparaison de l'amplification simple et de l'amplification synchrone. Les différentes fonctions de cette chaîne sont justifiées et traitées précisément.

Mode d'évaluation : 2h d'examen

LabVIEW (28 h) : F. Sthal

Objectif : Concevoir et mettre en œuvre un système de mesures ou contrôle informatisé avec LabVIEW

Programme : (4h C, 16h TD, 8h TP)

Cours : Contexte de LabVIEW, base de l'instrumentation informatisée et préparation à la certification

TD : LabVIEW fondamentaux 1 et 2

TP : Acquisition de données (utilisation d'une carte multifonction 6024E) et Contrôle d'instruments (pilotage d'appareils de table)

Mode d'évaluation : 1 Examen + 1 Examen TD + notes TD/TP sous moodle

MATH3 : RESOLUTION DES SYSTEMES ALGEBRIQUES (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. TITTARELLI	46	4	42	0	0	0	3

Mode d'évaluation : Résolution des Systèmes : un partiel, Approximation des EDP : présence 10%, projet 20% et examen 70%. La moyenne du module sera calculée au prorata des heures.

Détail du programme :

Résolution des systèmes algébriques et différentiels, linéaires et non linéaires : analytique et/ou numérique

Approximation des EDP : Il s'agit essentiellement de la technique des calculs par éléments finis pour la résolution numérique sur ordinateur de système d'équations aux dérivées partielles (EDP) : Définition d'un élément fini - Interpolation de Lagrange et d'Hermite - Intégration numérique - Formulation variationnelle – Application à des problèmes concrets d'ingénierie d'origine mécanique -Programmation et mise en œuvre informatique à l'aide de Matlab/Octave

OPT2 : OPTIQUE (16h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
D. TEYSSIEUX	16	8	4	4	0	0	1

Mode d'évaluation : 1 exam (2/3) + 1 TP (1/3)

Détail du programme :

Instrumentation lasers et métrologie : vibrométrie ; gyrométrie ; télémétrie ; speckle ; projection de franges ; sécurité lasers

SDM3 : PROPRIETES PHYSIQUES DES MATERIAUX DE METHODOLOGIE DE CHOIX (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. DEVEL N. MARTIN	46	16	14	16	0	0	3

Mode d'évaluation : 2 partiels + moyenne des TP (coef. 1/3 - 1/3 - 1/3)

Détail du programme :

- Propriétés physiques des matériaux

Initiation à la mécanique quantique, chaleur du réseau (modélisation d'Einstein et de Debye de la capacité calorifique, phonons, lois de Fourier pour la diffusion, rayonnement thermique, conductivité thermique), conduction électrique dans les métaux et les semi-conducteurs (modèle du gaz d'électrons libres, théorie des bandes, dopage, effet Hall), magnétisme, piézo- et thermoélectricité.

3 séances de TP de 4h parmi 4 sujets : conduction électrique, conductivité thermique de différents matériaux, diffusion de la chaleur dans un barreau d'acier, variations de la capacité calorifique de matériaux élémentaires avec la température.

- Choix des matériaux

Méthode Ashby pour la sélection de matériaux : fonctions d'objectif et indices de performance, facteur de forme géométrique. TP avec utilisation d'un logiciel spécialisé pour le choix de matériaux lors de la conception d'objets.

μTECH2 : MICROTECHNIQUES (20h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GAUTHIER	20	8	4	8	0	0	2

Mode d'évaluation :

Evaluation : partiel (2/3) + compte rendu de TP et ou QCM (1/3)

Objectif : Introduction aux technologies de salle blanche

Détail du programme :

- Cours : (S. Margueron - 4 H)

Introduction à la photo-lithographie - Limites de résolution et principaux procédés de résines photosensibles - Méthodes de microfabrication collective, différentes photolithographies. Exemples de dispositifs. Notions sur l'usinage chimique des métaux, du silicium par voie humide, principes de la gravure plasma. Technique LIGA : photolithographie, dépôt galvanique, micromoulage, nano-impression. Classes d'empoussièrement et règles d'utilisation d'une salle blanche.

- Cours : (J-Y Rauch - 4 H)

Méthodes de dépôts de couches minces métalliques et diélectriques - Évaporation, pulvérisation cathodique et applications. Présentation de la physique du vide, le libre parcours moyen des particules sous vide, -gaz et espèces vapeurs métalliques-. Présentation des équipements destinées à faire des dépôts PVD/CVD. Mode d'installation, servitude, contrôle des procédés, pureté des gaz et qualité des dépôts. Principe de la pulvérisation, simple, diode, magnétron, effet du bias sputtering sur la densité, les contraintes, effet du magnétron sur l'homogénéité. Principe de l'évaporation, homogénéité et densité, indice optique des couches obtenues. Comparaison des propriétés de l'évaporation et la pulvérisation au niveau de la lithographie, lift on (gravure)/lift off. Présentation de la machine de dépôt de l'ENSMM, ses avantages, ses limites.

- TD (S. Gauthier - 4h) :

Réalisation des flow chart pour les TP et d'un masque personnel pour le procédé gravure directe plus visite salle blanche.

- TP salle blanche (S. Gauthier - 8h) :

Introduction à la photolithographie - Couches minces : enduction de résine par centrifugation - Photolithographie de contact simple face – Résines positives et inversibles - Résines épaisses - Dépôt et gravure de couches minces métalliques - Procédés de gravure directe et lift-off.

PROGRAMME DE TROISIEME ANNEE

La troisième année est composée de 3 Unités d'Enseignements

- UEOTC (120h) : Science Humaines et Sociales
 - SHS4 : Economie / Gestion
 - LV4 : Anglais + Langue vivante (allemand, espagnol, japonais)
- UEOPIST (90h) : Projet interdisciplinaire en Science et Techniques (PIST)
- 1 Unité d'Enseignement spécifique* (240h)
 - UEOBMS : Bio-Microsystèmes
 - UEOCROC : Conception et réalisation d'objets connectés
 - UEOIMM : Ingénierie micromécanique
 - UEOINNOV : Ingénierie de l'innovation
 - UEOISP : Ingénierie des systèmes de production
 - UEOMAS : Mécanique avancée des structures
 - UEOMIND : Méthodes d'industrialisation
 - UEOMSF : Matériaux et surfaces fonctionnels
 - UEOSMR : Systèmes mécatroniques et robotiques

* chaque élève suit une seule UE spécifique

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	Projet	ECTS
UEOTC	120	2	118	0	0	0	0	8
UEOPIST	90	0	0	0	0	0	90	6
UEOBMS	240	170	0	62	0	8	0	16
UEOCROC	240	98	66	46	12	18	0	16
UEOIMM	240	36	136	60	4	4	0	16
UEOINNOV	240	240	0	0	0	0	0	16
UEOISP	240	102	56	64	0	18	0	16
UEOMAS	240	72	64	104	0	0	0	16
UEOMIND	240	62	80	64	4	30	0	16
UEOMSF	240	164	36	36	0	4	0	16
UEOSMR	240	114	80	40	0	6	0	16

3ème année : Tronc commun (UEOTC)

120 heures d'enseignement, 8 ECTS, 1 unité d'enseignement

Unité d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEOTC : SHS4 + LV4		120	8

SHS4 : Economie / Gestion/ Management/ Conduite projets/Compétences comportementales ... (60h)

L'objectif de ce module est de sensibiliser les élèves ingénieurs à de nouveaux domaines (droit, marketing...) ; leur donner quelques clés de compréhension de l'environnement de l'entreprise ; leur fournir quelques outils de gestion, développer des compétences comportementales...

Option IMM

Responsables		Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
N. BILLOT		30	0	30	0	0	0	4
G. SAUSER		2	2	0	0	0	0	
C. GALLON		28	0	28	0	0	0	

Détail du programme NB :

- **Gestion:**
 - **Gestion de la relation fournisseur et gestion des ressources** : recherche et choix d'un fournisseur, suivi et contrôle des opérations d'achats et gestion de stocks.
 - **Comptabilité de gestion** : Le coût complet
- **Droit**
 - **Droit du travail** : Le contrat de travail, le salarié dans l'entreprise, les événements affectant le contrat de travail, la rupture du contrat de travail.
- **Droit civil** : la responsabilité civile et contractuelle
- **Communication écrite**
 - Rédiger des écrits à usage interne et externe.

Mode d'évaluation : 1 partiel de fin de semestre ;

Oral : volet « communication et finances » dans le cadre du projet d'option

Détail du programme : GS

- **Marketing** :
 - Sensibilisation à l'étude de marché.

Détail du programme : CG

- **Développement personnel**
- **Gestion de situations difficiles**
- **Management et animation d'équipes**
- **Conduite de projets**

Autres options :

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
BILLOT Naznine	30	0	30	0	0	0	4
PIERLOT Serge	30	22	8	0	0	0	

Détail du programme NB

Mode d'évaluation : 1 partiel en fin de semestre Projet : oral et/ou écrit

Toutes options sauf BMS, IMM

- **Projet : A la découverte d'une organisation** : rendre compte d'une problématique d'organisation au travers de visites d'organisations, d'interviews d'acteurs de la vie économique... ou infographie sur un thème économique, juridique etc..
- **Gestion : Comptabilité de gestion** : Le coût complet ; la méthode ABC ; l'imputation rationnelle des charges de structure ; le coût marginal ; le seuil de rentabilité
- **Droit : Droit du travail** : Le contrat de travail, le salarié dans l'entreprise, les événements affectant le contrat de travail, la rupture du contrat de travail.

Mode d'évaluation : 1 partiel en fin de semestre (toutes options) Projet : oral et/ou écrit

Option BMS :

- **Gestion** :
 - **Gestion de la relation fournisseur et gestion des ressources** : recherche et choix d'un fournisseur, suivi et contrôle des opérations d'achats et gestion de stocks.
 - **Comptabilité de gestion** : Le coût complet
- **Droit** :
 - **Droit du travail** : Le contrat de travail, le salarié dans l'entreprise, les événements affectant le contrat de travail, la rupture du contrat de travail.
- **Droit civil** : la responsabilité civile et contractuelle
- **Communication écrite** : Rédiger des écrits à usage interne et externe.

Mode d'évaluation : 1 partiel de fin de semestre ; Oral : volet « communication et finances » dans le cadre du projet d'option

Option CROC :

- **Projet : A la découverte d'une organisation** : rendre compte d'une problématique d'organisation au travers de visites d'organisations, d'interviews d'acteurs de la vie économique... ou infographie sur un thème économique, juridique etc..
- **Gestion** :
 - **Gestion de la relation fournisseur et gestion des ressources** : recherche et choix d'un fournisseur, suivi et contrôle des opérations d'achats et gestion de stocks.
 - **Comptabilité de gestion** : Le coût complet
- **Droit** :
 - **Droit du travail** : Le contrat de travail, le salarié dans l'entreprise, les événements affectant le contrat de travail, la rupture du contrat de travail.
- **Droit civil** : la responsabilité civile et contractuelle
- **Communication écrite** : Rédiger des écrits à usage interne et externe.

Option ISP :

- **Projet** : A la découverte d'une organisation : rendre compte d'une problématique d'organisation au travers de visites d'organisations, d'interviews d'acteurs de la vie économique...
- **Outils de gestion** : Le coût complet ; le seuil de rentabilité ; la rentabilité d'un investissement
- **Droit du travail** : Le contrat de travail, le salarié dans l'entreprise, les événements affectant le contrat de travail, la rupture du contrat de travail.
- **Communication écrite** : Rédiger des écrits à usage interne et externe.

Détail programme SP :

COMMUN AUX OPTIONS

Management des hommes et des équipes :

Cours n°1 (3h) : Processus et organisation de l'entreprise - Présentation des éléments d'histoire du management - Méthode d'analyse de la performance des organisations.

Cours n°2 (2h) : Processus et organisation de l'entreprise (suite) - Approche globale - Analyse systémique - Le schéma de l'action stratégique - Module : Management et communication.

Cours n°3 (2h) : Pratique du management - Système de management - Le leadership - L'autorité sur le groupe. Management et influence. Management de situation - Les différents styles. Carte des partenaires. Stratégie des alliés. Module: Principes et outils du management

COURS PAR OPTION

LE MANAGEMENT DE PROXIMITE (2h) : Moyens - Devoirs - Droits – Règles - Management de recadrage.

COMMUNICATION (4h) : Les outils de base - Bien se connaître pour identifier ses capacités à communiquer et ses modalités de relation - Connaître les 5 « pilotes » qui nous conditionnent. Se donner des solutions-permissions de changement pour améliorer sa propre communication. La communication : schéma de base pour développer une écoute de qualité. La déperdition de l'information – La subjectivité dans la relation. Comment mieux communiquer : la matrice de résolution de problèmes.

COURS OPTION INNOV

COMMUNICATION (2x2h = 4h) : La conduite de réunion

TD MANAGEMENT PAR OPTION

Cas : PLASTIX – PRP ou CTOUCOM : Changements organisationnel et stratégique – Tableau de bord prospectif – dans une PME.

Séance n°1 (2h) : Séance préparatoire - Présentation du cas - Présentation du travail préparatoire - Travail demandé - Organisation des groupes.

Séance n°2 (2h) : Problématique générale.

Séance n°3 (2h) : Convergence entre stratégie et organisation.

Séance n°4 (2h) : Tableau de bord de pilotage – Proposition de solutions.

LV4 : Langues vivantes (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J. DU VERGER	60	0	60	0	0	0	4

Anglais

Le cours insistera sur l'utilisation de l'anglais en milieu professionnel. Les élèves seront amenés à découvrir les différentes étapes de la recherche d'un emploi/stage. Ils sont familiarisés à la rédaction des différents types de CV (*chronological CV* et *skills-based CV*) et de *cover letters*. On insistera tout particulièrement sur la communication en situation professionnelle (*telephoning...*) ainsi qu'à la communication écrite dans le cadre de l'entreprise (rédaction de mails, de mémos, de *progress reports...*). Le but étant de permettre à nos élèves de maîtriser les outils essentiels de l'anglais professionnel.

Les élèves seront également entraînés aux techniques de la présentation orale. Le but de cet exercice est de leur permettre de présenter leur stage de MU2 (description de l'entreprise, son organisation, le travail de stage, les objectifs, les résultats et conclusion personnelle sur leur futur métier d'ingénieur), le fonctionnement d'un produit technologique complexe...

Toujours dans l'optique de la professionnalisation de nos élèves-ingénieurs le cours propose une introduction à l'anglais technique dans l'atelier de production et sur la plateforme partenariale S.M.A.R.T. Il s'agit ici de donner aux élèves-ingénieurs les outils linguistiques qui leur permettront de faire une visite guidée de l'atelier ou de la plateforme partenariale à un groupe (d'industriels, de clients...) et/ou d'expliquer le fonctionnement d'une machine (*Multi-spindle automatic lathe, EDM Wire and Die Sink machine, Tool Presetter*) ou d'un tomographe, d'un bras robotisé afin d'en exposer l'utilité et les spécificités techniques.

Le cours permettra d'approfondir également la connaissance et la maîtrise de l'anglais pour ingénieurs. Il est notamment axé sur la communication scientifique écrite et orale dans la mesure où les élèves sont amenés à rédiger et présenter en anglais un *mini-project* qui porte sur leur projet de fin d'études. Le cours insistera, en outre, sur la communication de données techniques et scientifiques ainsi que sur le commentaire de graphiques ou de tableaux statistiques. Le but étant que les élèves aient une meilleure maîtrise de la communication orale comme écrite dans le cadre du monde du travail.

Bien évidemment le cours s'ingéniera à familiariser les élèves aux différents aspects du monde anglophone (société, histoire...) à travers l'actualité et l'analyse de différents événements culturels en utilisant des supports variés (presse écrite, internet, audio et vidéo).

Langue vivante 2

Allemand – Anglais renforcé – Espagnol – Japonais.

Certification en Allemand (Goethe Institut) ou en Espagnol (Institut Cervantes).

Anglais renforcé : Le cours de soutien a pour objectif de permettre aux élèves de bénéficier d'une remise à niveau et surtout d'une préparation renforcée du BULATS Cambridge ESOL (Linguaskill examen de l'université de Cambridge à partir de janvier 2020).

Evaluation en anglais renforcé : 1/3 contrôle continu (participation et assiduité) + 1/3 BULATS blancs + 1/3 examen des structures grammaticales et le lexique vus en cours.

3^{ème} année : Projet Interdisciplinaire en Sciences et Techniques (UEOPIST)

90 heures, 6 ECTS, 1 unité d'enseignement

Cette UE est constituée d'un projet de 90h.

Les sujets de projets peuvent être apportés par l'étudiant ou proposés par l'équipe pédagogique d'une des UE spécifiques (voir contenu des UE spécifiques pour des exemples de projet).

Le sujet et les modalités de déroulement du projet sont validés par le responsable de l'UE spécifique dans laquelle l'étudiant est affecté. Dans le cas d'une équipe projet, les responsables des UE spécifiques concernées fixent les modalités de déroulement du projet.

3^{ème} année : Bio microsystemes (UEOBMS)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Damien TEYSSIEUX (damien.teyssieux@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
BMS1 : Biomécanique	60	40	0	16	0	4	4
BMS2 : Microsystemes avancés et microsystemes pour la santé	60	36	0	24	0	0	4
BMS3 : Optique, imagerie pour le biomédical et nano-biotechnologies	60	44	0	12	0	4	4
BMS4 : Industrialisation des dispositifs médicaux	60	50	0	10	0	0	4

Le secteur de la santé est un secteur en croissance permanente qui profite simultanément des phénomènes de vieillissement et d'augmentation de la population. Le marché mondial de la santé est estimé à 7000 milliards de dollars, ce qui correspond à environ 9% du PIB mondial (source Bloomberg et banque mondiale). La formation proposée répond à un enjeu sociétal fort qui se traduit par des besoins en ingénieurs de haut niveau pour concevoir et réaliser des dispositifs médicaux allant de la prothèse à l'outil de diagnostic et d'analyse médicale. La formation proposée permet aux ingénieurs de disposer des compétences techniques et scientifiques indispensables aux métiers des technologies de la santé.

Une des spécificités de la formation est d'allier des compétences fortes en Microsystemes et en santé permettant de répondre à une vraie problématique d'avenir, à savoir la miniaturisation des outils de diagnostic dans le but d'accroître les performances des systèmes, tout en minimisant leur coût. Un autre aspect de la formation proposée concerne la biomécanique, et particulièrement la compréhension et la mesure des caractéristiques mécaniques du corps humain, dans le but par exemple de concevoir des prothèses orthopédiques ou/et des nouveaux systèmes d'assistance à base d'exosquelette. L'imagerie médicale et la biophotonique sont abordées dans le but de donner de solides bases aux étudiants dans des domaines en pointe dans le médical. Enfin, le domaine des bio-nanotechnologies, en pleine expansion, constitue une part importante de la formation, consolidant un bagage scientifique idéal pour un ingénieur en biomédical.

Les débouchés visés sont transverses, à l'interface des sciences pour l'ingénieur et de la santé. Ils recouvrent des domaines tels que les secteurs de la biomécanique, des prothèses orthopédiques, de l'instrumentation biomédicale, des techniques d'imagerie et des outils pour le diagnostic en biotechnologie, ainsi que la conception de microsystemes multiphysiques.

Les projets de l'UEOPIST en option BMS

Les sujets proposés peuvent être de trois natures différentes : des sujets de projet classique (proposés par les enseignants), des sujets de projet issus de laboratoire ou des sujets de projets industriels.

Selon les besoins deux orientations différentes peuvent être proposées :

- **Fonctionnement classique** : plusieurs sujets de projet (par binôme ou trinôme),

Exemples de sujets déjà proposés :

- Fabrication d'une prothèse de genou par impression 3D.
- Détection des mouvements de paupière par électroencéphalogramme.
- Guide de perçage pour implantologie dentaire (Docteur Hania Neostéo).
- Système de mesure angulaire du genu flexum (Neostéo Nantes).

- **Un ou deux sujets très ambitieux :** structuration en équipe projet (chef de projet, réunion, brainstorming... etc).

Exemple de sujets déjà proposés :

- Automatisation du contrôle de la qualité des plaquettes (EFS Besançon).
- Dispositif d'assistance à la reconstruction de la mandibule (CHU Besançon).
- Capsule endoscopique pour la détection de tumeur gastro-intestinale.

Matériel et moyens :

Deux salles de projet sont réservées à l'UE (11 postes informatique). Ces salles sont équipées du matériel de base qui est à disposition des étudiants (oscilloscopes, générateur de signaux, alimentation, matériel optique...etc).

Evaluation :

Un point hebdomadaire est demandé pour chaque groupe en fin de semaine par mail. Une soutenance est programmée à mi-semestre (présentation d'environ 10min par groupe selon l'importance du sujet). A la fin du semestre une soutenance finale de 15 min avec question est réalisée et un rapport synthétique et concis (10 pages) doit être rendu. Toutes les soutenances sont effectuées devant la promotion qui participe en partie à l'évaluation finale.

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

BMS1 : Biomécanique (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. GRAILHE	60	40	0	16	0	4	4

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

Biomatériaux (Jamal Takadoun, 8h)

On présentera dans ce cours les principaux biomatériaux connus et on s'intéressera plus particulièrement aux alliages à base de titane, à l'acier 316L, au polyéthylène haute densité haut poids moléculaire, au PEEK, à l'alumine et à la zircone PSZ. De nombreux exemples d'utilisation seront présentés et commentés. On abordera également la problématique de l'ostéo-intégration, de la fonctionnalisation des surface des implants avant leur implantation dans le corps humain, ainsi que les questions de réglementation et de normes.

Physiologie et description du handicap (Pierre Grailhe, 8h)

Biomécanique de la paroi artérielle et de l'endothélium, adaptation dynamique de forme et de structure de la paroi artérielle, remodelage osseux, application des lois mécaniques sur le squelette et la formation osseuse, moteur para tétra, différents stades et types du handicap.

Biomécanique (Pierre Grailhe, 4h)

Modélisation : principes généraux. - Application pratique des éléments de mécanique théorique à l'analyse du mouvement humain - Rappels sur la théorie des systèmes de points matériels en interaction - Théorème de la quantité de mouvement et du moment cinétique pour un système poly-articulé - Application au corps humain : le modèle de Winter - Théorème de l'énergie cinétique et évaluation du travail de forces internes. Exemple de la marche - Problèmes posés par l'évaluation du rendement de la machine humaine - Modélisation du déplacement en fauteuil roulant.

Prothèses et dispositifs médicaux (Pierre Grailhe et Damien Teyssieux, 4h)

Définition des prothèses de membres et des prothèses articulaires, différents types et spécificités de prothèses de membres (emboîture, manchon, moignon, etc.), prothèses vasculaires et implants bio-vasculaires.

Electromyographie et exosquelette (Pierre Grailhe et Damien Teyssieux, 16h)

Principes électromyographiques, stimulation et mesure (capteur/actionneur), nouvelles prothèses (myoélectriques, implants cérébraux.....), exosquelette.

Conférences intervenants extérieurs (8h)

La prothèse de l'épaule (Dr Laurent Obert)
Insufflateur instrumenté (Dr Obdo Khoury)

Travaux pratiques (Pierre Grailhe, 12h)

TP1 : Analyse de la marche et contrôle de l'équilibre. Utilisation d'un tapis de marche DMA et plateforme de force.

TP2 : Analyse du mouvement humain (force et couple). Utilisation de goniomètres.

TP3 : Mesure des caractéristiques des mouvements par capteurs inertiels.

BMS2 : Microsystèmes avancés et microsystèmes pour la santé (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GAUTHIER	60	36	0	24	0	0	4

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

Microsystèmes pour la santé (Thérèse Leblois, 8h)

Il s'agit d'une revue des microsystèmes utilisés dans le domaine de la santé et de l'analyse biomédicale. Dans le cadre de la miniaturisation des capteurs, ce cours met en lumière l'instrumentation de haut niveau associée à l'humain et à son environnement.

Technologies avancées en salle blanche (Thérèse Leblois, 4h)

Ce cours permet d'apporter un complément de connaissances concernant les techniques d'usinage et de dépôt déjà abordées durant le semestre de deuxième année. Les méthodes d'usinage laser, par ultra-son et par plasma, seront abordées.

Conception et développement des MEMS (Stéphane Gauthier, 6h)

Méthodes de conception et de réalisation des masques à partir d'un flow chart. Réalisation pratique d'un masque sur logiciel de conception.

Contrôle et test des microsystèmes (Pascal Vairac, 8h)

Ce cours précise les méthodes d'analyse des matériaux, les microscopes pour la caractérisation des propriétés physiques locales et la géométrie et les techniques d'excitation et de détection des micro-dispositifs en cours de fabrication et après fabrication.

Micromanipulation et son contrôle (Aude Bolopion, 10h)

Le cours porte sur les techniques d'actionnement et de contrôle pour le déplacement, le tri, l'assemblage et la caractérisation d'objets microscopiques biologiques et artificiels pour l'analyse biologique et la création d'outils médicaux ; Introduction à la micromanipulation, techniques de manipulation avec contact (les pinces, les pipettes, les poutres, les préhenseurs par glace ou à vide) et techniques de manipulation sans contact (champs électriques, champs magnétiques, pinces optiques, effets hydrodynamiques).

Travaux pratiques (Jean-Yves Rauch, Stéphane Gauthier et Damien Teyssieux, 24h)

TP salle blanche (12h) : Réalisation d'un répliqueur d'ADN.

TP2 (8h) : TP caractérisation des microsystèmes.

TP3 (4h) : TP caractérisation vibratoire des MEMS.

BMS3 : Optique, imagerie pour le biomédical et nano-biotechnologies (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
D. TEYSSIEUX	60	44	0	12	0	4	4

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

Principes physiques et techniques d'imagerie médicale (Pascal Vairac, 14h)

Le cours passe en revue les interactions physiques utilisées en imagerie médicale : optique, acoustique, rayons X, résonance magnétique nucléaire, ... Les points fondamentaux abordés permettent de cibler les applications des différents principes. Les techniques d'imagerie médicales sont aujourd'hui arrivées à un stade de grande maturité, ce qui limite la diffusion des principes techniques abordés dans le cours. Les méthodes présentées sont : IRM (scanner), radiologie, imagerie acoustique, imagerie par sondes Doppler.

Traitement d'image pour le médical (Nicolas Ratier, 10h)

Il s'agit d'aborder dans ce cours les méthodes de traitement et d'analyse d'image utilisées dans le domaine du médical. Les méthodes de filtrage, d'analyse spectrale et de traitement des données sont traitées.

Biophotonique et optique de l'œil (Damien Teyssieux, 14h)

Cet enseignement aborde, dans une première partie, les notions de microscopie optique et de spectroscopie dans le cadre des matériaux biologiques. Les méthodes de microscopie par fluorescence, de microscopie confocale et de spectroscopie optique (spectroscopie d'absorption, effet Raman etc...) sont traitées. Dans

une seconde partie, l'optique de l'œil est abordée tant d'un point de vue géométrique que photonique. Les méthodes de corrections des pathologies réfractives sont présentées, ainsi que les méthodes de mesure et de caractérisation de l'œil.

Microscopie à force atomique (AFM) et microscopie à effet tunnel (STM) (Damien Teyssieux, 6h)

Introduction au principe physique du microscope à force atomique. Utilisation en microscopie. Caractéristiques et potentiels du microscope à force atomique. Exemples d'utilisation.

Introduction théorique de l'effet tunnel. Utilisation de l'effet tunnel pour la microscopie. Caractéristiques et potentiels du microscope à effet tunnel. Exemples d'utilisation.

Bio fonctionnalisation de surface (Wilfrid Boireau, 8h)

Il s'agit de nanobiotechnologies pour les sciences du vivant (manipulation et visualisation de molécules uniques) ; le problème fondamental de la fonctionnalisation de surfaces sera aussi abordé. A petite échelle, les biomatériaux peuvent être nanostructurés, ce qui nécessite une modélisation qui sera introduite. Le problème du déplacement (vectorisation) des molécules biologiques sera aussi évoqué.

Nanobiotechnologies et bio-fonctionnalisation de surface (Frédéric Chérioux, 8h)

Auto-assemblages sur les surfaces : principes et applications aux capteurs. Procédés de salle blanche (nettoyage, résines positives et négatives). Quelques avancées dans le domaine des nanos, progrès en caractérisation, nouvelles méthodes d'organisation sur les surfaces et nouveaux paradigmes pour les capteurs.

Conférences intervenants extérieurs (4h)

Ophthalmologie réfractive et correction par laser

Travaux pratiques (Pascal Vairac et Damien Teyssieux, 12h)

TP1 : Fluorescence et spectroscopie Raman.

TP2 et TP3 : AFM ET STM.

BMS4 : Industrialisation des dispositifs médicaux (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
D. TEYSSIEUX	60	50	0	10	0	0	4

Mode d'évaluation :

Détail du programme :

Propriété intellectuelle (Jean-Paul Maujean, 8h)

Introduction à la sensibilisation au droit de l'immatériel et à la notion de e-réputation. Eléments du droit de la propriété littéraire et artistique et application de ces droits au domaine industriel. Les brevets et les marques ; La protection des dessins et modèles. Droit de la concurrence et propriété intellectuelle.

Industrialisation des dispositifs médicaux (52h)

Le domaine des dispositifs médicaux est le plus strict d'un point de vue normatif et nécessite une très bonne connaissance de la réglementation. L'objectif de ce module est de rendre les étudiants rapidement opérationnels sur des postes en conception, méthodes/industrialisation ou qualité/réglementaire. Les étudiants seront familiarisés avec les outils essentiels (gestion des risques, justification d'échantillonnage par des méthodes statistiques valides, utilisation de normes techniques).

Les enseignements de ce module sont une valeur ajoutée forte pour les ingénieurs ENSMM juniors dans le domaine exigeant et règlementé des DMs.

Ils se dérouleront selon les étapes suivantes :

- L'industrialisation des dispositifs médicaux : Présentation du cadre qualité / réglementaire.
- Le transfert de conception : De la conception à la production.
- Procédés de fabrication applicables aux DMs.
- Contrôle en production des DMs.
- Applications, déploiements, qualifications et surveillance.

Les méthodes et outils seront transposables dans les autres domaines industriels.

3^{ème} année : Conception et réalisation d'objets connectés (UEOCROC)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Fabrice STHAL (fabrice.sthal@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
CROC 1 : Conception, design et ergonomie	66	24	34	8	0	2	4
CROC 2 : Composants des objets connectés	60	44	0	8	2	6	4
CROC 3 : Contrôle et réseaux	60	16	28	12	0	4	4
CROC 4 : Traitement de données	52	16	16	16	0	4	4

L'industrie 4.0 et l'internet des objets industriels transforment tous les secteurs d'activités en leur assurant une plus grande visibilité du marché, une meilleure connectivité et une considérable marge de progression. Qu'il s'agisse de la fabrication d'appareils intelligents ou encore de systèmes complets, la connectivité permet aux acteurs de mieux comprendre le déroulement des événements et aiguise les capacités de décision. La présence de terminaux de plus en plus intelligents, l'analyse des données, les solutions informatiques évolutives, la mobilité et la visualisation redéfinissent clairement l'avenir de la vie industrielle. Ce concept encourage la connexion des activités internationales aux systèmes de l'entreprise et s'étend même aux systèmes métiers pour une meilleure collaboration, une résolution plus rapide des problèmes et une plus grande innovation. Les équipements et appareils deviennent des outils intelligents capables de fournir une mine d'informations sur la production, notamment des rapports de diagnostics et de consommation d'énergie.

L'ingénieur moderne a donc besoin d'un très bon niveau de compétence pour harmoniser la technologie de l'information et la technologie opérationnelle dans le cadre de l'Industrie 4.0. Pour profiter de tous les avantages que peut offrir, on assiste à la fusion des rôles de la technologie de l'information et de la technologie opérationnelle qui jusque-là étaient longtemps restés séparés. Les ingénieurs doivent devenir compétents dans différents domaines, tels que la technologie de réseau, les composants des objets connectés, l'analyse de données et la sécurité industrielle.

L'objectif de cette option pluridisciplinaire est donc de fournir aux futurs ingénieurs les connaissances thématiques et méthodologiques, pour analyser, concevoir, modéliser, dimensionner et développer des solutions connectées en incluant les problématiques d'autonomie énergétique, de développement durable, de sécurité et d'intégration mécanique et microtechnique.

Le programme est décliné selon 4 modules thématiques : Conception, Design et Ergonomie, Composants des objets connectés, Contrôle et réseaux et Traitement de données. L'accent sera mis sur la pratique à travers un « **Objet Connecté personnel** » qui sera conçu et réalisé durant le semestre.

Débouchés : Ingénieurs R&D, production, maintenance, méthode ... tous secteurs d'activité.

Les projets de l'UEOPIST en option CROC

Dans les projets de l'option CROC, l'accent est mis sur la réalisation pratique et le fonctionnement opérationnel en fin de semestre. Généralement, les projets sont effectués par binôme mais il est possible de travailler en collaboration avec des élèves des autres options.

Les sujets en provenance directe des industriels sont privilégiés notamment pour la santé et le bien-être, l'écoconception, l'environnement, Des sujets plateforme partenariale ENSMM en relation avec les thématiques de l'option pourront également être proposés. Les sujets personnels ou associatifs sont les bienvenus. Quelques exemples de projets connectés : avion-drone, bâton de randonnée, contrôle oculaire, montre thérapeutique, poubelle trieuse, selle de cheval, serre bioclimatique, ...

Les notions de gestion de projet, enseignées par un intervenant extérieur spécialisé, seront mises en pratique concrètement sur chacun des projets. Des revues de projets ont lieu régulièrement durant le semestre.

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

CROC1 : Conception, Design et Ergonomie

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
F. STHAL	66	24	34	8	0	2	4

Objectif :

Maîtriser la conception d'un produit connecté

Mode d'évaluation :

Validation des compétences avec l'ObC personnel

Détail du programme :

- a) *Architecture générale (4h CM)* : Introduction aux objets connectés, contexte, principe, RGPD.
- b) *Design et Ergonomie (8h CM)* : De l'artistique au sens pratique, analyse et évaluation centrée utilisateurs, ergonomie cognitive, démarche interdisciplinaire.
- c) *Conception Mécanique (8h CM, 12h TD, 12h TP, 2h Conf)* : méthode de conception pour innover, CAO Catia intégrant la représentation surfacique, rétroconception.
- d) *Conception Electronique (6h CM, 14h TD)* : Electronique intégrée, analyse de documentation, simulation fonctionnelle et mise en pratique sur l'ObC personnel de l'option sous CAO.

CROC2 : Composants des objets connectés

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
F. STHAL	60	44	0	8	2	6	4

Objectif :

Connaître les composants indispensables des objets connectés.

Mode d'évaluation :

1 Examen pour a et c + notes de CR de TP + validation des compétences avec l'ObC personnel

Détail du programme :

- a) *Capteurs (12h CM, 2h AA)* : Connaître les principaux types de capteurs et leur mise en œuvre.

- b) *Actionneurs (12h CM, 2h AA)* : Moteurs, actionneurs pas à pas, MCC, brushless, piézoélectriques.
- c) *Gestion et récupération d'énergie (12h CM, 4h Conf)* : Principes et ordres de grandeur, MEMS, circuits électroniques disponibles.
- d) *Technologie des circuits (8h CM, 8 h TP)* : Présentation des différentes technologies des circuits imprimés, des boîtiers, assemblage et réalisation du circuit imprimé par four à refusion sur l'ObC personnel.

CROC3 : Contrôle et réseaux

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
F. STHAL	60	16	28	12	0	4	4

Objectif :

Savoir connecter et contrôler un objet connecté.

Mode d'évaluation :

Contenus Moodle et validation des compétences sur l'ObC personnel.

Détail du programme :

- a) *Réseaux informatiques et sécurité (6h CM, 6 h TD)* : architectures, protocoles, principes de sécurisation.
- b) *Microcontrôleurs (2 h CM 6h TD, 8 h TP, 4h Conf)* : Concept de base de la programmation microcontrôleur, Mis en œuvre d'un capteur et module Bluetooth de l'ObC personnel.
- c) *Système d'exploitation embarqué (4h CM, 6h TD, 4h TP)* : Découverte des bases d'un système d'exploitation linux sous myRIO et RasPI.
- d) *LabVIEW RT&FPGA (4h CM, 10h TD)* : Utilisation de LabVIEW pour la programmation de systèmes embarqués et initiation aux circuits logiques programmables sur myRIO.

CROC4 : Traitement de données

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
F. STHAL	52	16	16	16	0	4	4

Objectif :

Appréhender le monde des données.

Mode d'évaluation :

Autoévaluation des compétences et test moodle en a + 1 Examen en b, c et d

Détail du programme :

- a) *Application smartphone embarquée Android (6h CM, 4h TD, 8h AA)* : Concepts de base, accès à distance JSON, Exemple de communication bluetooth
- b) *Traitement de données (6h CM, 6 h TD, 4h TP, 2h Conf)* : Concepts utilisés dans les objets connectés, notions de bases de données et notion de block chain.
- c) *GNSS et communication (4h CM, 4h TP)* : Comprendre le fonctionnement des systèmes de positionnement par satellites et leurs utilités.
- d) *Synchronisation et métrologie (6h CM, 4h TP)* : Importance des signaux temps-fréquence et de leurs stabilités sur les objets connectés.

3^{ème} année : Ingénierie Micromécanique (UEOIMM)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Sébastien THIBAUD (sebastien.thibaud@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
IMM1 : Technologie micromécanique	76	2	58	12	4	0	5
IMM2 : Conception & Procédés	60	16	16	24	0	4	4
IMM3 : Conception de pièces flexibles	60	4	48	8	0	0	4
IMM4 : Motorisation et Commande	44	14	14	16	0	0	3

La miniaturisation des systèmes nécessite d'intégrer un maximum de fonctions (mécanique, optique, électrique, ...) dans un espace très restreint. L'option vise à apporter des compétences à l'ingénieur en conception de produits micromécaniques et plus généralement microtechniques. La formation dispensée dans l'option micromécanique mène à introduire les éléments nécessaires à la conception, au dimensionnement et à la fabrication de ce type de systèmes. Des renforcements de compétences en technologie micromécanique sont proposés. Des éléments spécifiques à l'horlogerie sont également présentés ainsi que les techniques spécifiques de microfabrication utilisées. On introduit également des éléments de métrologie adaptés à cette échelle. La micromécanique est l'une des techniques historiques des technologies de fabrication additive (fonderie à cire perdue, coulée sous vide, impression 3D) et la formation de l'option Ingénierie MicroMécanique (IMM) apporte également des éléments de connaissances sur la conception de pièces par fabrication additive et ses spécificités.

De par les échelles considérées et de l'intégration de fonctions multiples, l'utilisation de pièces flexibles est classique mais complexe. Après avoir introduit des éléments de conception de ce type de composants, les outils de dimensionnement, de validation et d'optimisation basés sur la méthode des éléments finis sont présentés.

Enfin l'intégration d'actionneurs (moteurs pas à pas, courant continu, piézoélectrique) et de capteurs dans des systèmes microtechniques est définie. Des éléments de contrôles de ces actionneurs et capteurs sont introduits et appliqués afin de connaître les limites et difficultés d'intégration dans les systèmes micromécaniques. Des informations spécifiques aux techniques d'assemblage (manuel, robotisé) sont également discutées.

Débouchés : Ingénieur en conception et conception micromécanique (horlogerie, appareillages, automobile, biomédical, aéronautique, spatial, transports, militaire, instrumentation, ...).

Les projets de l'UEOPIST en option IMM

Les projets en option Ingénierie MicroMécanique s'organisent dans le cadre de l'entreprise virtuelle MicroCorp. Autour d'un projet structurant, les élèves-ingénieurs sont recrutés sur CV et lettre de motivation pour réaliser deux missions. La principale mission est reliée aux objectifs de la formation soit de la conception de produits. La seconde mission est définie par un rôle spécifique au sein du projet (chef de projet, prototypiste, gestion de la maquette numérique, dimensionnement, intégration actionneurs / capteurs). Les projets proposés, en priorité par le monde industriel, seront limités en nombre (maximum 3 à 4 projets maximum par promotion) et devront reprendre les objectifs principaux de la formation IMM :

- Conception et dimensionnement de produits micromécaniques / microtechniques,
- Cotations et métrologie de certains composants conçus,
- Prototypage fonctionnel des produits,
- Prise en compte des procédés de fabrication bonne matière,
- Intégration d'actionneurs / capteurs.

Le projet est au cœur de la formation IMM et permet d'agglomérer les compétences acquises. Il est géré et jalonné par l'équipe projet et l'équipe encadrante considérée comme des ressources de MicroCorp.

Les projets seront présentés en public face au client (industriel, enseignant, étudiant) et en assemblée (école).

Le projet est évalué par compétences selon les fiches métiers principale et secondaire définissant le rôle de chaque participant.

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

IMM1 : Technologie micromécanique (76h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J.F. LANOY	76	2	58	12	4	0	5

Mode d'évaluation : Evaluation par compétences / Evaluation par projet

Détail du programme : L'objectif de ce module est d'apporter les connaissances et compétences nécessaires pour la conception de produits micromécaniques. Le module est décomposé selon les connaissances suivantes :

- Introduction aux effets liés à la miniaturisation (effets d'échelles, intérêts de la miniaturisation de systèmes, phénomènes prépondérants aux petites échelles),
- Introduction à l'utilisation d'un outil de gestion collaborative (PLM),
- Mise en œuvre d'un outil de CAO Surfactive,
- Technologies des engrenages (trains épicycloïdaux, conditions cinématiques et de montage, dimensionnement, dentures micro, notions de rendement d'un train épicycloïdal, paramétrage de dentures en CAO),
- Technologie des cames (tracé de cames, rendement et optimisation),
- Technologie des ressorts (Conception, dimensionnement, modélisation),
- Techniques d'assemblage en micro (clipsage, sertissage, vissage, collage, soudage),
- Introduction à la cotation 3D de produits.

L'évaluation des compétences se fera en relation avec la conception complète d'un système micromécanique mettant en œuvre l'ensemble des connaissances introduites dans le module.

IMM2 : Conception et Procédés (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. JAMAULT	60	16	16	24	0	4	4

Mode d'évaluation : Evaluation par compétences et évaluations par partiels/TP

Détail du programme : Le module Conception & Procédés vise à relier les connaissances en procédés de µfabrication (technologies salle grise et salle blanche) nécessaires pour concevoir un produit microtechniques. Des éléments de conception de produits utilisant les technologies de fabrications additives (FDM, STL, Fusion en lit de poutre, projections de poudres, UV, ...) sont également proposés. Des compléments de compétences en métrologie des composants en faibles dimensions sont également présentés (microscopie par défocalisation, nano-micro-tomographie, MEB, ...). Ce module est fortement associé à une introduction aux spécificités de la mécanique horlogère

Le contenu du module est basé sur les éléments suivants :

- Initiation aux bases de l'horlogerie (historique de l'évolution des systèmes horlogers, compréhension du fonctionnement d'un mouvement mécanique simple),
- Dimensionnement d'éléments horlogers (complications horlogères, simulations et mécanismes horlogers),
- Utilisation d'une CAO Horlogère,
- Procédés de microfabrication mécanique (salle grise) et de salle blanche,
- Conception et Fabrication additive
- Métrologie à l'échelle micrométrique.
-

IMM3 : Conception de pièces flexibles (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. THIBAUD	60	4	48	8	0	0	4

Mode d'évaluation : Evaluation par compétences et évaluations par partiels/TP

Détail du programme : Le module Conception de pièces flexibles vise à donner des compétences en conception, dimensionnement et optimisation de pièces déformables. En micromécanique, l'utilisation régulière de composants flexibles, disposant de plusieurs phases de fonctionnement, nécessite de disposer et de maîtriser des outils de conception et de validation spécifiques. La mise en œuvre d'outils de simulations numériques est nécessaire. Dans ce module, après avoir apporté les éléments de conception de pièces flexibles, l'apprentissage d'un outil de simulations par la méthode des éléments finis dédiés au concepteur est proposée et appliquée à des objets microtechniques.

Enfin, l'utilisation d'outils d'optimisations topologique ou paramétrique est introduite et appliquée à des exemples représentatifs.

Le contenu du module est basé sur

- Conception de pièces flexibles (clicquets, ressorts, indexations flexibles, ...),
- Modélisation des structures flexibles,
- Calcul d'un empierrage de platine,
- Dimensionnement d'un encliquetage élastique,

- Dimensionnement de ressorts,
- Dimensionnement d'un joint d'accouplement en caoutchouc,
- Dimensionnement, optimisation (topologique / paramétrique) et validation d'une liaison par clipsage.

IMM4 : Motorisation et Commande (44h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. THIBAUD	44	14	14	16	0	0	3

Mode d'évaluation : Evaluation par compétences et évaluations par partiels/TP

Détail du programme : Les objectifs du module motorisation et commande visent à donner les compétences nécessaires au concepteur pour intégrer des technologies de capteurs et d'actionneurs dans les systèmes microtechniques. Ainsi les particularités des principaux actionneurs (moteurs/actionneurs pas à pas, MCC, brushless, piézoélectriques) utilisés sont présentées. Leur mode d'alimentation et de régulation sont également présentés afin d'intégrer les contraintes d'encombrement et extérieures (alimentation, conditions d'utilisation) en conception. Afin de réaliser des systèmes commandés et contrôlés, une présentation sur les technologies de capteurs sont données.

Une introduction à l'utilisation de microcontrôleurs est également faite par technologies simples (Arduino) ou plus avancées et complètes (STM).

Enfin, étant donné l'échelle considérée, le domaine de la micromanipulation est présenté (motivations et intérêt de la manipulation robotisée, spécificités et conséquences, principales approches, exemple de réalisation de tâches complexes de micromanipulation et de micro-assemblage).

Le contenu du module est basé sur

- Microcontrôleur,
- Capteurs,
- Actionneurs,
- Commande d'actionneurs (motorisation, actionneurs piézoélectriques),
- Micromanipulation.

3^{ème} année : Ingénierie de l'innovation (UEOINNOV)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Nicolas BODIN (nicolas.bodin@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
INNOV1 : Intelligence économique	60	60					4
INNOV2 : Ingénierie frugale	56	56					4
INNOV3 : Marketing et création de valeur	50	50					4
INNOV4 : Management et mise en œuvre de l'innovation	76	76					4

L'option Ingénierie de l'Innovation a pour objectif de former les élèves ingénieurs à l'accompagnement méthodologique des processus d'innovation dans les entreprises ; conduisant à la création de systèmes, produits, activités ou services nouveaux, dans le contexte de la mutualisation entre les entreprises et de l'internationalisation.

Les enseignements associés à l'option Ingénierie et Innovation se situent à l'interface entre les méthodologies et technologies développées au sein de l'entreprise, et le management de celle-ci.

Les modules de formation comprennent notamment des aspects concernant les processus d'innovation et de création associés à des produits ou services. Sont également abordés, les aspects associés à la gestion des connaissances et des compétences, au management des processus innovants ; ainsi qu'aux méthodes innovantes de recherches et d'enquêtes, de gestion de projets, de créativité, de conduite du changement et de gestion de crise et d'équipes.

Enfin un accent particulier est porté sur l'innovation frugale est sur le point de révolutionner le monde des affaires et de redéfinir les contours du management à travers le monde. Ainsi, l'innovation frugale est la clé du succès dans un paysage entrepreneurial de plus en plus dicté par des tendances majeures, telles que la consommation collaborative, l'économie circulaire et le mouvement des "makers" ("Do it yourself").

Le travail par projet est particulièrement mis en avant puisque 5 projets sont proposés au cours du semestre : intelligence économique, filière, gestion de crise, négociation internationale, marketing de l'innovation. Chacun, d'entre eux, donnant lieu à une restitution orale et écrite.

Les projets de l'UEOPIST en option INNOV

Objectif : dans le cadre d'un partenariat entre une entreprise régionale et un binôme d'étudiants, le module projet a pour objectif de mettre en pratique les outils et méthodes d'Intelligence Economique.

Contexte : L'écoute, une attitude payante.

La plupart des entreprises doivent faire face à une problématique nouvelle, celle de pro-agir. En effet, l'immobilisme dans un monde de plus en plus complexe et mouvant ne peut plus être la solution. Il s'agit maintenant pour l'entreprise d'évoluer dans un monde incertain fait d'émergence de nouveaux marchés, d'ouverture à la concurrence, d'évolutions technologiques, réglementaires et sociétales... et de se repositionner régulièrement. L'entreprise doit donc être capable de décrypter son environnement

concurrentiel mais aussi d'évaluer les risques pesant sur elle. Le projet s'inscrit dans ce cadre, en accompagnant une entreprise dans sa démarche d'Intelligence Economique.

Les entreprises partenaires seront des acteurs, **sous-traitants** réels ou potentiels sur un marché.

L'objectif est double :

- pour les entreprises, cette collaboration doit leur permettre d'améliorer la compréhension de leur environnement (maîtrise de technologies nouvelles, développement de nouveaux marchés...).
- pour les étudiants, le contact direct avec le monde de l'entreprise doit être particulièrement enrichissant tant sur le plan professionnel que personnel.

Le module se déroule comme suit :

Phase préliminaire : Rappels théoriques & établissement des partenariats

Quelques rappels théoriques et méthodologiques sont présentés aux étudiants par des 'praticiens' de la stratégie, du marketing, de l'IE.... Ces rappels sont illustrés par des exemples concrets tirés de l'expérience professionnelle des intervenants.

Dès le début de l'année scolaire (septembre), une présentation globale du projet et de la liste des entreprises partenaires est faite. Les élèves se répartissent alors en binôme et/ou trinôme. Une liste définitive des partenaires (chef d'entreprise – binôme d'élèves ingénieurs) est alors constituée en essayant de respecter au mieux les vœux de chacun. En cas de choix multiples, le classement général des binômes d'élèves sert à les répartir.

Etape 1 : Le diagnostic industriel

Avant la fin du mois d'octobre, l'industriel accueille sur le site de son entreprise le binôme d'élèves afin de lui faire visiter les lieux mais également et surtout pour leur présenter l'entreprise en général (produits, technologies disponibles, concurrents potentiels, perspectives de développement...).

Le binôme est alors chargé d'effectuer un diagnostic industriel de l'entreprise portant sur les aspects marchés, concurrence et savoir-faire de l'entreprise. Ce diagnostic doit servir à positionner l'entreprise dans son environnement mais aussi à faire émerger les besoins informationnels dans ces domaines.

Les élèves sont accompagnés durant cette phase par le PmT (Pôle de compétitivité des Microtechniques).

Etape 2 : Phase préparatoire

Les points suivants sont obligatoirement traités :

- Recueil d'informations sur les marchés, la concurrence, les technologies et la réglementation du secteur dans lequel évolue l'entreprise ou le groupement d'entreprises.
- Recueil d'informations économiques et technologiques sur les participants au salon.
- Première analyse de l'information.

Certains étudiants peuvent être amenés à se rendre sur des salons professionnels dans le cadre de leur projet. Des collaborateurs des entreprises partenaires peuvent, dans la mesure du possible, se joindre à la visite.

Etape 3 : Analyse, synthèse et restitution

Les étudiants, avec l'assistance du PmT, analysent et synthétisent l'ensemble des informations collectées. Il s'agit de mettre en évidence les opportunités mais aussi les menaces pesant sur l'activité de l'entreprise ou du groupement d'entreprises.

Les étudiants restituent leurs travaux (rédaction d'un mémoire, présentation orale) aux représentants de l'entreprise ou du groupement d'entreprises avec synthèse, précision et clarté. Ils doivent aussi faire preuve d'imagination en proposant des pistes de réflexion ou de développement...

Les différents membres du jury signent **un engagement de confidentialité** quant aux informations lues, entendues ou présentées.

La notation des élèves prend en compte les appréciations portées sur le travail réalisé par les élèves et un certain nombre de critères prédéfinis (qualité et quantité de travail, résultats obtenus, initiative – autonomie, facultés d'adaptation, relations humaines).

fiche d'appréciation de l'entreprise (**coeff. 2**)

fiche d'appréciation du tuteur CCIR (**coeff. 2**)

fiche d'appréciation du responsable d'option : (oral + écrit) : (**coeff. 1**)

Outils mis à disposition

Le PmT met à disposition des étudiants différentes sources d'informations : revues professionnelles, presse généraliste, études et bases de données, outils et méthode d'analyse de l'information...

Contacts

Pierre Vivien : PmT, 18 rue Savary 25000 BESANCON.

Nicolas Bodin : ENSMM, 26 rue de l'Epitaphe, 25030 BESANCON Cedex, Nicolas.bodin@ens2m.fr

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

INNOV1 : Intelligence économique (50h)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Intelligence économique	8	8					4
Risques et crise	2	4					
Communication de crise	16	16					
Exercice de gestion de crise	15	15					
Projet filières	9	9					

Mode d'évaluation : Projet (filières) + Contrôle continu (communication de crise) + Exercice (gestion de crise)

Objectif : former à manager l'entreprise innovante dans un environnement complexifié par la mondialisation et par l'évolution rapide des technologies de l'information. Pratiquer la maîtrise de son environnement (menaces et opportunités). Anticiper la protection industrielle. Comprendre les organisations.

Détail du programme :

■ Intelligence économique (8h) (B. Migeot)

Introduction à l'Intelligence économique. Cycle de l'information : cours sur la recherche de l'information - Exercice pratique de recherche d'information pour leur stage ; recherche d'information pour le projet en entreprise (informations sur l'entreprise, salons intéressant l'entreprise...).

Approche projet : méthodologie de base pour un travail en groupe et une première analyse d'un sujet donné - Exercice concret : travail sur un exercice filière.

Droit et éthique : Identification des méthodes légales et illégales sur la recherche d'information - Identification des pratiques éthiques du monde des affaires - Débats sur des exemples concrets.

Analyse stratégique : Présentation des méthodes d'analyse SWOT, Pestel, tableaux de pondération, etc.

Méthodologie d'une étude de marché - Méthodologie de la mise en place d'une veille (+ veille salon) - Exercice pratique de mise en place d'une veille pour leur stage.
Gestion de crise : Théorie de la gestion de crise - Examens de cas concrets (Air France, BP, Renault, etc.) - Comment gérer la communication de crise ?

Bruno Migeot : Consultant [www.2pie.fr], Ex-Responsable de l'antenne intelligence économique de la région de gendarmerie de Franche-Comté. Spécialisé dans les domaines du renseignement et de la sécurisation de l'information en entreprise.

■ **Risque et crise (4h) (B. Migeot)**

Sécurisation de l'information : protection du patrimoine informationnel en entreprise - la sécurisation de l'information au travers de l'usage des outils numériques : notion sur le patrimoine informationnel - la faiblesse de l'humain - le bon usage des outils numériques - les phénomènes émergents (Cloud - BYOD) - le web et les réseaux sociaux forces et faiblesses pour l'entreprise.

Bruno Migeot : Consultant [www.2pie.fr], Ex-Responsable de l'antenne intelligence économique de la région de gendarmerie de Franche-Comté. Spécialisé dans les domaines du renseignement et de la sécurisation de l'information en entreprise.

■ **Communication de crise ... ou comment ne pas se laisser surprendre ? (P. Laurent) (16h)**

Lorsque la crise survient, il faut être préparé à la gérer. Il faut déjà avoir acquis un certain savoir pour réagir à bon escient, sans ajouter à la difficulté du moment le "suraccident" de communication.

Il faut savoir ce qu'il faut dire et ne pas dire. Donc organiser son discours. Il faut savoir à qui le dire. Choisir ses interlocuteurs et ne fermer aucune porte aux autres. Ne négliger aucun détail ni aucun support d'information. Tout ceci s'apprend, doit s'apprendre, avant que la crise survienne et surprenne.

- 4h : mise au point des groupes, définition de l'information, de sa fabrication, de sa recherche, analyse photo d'actu et reportage etc

- 12h : présentation/ analyse des travaux de groupes, communication orale, communication non verbale, communiqué de presse

Pierre Laurent : Journaliste, reporter régional Franche-Comté à l'Est Républicain.

■ **Exercice de gestion de crise (12h)**

La crise est une situation insolite caractérisée par son instabilité, qui oblige à adopter une gouvernance spécifique pour revenir au mode usuel de vie. Par gestion de crise, on entend ce mode de gouvernance. Le terme "crise" s'est étendu à l'idée de troubles, de situations de déséquilibre profond, puis de désordre graves (sociaux, économique, politique, géopolitique, climatique, etc.). Lors de cet exercice, les étudiants vont être confrontés à une succession d'évènements auxquels ils vont devoir apporter les réponses les plus appropriées.

■ **Projet filières (PmT)**

Les étudiants de l'option répartis en quatre groupes, travaillent sur des sujets d'intérêt régional (médical, énergie, intelligence artificielle etc...). Le Pôle des Microtechniques assure l'encadrement de ces travaux : organisation des brainstormings, accompagnement dans la réflexion... Ce projet donne lieu à la rédaction d'un mémoire et à une soutenance orale.

INNOV2 : Ingénierie frugale (50h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Innovation frugale	20	20					4
Méthode Triz	20	20					
Méthode Agile	10	10					

Mode d'évaluation : Partiel + étude de cas (Innovation frugale) + Partiel + étude de cas (Méthode Triz).

Détail du programme :

Objectif : Depuis quelques années, l'innovation frugale (encore appelée "Jugaad*") est devenue une stratégie de croissance pour les entreprises innovantes à l'international ! C'est une formidable stratégie de croissance qui permet aux entreprises de développer des produits de grande qualité et de créer davantage de valeur économique et sociale, tout en réduisant le recours aux ressources vitales que sont l'énergie, l'argent et le temps.

*Jugaad : mot hindi populaire qui veut dire "Improvisation intelligente"; c'est faire plus avec moins "Doing more with less".

Les plus grandes entreprises, telles Renault-Nissan, Danone, Lafarge, Siemens, Unilever, ou encore, le groupe Auchan et la SNCF, n'hésitent plus à mettre ses principes en application. Trouver un modèle alternatif, moins onéreux, plus flexible, plus ouvert et collaboratif, est donc devenu une nécessité pour ces entreprises. Les petites et moyennes entreprises (PME) doivent tirer profit de leur taille pour innover plus vite et mieux grâce à la conversion rapide d'idées originales en valeurs. C'est le principe de la frugalité dans l'effort.

Les objectifs sont donc de comprendre les différents enjeux de l'innovation frugale. Être capable de mettre en œuvre l'innovation frugale pour un projet R&D. Pratiquer les outils d'intelligence compétitive et de créativité pour accompagner la mise en œuvre de l'innovation frugale

Le cours se veut interactif avec des études de cas qui seront proposées afin d'illustrer les concepts abordés et d'inscrire les étudiants dans un dynamique de groupe pour stimuler la créativité. Pour ce faire, les outils de créativité utilisés tout au long de la formation de façon transversale seront également mis en œuvre dans ce module.

■ Innovation frugale (20h) (C. Gazo)

L'enseignement se décompose en deux parties : la définition des concepts , méthodes, outils (10h) et une étude de cas pratiques (10h).

Comprendre les concepts de base : l'innovation frugale et les différents concepts connexes importants, savoir déterminer leurs impacts dans la compétitivité, Comprendre les méthodes et outils employés pour l'innovation frugale.

Appliquer des méthodes et outils : Être capable de mettre en œuvre l'innovation frugale pour un projet R&D : définir les besoins clés à simplifier, comparer les produits existant pour trouver les idées de simplicité à développer. Travaux individuel. Être capable d'analyser les acteurs de l'écosystème. Pratiquer les méthodes et outils pour le cas de dispositifs médicaux ou des produits réglementés dans le domaine santé. Projet d'étude en groupe de 2-3 étudiants : Mise en pratique de la feuille de route de l'innovation frugale à travers des concepts appris : Les étudiants choisiront un cas concret dans le secteur santé.

L'innovation frugale et les concepts connexes importants : open innovation – lean innovation – reverse innovation – innovation de rupture (selon Clayton Christensen).

Le benchmarking Frugal : Analyse de la demande pour déterminer les critères clés de besoins à satisfaire. Analyse comparative Frugale des produits existants pour déterminer les besoins latents non satisfaits.

L'intelligence compétitive pour l'objectif "Frugal" - Analyse de brevet - Mettre en œuvre un système de veille informationnelle pour augmenter la vision compétitive durant l'étude d'ingénierie frugale.
La mise en œuvre de l'innovation frugale - Feuille de route de l'innovation frugale
Les études de cas pour exemple (projet d'étude en groupe de 2-3 étudiants appliqué sur des cas sélectionnés).

Les cas analysés :

- 1- Hearing Aid of Audientes : rendre disponibles des aides auditives dans les marchés à moyen et à faible revenu.
- 2- Peek Vision : kit d'examen portable (smartphone) pour les yeux. Ce dispositif médical coûte 50 fois moins cher que les équipements cliniques complets pour la photographie de la rétine.
- 3- Arbutus Drill Cover (For orthopedic surgery, and hernia repair using mosquito net mesh) : une solution ingénieuse pour permettre aux chirurgiens d'utiliser en toute sécurité un hardware forage (matériel/ équipement de forage) low-cost pour les interventions chirurgicales, en stérilisant uniquement une mèche de forage et son point d'attache au lieu du foret entier, réduisant considérablement le coût.
- 4- ReMotion Knee (A Prosthetic Knee for Amputees in Low-Income Countries) : un genou prothétique abordable qui utilise un mécanisme polycentrique similaire à un genou anatomique pour une meilleure stabilité à un coût modique (80 \$).
- 5- Vscan de General Electric (A portable ultrasound for the whole world) : l'équipe a travaillé avec des patients et des cliniciens en Chine et en Inde pour concevoir le design du dispositif d'ultrason qui pourrait être abordable, facile à utiliser, portable et de haute qualité pour les consommateurs à faibles revenus. En septembre 2014, 15.000 Vscans avaient été vendus dans 100 pays.

Créativité pour l'ingénierie frugale : Exercice de créativité pour un objectif d'un projet innovant dans lequel chaque groupe d'élèves pratiquera les méthodes enseignées (Innovation frugale, business model, Agile, TRIZ). Ils sont en situation réelle à travers les études de cas.

Le management de la créativité vise à améliorer l'inventivité individuelle et/ou dans un groupe de travail. Elle est rendue possible par des pratiques de management et l'utilisation d'outils, permettant d'augmenter la créativité. En laissant chacun dépasser ses freins et exprimer sa créativité, l'entreprise favorise le dynamisme, l'innovation et enrichit les rapports humains.

Le module fait un inventaire des outils et méthode en matière de créativité en individuel ou en groupe. Le module vise à distinguer les avantages et les limites de chaque outil. Ce qui permet aux élèves de mettre en pratique certains outils et des méthodes adaptés selon le contexte de créativité.

Les élèves sont mis en situation de production de créativité via les séances de créativité appliquées à des thèmes enseignés comme : innovation frugale, business model, TRIZ.

Comprendre les outils et méthodes : Comprendre les notions de base de la créativité et l'importance du management dans la production de créativité. Comprendre les avantages spécifiques à chaque outils et méthode

Appliquer des méthodes et outils : Brainstorming. Séance de créativité (pratique d'animation). Carte heuristique. Théorie C-K. Design Thinking. Diagramme d'Ishikawa (cause/effet)

Programme : Panorama des outils et méthodes. Résoudre les problèmes par la créativité – la méthode CPS (Creative Problem Solving). Méthode de questionnements (technique des hyperquestions). Brainstorming : recherche d'idées avec technique de créativité. De la naissance de l'idée jusqu'à sa mise en œuvre

Le cours se veut interactif avec des études de cas qui seront proposées afin d'illustrer les concepts abordés et d'inscrire les étudiants dans un dynamique de groupe pour stimuler la créativité. Pour ce faire, les outils de créativité utilisés tout au long de la formation de façon transversale seront également mis en œuvre dans ce module.

Claude Gazo : (ingénieur Ensmm – mu84), Consultant en enseignant chercheur Arts et Métiers Paris Tech. Formateur et animateur de groupes de travail en innovation et résolution de problèmes techniques (méthode Triz).

■ **Méthode TRIZ (C. Gazo) (20h)**

Résolution de problèmes techniques innovants avec la méthode Triz.

"TRIZ" est un acronyme russe dont la traduction est "théorie de résolution des problèmes d'invention". Cette théorie est un ensemble de méthodes et d'outils associé à des règles d'utilisation pour inventer des solutions à des problèmes techniques. Considérées comme émergentes dans l'Union Européenne, les applications de la théorie TRIZ ont déjà été adoptées par un grand nombre d'entreprises de par le monde. En France, un certain nombre d'entreprises ont réalisé des études de cas concluantes.

Le module vise à acquérir les notions de base de la méthode TRIZ, à connaître les outils et significations et à se familiariser les modes de réflexion. Les élèves pourront pratiquer des séances de créativité de résolution de problèmes.

Comprendre les concepts de base

Définir le vocabulaire de base. Comprendre les notions d'évolution des systèmes techniques et la Fonction Principale utile. Comprendre la représentation systémique/Multi-écrans et les Notions d'activité inventive.

Appliquer des méthodes et outils

Appliquer des lois. Identifier et formuler les contradictions. Savoir pratiquer la matrice TRIZ. Utiliser des outils créatifs TRIZ, STC, Minimen, Substances Champs. Identifier de traits de tempérament professionnel.

Programme

Introduction générale à TRIZ. Les lois d'évolution des systèmes techniques et contradictions. La matrice TRIZ. Algorithme de résolution TRIZ. Constitution d'équipe TRIZ (application à TRIZ). Suivi de projets de fin d'étude

Claude Gazo : (ingénieur Ensmm – mu84), Consultant en enseignant chercheur Arts et Métiers Paris Tech. Formateur et animateur de groupes de travail en innovation et résolution de problèmes techniques (méthode Triz).

■ **Méthode AGILE (M. De Carvalho) (10h)**

Les méthodes de gestion de projets dites classiques présupposent que l'on sait exactement ce que l'on va devoir faire, et cela dans un ordre déterminé, pour développer le nouveau produit. Or, dans des situations de développement de produits innovants, dans des environnements souvent également nouveaux pour les équipes (c'est le cas des innovations en rupture), il est bien souvent impossible de prévoir toutes les tâches de développement de façon linéaire.

Par ailleurs, dans le cas de produits innovants, il est nécessaire de s'assurer tout au long du projet que le produit en cours de développement reste en adéquation avec le besoin exprimé et s'adapte à d'éventuels changements pour répondre au mieux à des attentes du client ou du marché.

Le module vise à acquérir les notions de base de management de projets innovants. L'élève apprendra à utiliser les techniques et outils nécessaires pour gérer les projets innovants. L'élève sera capable d'effectuer un diagnostic de projets innovants, d'identifier les risques et d'établir un SWOT.

Le cours propose de présenter ce nouveau paradigme de gestion de projet en introduisant la méthode AGILE "Scrum", avec des exemples et des mises en situation.

Définir les concepts de base

Comprendre le mode de management de projets par les enjeux. Comprendre les différentes approches Lean Innovation et Open Innovation. Définir le vocabulaire de base d'Agile Scrum. Reconnaître les différents rôles et parties prenantes dans le projet Agile.

Appliquer des méthodes

Pratiquer le Diagnostic de projet innovant. Comment passer de l'idée produit à la réalisation. Comment établir la planification de la réalisation (le temps et le processus de développement). Comment gérer les risques du projet et respecter les contraintes de coût et de délai.

Méthode d'AGILE

Le fondamental de la méthode Agile. Les différents rôles et parties prenantes dans le projet Agile. Comment passer de l'idée produit à la définition des tâches à réaliser ? Comment définir le temps pour chaque tâche ? Comment gérer le processus de développement ? Comment gérer les risques du projet et respecter les contraintes de coût et de délai ?

Malua de Carvalho : (Docteur en sciences pharmaceutiques, Institut des Hautes Etudes de la Défense Nationale). Ex-Cadre dans l'industrie pharmaceutique en R&D, Consultant/Conseil en marketing stratégique.

INNOV3 : Marketing et création de valeur (52h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Marketing stratégique	20	20					4
Marketing innovation, Business model, Management et diagnostic de projets innovants	20	20					
Protection industrielle et intellectuelle (normes et brevets, protection des données)	8	8					

Mode d'évaluation : Projet (Marketing de l'innovation) + Partiel (Marketing stratégique et opérationnel).

Détail du programme :

Objectif : former les étudiants à développer la réflexion stratégique de l'innovation et le marketing de l'innovation.

■ Marketing stratégique - Marketing opérationnel : Du plan d'action marketing au plan d'action commerciale (20h) (S. Pierlot)

Bases du marketing (2h) : Introduction - Historique, Démarche et évolution du Marketing.

Le Marketing stratégique (10h) : Définition et fondements - Les 3 étapes du Marketing stratégique - Connaissance de l'entreprise : les acteurs socioéconomiques - Approche globale et approche systémique -

La prospective - Outils et méthodes d'analyse stratégique - Segmentation, DAS, FCS - Environnement et cadre de référence - Finalité. Définir le MIX. Illustration : Travail sur cas Guy de Longchamp.

Le Marketing opérationnel (6h) : Les bases de la segmentation - Les outils de la segmentation - Les différentes approches du marché - Les outils de base du marketing opérationnel.

Du plan d'action marketing au plan d'action commerciale - Business model (6h) : Convergence Marketing-Vente - Distribution - Mise en œuvre du plan de vente - Outils d'analyse du portefeuille - Valeur client et cycle de vie - Optimiser les performances commerciales (outils et matrices d'analyse) – Gestion du portefeuille - des 4P au 4C - Analyse RFM.

Serge Pierlot : Consultant en Stratégie d'entreprise, Communication, Management, Organisation, Développement Commercial et Ressources Humaines.

■ **Marketing innovation, Business model, Management et diagnostic de projets innovants (20h) (M. De Carvalho)**

Marketing de l'innovation (24h)

La création de valeur et les facteurs critiques de compétitivité :

Le marketing stratégique (2h) : la chaîne de valeur (l'arène de compétition, la Création de valeur) - les facteurs clés de Succès - les avantages concurrentiels - recherche d'idées de création de valeur – utilisation d'outils de créativité Triz pour la résolution de problèmes scientifiques.

Le Marketing de l'Innovation (2h) : les nouvelles données de la mondialisation - le marketing des nouvelles technologies, des produits et de services nouveaux - l'intensité de l'activité ou le degré d'importance - les différents types de projets d'innovation - la dynamique technologique ou les courbes en S - le cycle de vie du produit.

Etudes de cas par groupe de trois étudiants (6h) :

Objectif : Partager un cas concret de l'innovation, vivre et animer une réflexion stratégique et la présenter.

Quelques études de cas : Les pressions exercées par les fournisseurs et les clients - Les menaces externes - L'offre de substitution - L'optimisation pour obtenir l'avantage compétitif - La stratégie de différenciation - L'innovation : la création d'un nouvel espace de marché.

Le Management de l'Innovation (4h) : les processus dans le management de la R&D - les conditions de viabilité (La viabilité technique, la viabilité économique, la viabilité commerciale, la viabilité financière) - les risques associés de l'innovation : check-liste des risques - le diagnostic de projet innovant - étude de cas Velothan.

La veille technologique (4h) : les technologies clés 2010 - les informations et les signaux faibles - approche systématique de la veille technologique - approche pragmatique de la veille technologique - les brevets en veille technologique - l'exploitation de l'information brevet - intelligence compétitive.

Le plan marketing industriel (4h) : les acheteurs industriels et leurs motivations - le processus d'achat international : "The Marketplace" - la communication et la promotion industrielle en milieu industriel via les Technologies de l'Information et de la Communication.

Développement stratégique : les deux niveaux de la stratégie (corporate et business) - l'approche globale par les matrices de portefeuille - les stratégies génériques - les voies du développement stratégique – les partenariats.

Business Model (10h)

Contexte

La réflexion du "modèle économique" (ou business model en anglais) est un grand enjeu pour tous ceux qui cherchent à surfer avec les nouvelles vagues de création de valeur pour générer de nouveaux flux de revenus. A l'ère du digital et de la forte concurrence, les entreprises performantes doivent aligner leur stratégie et leur vision, leurs "business models" et leurs modèles opérationnels (le comment).

Objectifs

- Donner la possibilité de raisonner comme un entrepreneur pour construire son plan d'affaires (le « comment générer les revenus »).
- Ce module est particulièrement utile aux élèves qui souhaiteraient créer leur entreprise et/ou qui souhaitent d'être en mesure de contribuer au travail collectif de réflexion stratégique d'entreprise.
- Les élèves découvrent par le jeu et le travail en groupe les principes du concept qui leur permettra de décrire et d'analyser le modèle économique des entreprises compétiteurs (son entreprise, ses concurrents, toute autre organisation).

Compétences visées à l'issue du module

- Comprendre le concept de business model qui rend possible la description et la discussion.
- Connaître et savoir utiliser le business model canvas
- Comprendre le lien entre le business model et le business plan

Programme

La première partie pour donner les bases de raisonnement du concept "Business model" avec quelques cas célèbres par son succès (Ipod/iTunes, Lego, Google, Red Hat, Skype, Nespresso). Dans la deuxième partie, les élèves pourront raisonner et réfléchir en groupe les différentes combinaisons de modèles économiques grâce à un jeu de créativité spécifiquement conçu pour ce type d'enseignement.

Management et diagnostic de projets innovants (8h)

Management de projet par enjeux. Pratiquer un Diagnostic de projets innovants (analyse SWOT, Facteurs clés de succès, analyse des risques, analyse de chaîne de valeur). Les nouveaux concepts de mise en œuvre des projets d'innovation : Lean innovation, Open innovation.

Malua de Carvalho : (Docteur en sciences pharmaceutiques, Institut des Hautes Etudes de la Défense Nationale). Ex-Cadre dans l'industrie pharmaceutique en R&D, Consultant/Conseil en marketing stratégique.

■ Protection industrielle et intellectuelle (normes et brevets, protection des données) (8h) (C. Mulenet)

Cours 1 (4h)

Introduction (0h30) : Qu'est-ce que la propriété intellectuelle ? - La protection des idées ? - Principes généraux de la propriété intellectuelle - Principes généraux de la propriété industrielle - Les acteurs de la propriété industrielle.

La protection de l'aspect marketing des créations (2h) : La marque (1h) : Quels sont les différents signes distinctifs ? (dénomination sociale / nom commercial / enseigne / nom de domaine / marque) - Pourquoi protéger ces signes distinctifs ? - Quelle marque peut-on déposer ? (forme / validité) - Comment obtenir et défendre une marque ? - Vérifier la disponibilité d'un signe - Comment étendre sa protection à l'étranger ?

Le design (1h) : Pourquoi protéger ces créations esthétiques ? - Quels sont les outils de protection ? (droit d'auteur / dessin & modèle) - Qu'est-ce qu'un dessin ou un modèle ? - Que peut-on protéger par un dessin ou un modèle ? - Comment déposer un dessin ou un modèle ? - Comment étendre sa protection à l'étranger ?

La protection de l'innovation technique – Le brevet (1h) : Qu'est-ce qu'un brevet ? - Que peut-on breveter ? (invention / condition de validité) - Comment lire un brevet ?

Cours 2 (4h)

Le brevet (3h) : Comment obtenir un brevet ? (procédure de délivrance) (0h30) - Quel droit confère un brevet ? (0h30) - Liberté d'exploitation d'une invention (0h30) - Comment rechercher des brevets dans les bases de données ? (0h30) - Comment étendre sa protection à l'étranger ? (droit de priorité / brevet européen / PCT) (1h00). Les logiciels et bases de données (0h30). Le savoir-faire (0h30) : Qu'est-ce que le savoir-faire ? - Comment formaliser le savoir-faire (cahiers de laboratoire)

Cours 3 (4h)

La stratégie de protection de l'innovation (2h) : Définition de l'innovation - Stratégies de protection de l'innovation (secret / brevet / divulgation) - Fonctions stratégiques d'un brevet - Stratégie de valorisation interne (interdire) et externe (autoriser) - Processus d'innovation et décisions en matière de PI (idée / R&D / lancement / exploitation) - Budget PI

La titularité des droits de propriété intellectuelle (1h) : Le régime des inventions de salariés - Le régime du droit d'auteur (œuvre collective ou collaborative) - Le régime des logiciels - La gestion des droits avec les prestataires / sous-traitants - La gestion des droits avec les partenaires dans les programmes de recherche collaborative

La défense des droits (1h) : Qu'est-ce que la contrefaçon ? - Les actes de contrefaçon - L'appréciation de la contrefaçon - L'exception à la contrefaçon - Règlement amiable et arbitrage - Action en contrefaçon.

Christian Mulenet : Consultant cabinet Guiu, Expert en stratégie de propriété intellectuelle. Ex-Directeur de l'Agence Régionale d'Information Stratégique et Technologique (CCI Franche-Comté), Ancien responsable de l'antenne INPI Franche-Comté.

INNOV4 : Management et mise en œuvre de l'innovation (72h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Pourquoi et comment innover ?	12	12					4
Open innovation	12	12					
Comment tester ses innovations ?	12	12					
Design thinking	12	12					
Techniques de négociation	12	12					
Gestion et conduite de réunion	10	10					

Mode d'évaluation : Etude de cas (Pourquoi et comment innover ?) + Contrôle continu (Techniques de négociation).

Détail du programme :

Objectif : former à manager les affaires avec les approches intégrées de l'idée au prototype, la conduite de projets innovants.

■ **Pourquoi et comment innover ? L'innovation par l'entrepreneuriat et un écosystème adapté (12h) (M. Menet)**

Introduction

Face à un monde de plus en plus changeant et complexe, développer une capacité d'innovation rapide et efficace est un atout pour la rentabilité et la croissance des entreprises. Pourtant, on constate trop souvent que les entreprises rencontrent des difficultés à générer des offres novatrices au bon moment et de les lancer sur le marché efficacement.

Ce cours va changer votre conception de l'innovation en vous donnant une feuille de route pratique et complète pour exécuter l'innovation. Vous apprendrez à développer à la fois votre capacité personnelle d'innovation et celle d'une entreprise. Vous terminerez ce cours en sachant comment être innovant, comment influencer la culture d'une entreprise, et modifier la façon dont une organisation réagit aux changements en créant un écosystème adapté à l'innovation.

Programme

Jour 1 - Explorez votre style et votre approche de l'innovation

Au cours de cette journée, vous allez découvrir l'innovation de manière globale tout en explorant votre style et votre approche de l'innovation. En combinant le développement d'idées et l'apprentissage par l'action, vous comprendrez comment apporter des solutions innovantes aux problèmes d'une entreprise, tester vos idées de manière itérative, et convaincre les décideurs en "pitchant" vos idées.

Notions Clés

Comprendre le besoin d'innover - Développer ses compétences personnelles pour créer de l'innovation - Savoir avancer efficacement dans un contexte d'incertitude élevé - Utiliser l'approche itérative et le prototypage rapide pour augmenter ses chances de réussite tout en minimisant les risques - Convaincre pour faire passer ses idées - Lancer une proposition cohérente et innovante dans un environnement de travail "traditionnel"

Programme

Pourquoi innover - Vitesse d'innovation - L'incertitude des marchés - L'innovation un don ? - Définition de l'innovation - Comment être innovant - Découverte de son profil et de son programme d'entraînement à l'innovation - Vos premiers pas dans l'innovation - Atelier pratique sur la notion de l'échec - La notion d'incertitude dans l'innovation - Le processus et les méthodes d'innovation - Comment pitcher ses idées - Mise en pratique avec un sprint et pitch sur un thème

Evaluation

Evaluation du travail en équipe lors de la mise en pratique

Jour 2 - Définissez et créez votre écosystème d'innovation

Faire de l'innovation un élément clé de l'ADN de l'entreprise est vital pour assurer une croissance future et des avantages concurrentiels. Mais réussir à mettre en place et à faire accepter un programme d'innovation à l'échelle d'une entreprise n'est pas une mince affaire. Cela nécessite un ensemble de priorités claires en matière d'innovation, une approche pragmatique pour construire les structures et les capacités nécessaires à l'innovation, gérer les conflits internes, et surtout, beaucoup de persévérance. Cette journée vous enseignera comment clarifier une stratégie d'innovation et développer les structures organisationnelles et les capacités dont vous avez besoin pour soutenir un modèle d'innovation ouvert, collaboratif et décentralisé.

Notions Clés

Mise en place d'un écosystème et d'une culture d'innovation - Maîtriser les dernières approches de l'innovation pour rendre votre réflexion stratégique plus efficace - Maximiser les contributions des talents qui vous entourent - Accélérer la commercialisation des idées innovantes sur le marché

Programme

Le paradoxe de l'innovation en entreprise - Stratégie d'innovation - Mise en place de votre thèse d'innovation - Gestion de votre portefeuille d'innovation - Gestion de l'innovation - Mise en place du cadre - Une comptabilité adaptée à l'innovation - Pratiques de l'innovation - Courbes d'adoption des innovations - L'innovation en 3 étapes - Tour d'horizon des différentes méthodes d'innovation

Evaluation

Etude de cas d'une entreprise (travail à rendre)

Mathieu Menet : (ingénieur Ensmm – mu09), Expert de l'innovation en entreprise, Responsable innovation des transports publics de la région lausannoise (tl), Entrepreneur technologique et social.

■ Open innovation (12h) (M. Menet)

L'Open Innovation est un modèle d'innovation fondé sur le développement d'une culture ouverte et collaborative et sur la mobilisation de l'ensemble des parties prenantes de son écosystème. Illustré par de nombreux cas d'acteurs de l'innovation, ce cours a pour but de vous donner toutes les clés pour mettre en œuvre une feuille de route Open Innovation et lancer une démarche d'intelligence collective impactante. Comment développer une culture d'innovation plus collaborative et ouverte au sein d'une organisation ? Avec quelles méthodologies et quels outils ? Quels sont les impacts sur les fonctions clés de l'entreprise et quelle conduite du changement cela induit-il ?

Les cours se déroulent sur 4 demi-journées. Les apports théoriques sont complétés par des exercices pratiques individuels et en groupes.

Mathieu Menet : (ingénieur Ensmm – mu09), Expert de l'innovation en entreprise, Responsable innovation des transports publics de la région lausannoise (tl), Entrepreneur technologique et social.

■ Comment tester ses innovations (Prototypage et le test des idées) ?

Programme

7 nouveaux produits sur 10 ne répondent pas aux attentes du marché. Ce cours a pour but de vous faire inverser cette statistique. Vous allez découvrir sur 2 jours, comment l'expérimentation systématique des innovations peut réduire considérablement le risque d'échec et augmenter la probabilité de succès. Il s'appuie sur le Business Model Canvas et le Value Proposition Canvas en intégrant l'Assumptions Mapping et d'autres expériences puissantes issues du mouvement lean startup. Le cours se terminera par des conseils pratiques pour que vous puissiez faire de l'expérimentation un processus continu et reproductible dans vos entreprises.

Notions Clés

- Apprendre à réduire le risque et le coût d'échec grâce à un processus d'expérience systématique
- Mettre en place un processus de tests reproductible dans une entreprise: conception de l'équipe, communication avec les parties prenantes, déroulement des expériences et mesure des progrès
- Découvrir comment identifier la bonne expérience pour tester ses hypothèses de désirabilité, viabilité et faisabilité les plus risquées grâce à une bibliothèque
- Apprendre à commencer petit et pour ensuite miser gros
- Comprendre comment concevoir des expériences pour déterminer si votre idée a du potentiel ou non

Programme

Partie 1 - Concevoir des expériences : Cartographie des hypothèses - Découverte de la base de données des expériences - Concevoir et réaliser une expérience de découverte - Techniques d'entretien sophistiquées et pièges à éviter.

Partie 2 - Conception de séquences d'expériences : Prototypage en direct avec des modèles - Conception de séquences d'expériences - Prendre des décisions par la donnée.

Partie 3 – Q&A au coin du feu

Evaluation

Evaluation du travail en équipe lors des exercices de mise en pratique

Mathieu Menet : (ingénieur Ensmm – mu09), Expert de l'innovation en entreprise, Responsable innovation des transports publics de la région lausannoise (tl), Entrepreneur technologique et social.

■ **Design thinking (12h) (A. Latournerie)**

Objectifs

- Comprendre « l'Esprit Design » dans le contexte social et environnemental d'aujourd'hui ;
- Développer ses capacités d'innovation grâce à l'intelligence collective tout en affinant la connaissance de ses propres potentiels ;
- Savoir intégrer dans tous ses projets d'innovation les notions de frugalité, low tech et éco-socio-conception ;
- Expérimenter un projet d'innovation de rupture selon les principales étapes du design thinking ;
- Etre en capacité de discerner post expérimentation sur l'importance notamment de la diversité, de la curiosité, et de l'empathie dans le processus d'innovation.

Contenu

- Apports théoriques et pratiques sur les fondamentaux de l'intelligence collective- leviers et enjeux.
- Apports théoriques et pratiques sur l'Esprit Design, l'innovation de rupture en design thinking et ses différentes phases.
- Apports théoriques et pratiques sur l'innovation dans une posture low tech (utile, accessible, de développement durable) et d'éco-sociaux-conception- leviers et enjeux d'aujourd'hui.

Méthodes et déroulement

Après avoir défini les notions fondamentales de l'innovation de rupture en cours magistral et choisi avec les étudiants d'un sujet d'innovation en lien avec leur parcours d'études, ils devront en intersession :

- Définir des groupes de travail selon les consignes d'inter complémentarité de profils
- Réaliser un travail de recherche et benchmarking
- Préparer des personas

Lors de la journée de travaux pratiques, les étudiants expérimenteront en intelligence collective les phases de définition des besoins utilisateurs/usagers, ainsi que la phase créativité pré-prototypage.

Aurélia Latournerie : Consultante [www.ataraxia-entreprendre.fr]. Après avoir travaillé dans les domaines de la communication, relations publiques, management et actions commerciales. Elle se spécialise à la psychologie positive adaptée au travail, à la facilitation de projet d'innovation, à la conduite de projet (Appréciative Inquiry), à la RSE.

■ **Techniques de négociation (12h) (M. Deligny Malchair) (enseigne en anglais)**

Objectifs

- Donner des méthodes théoriques et pratiques permettant de préparer et conduire une négociation.
- Informer des risques et enjeux des formes conflictuelles et déloyales de négociation.
- Préparer des négociateurs à communiquer avec des interlocuteurs fonctionnant selon d'autres cultures, d'autres schémas et d'autres règles de négociation.

Contenu

Champ de la négociation : définition, champ d'application - Éléments de stratégie - Éléments de tactique : information, temps, légitimité, influence - Les négociations spontanées ; les tactiques déloyales - Une tactique : la négociation raisonnée - Négociation et cultures.

Méthode

- Cours et exposés théoriques sur les concepts, les outils et les méthodes de la négociation.
- Exercices et cas pratiques de négociation : préparation, tenue, observation et analyse de négociations.
- Études de cas et présentations en classe.

Marion Deligny Malchair : Consultante chez MindForest (Luxembourg) – Enseignante chercheuse en Négociation.

■ Gestion et conduite de réunion (10h) (S. Pierlot)

Les préalables à la conduite de réunion - La communication - Les règles de base de la communication- Les quatre grands principes de la communication - Les éléments fondateurs - L'approche de Palo Alto - Le modèle de Rogers -Communiquer par l'analyse transactionnelle- Les processus : verbal, non verbal, niveaux, référents, attitudes et comportements ...

La Conduite de réunion : Introduction - Les différents types de réunions - Quand et pourquoi organiser une réunion ? - Les questions à se poser avant de faire une réunion - Cinq objectifs dominants pour organiser une réunion - La définition rigoureuse de l'objectif à atteindre - Acquérir une maîtrise des groupes - Agir sur les différentes peurs éprouvées à l'intérieur d'un groupe - Comprendre le phénomène de leadership et les différents rôles adoptés dans un groupe- Traiter la résistance au changement - Préparer la réunion pour en décupler l'efficacité - Comment formuler de manière opérationnelle l'objectif que l'on veut atteindre - Elaborer un plan de travail - Comment motiver les participants - L'organisation matérielle - Animer efficacement une réunion - Démarrer de façon constructive une réunion

Gérer la production du groupe : exploiter les bonnes idées - faire rebondir la discussion - recentrer la discussion ou orienter la réflexion - faire converger les points de vue pour aboutir à une solution - et à une décision - faire des synthèses et maintenir la dynamique du groupe

Serge Pierlot : Conseil en Stratégie d'entreprise, Communication, Management, Organisation, Développement Commercial et Ressources Humaines.

3^{ème} année : Ingénierie des systèmes de production (UEOISP)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Zeina AL MASRY (zeina.al.masry@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
ISP1-Pilotage industriel	60	26	12	20	0	2	4
ISP2-Performances industrielles	60	22	16	20	0	2	4
ISP3-Outils de l'ingénieur production	60	30	20	8	0	2	4
ISP4-Numérisation des pratiques	60	24	8	16	0	12	4

Depuis quelques années, le monde fait face à la transition numérique et entre dans sa 4^{ème} révolution industrielle. On parle aujourd'hui de l'industrie 4.0. En réponse à ces nouveaux enjeux, cette option propose de fournir à l'ingénieur de production de demain des outils adaptés. En effet, les entreprises évoluent dans un contexte concurrentiel en perpétuelle évolution et, relativement à l'outil de production et à son pilotage, les exigences en termes de flexibilité, de réactivité, d'adaptabilité, de fiabilité/disponibilité ne faiblissent pas. Aussi, les technologies sont en constante mutation. Tout ceci implique que les ingénieurs et décideurs soient à même d'assurer la maîtrise fonctionnelle, technique et organisationnelle des systèmes. Cela requiert en outre un ensemble de compétences dans le déploiement d'outils d'analyse et de décision adéquats. Ainsi, cette option a pour but de donner aux futurs ingénieurs les capacités à appréhender un système de production dans son environnement, à l'analyser, à en évaluer les performances, et à prendre les décisions en conséquence en vue de sa conception, son pilotage, son exploitation et sa maintenance.

Une partie des enseignements vise à situer l'activité de production au sein de l'entreprise, à percevoir les interactions avec les autres services et avec les partenaires extérieurs et à dégager les enjeux majeurs émergents depuis quelques années ainsi que les nouvelles formes organisationnelles. Une autre partie propose aux élèves ingénieurs d'étudier un ensemble d'outils leur permettant d'analyser un système, d'en évaluer les performances et de le commander/piloter/modifier en conséquence. Enfin, une partie des enseignements a pour objectif de fournir aux futurs ingénieurs des outils mathématiques/informatique indispensables à la maîtrise d'un système de production dans son ensemble, à l'activité de maintenance et à l'aide à la décision.

L'objectif sous-jacent est de donner aux étudiants les éléments nécessaires à une analyse critique des problèmes auxquels ils peuvent être confrontés dans l'entreprise. A ce niveau, la mise en œuvre de différentes techniques, méthodes et outils (tant organisationnels que techniques et informatiques) nécessaires à une gestion pérenne de l'activité productrice, et cela, à différents horizons décisionnels (du long terme - stratégique au court terme – opérationnel) est également traitée.

Au final, les enseignements portent sur différents aspects de l'ingénierie des systèmes de production (spécification, conception, organisation, amélioration de processus, évaluation de performances, exploitation/maintenance, systèmes informationnels) et cette option offre ainsi des débouchés vers les métiers de la production (méthodes, production, maintenance, qualité, logistique).

Les projets de l'UEOPIST en option ISP

Les projets proposés auront comme objectif d'étudier les systèmes de production dans leur globalité.

Des sujets de différentes natures seront proposés. Par exemple, sur

- la maintenance prédictive ;
- la modélisation et l'acquisition de données pour le suivi de santé d'un système ;
- l'ordonnancement de production ;
- la résolution de problème d'optimisation dans les systèmes de production ;
- la mise en œuvre de méthode de diagnostic et/ou pronostic (simulation numérique).

Pour tous les projets, les étudiants devront suivre la démarche suivante :

- Analyse bibliographique sur le sujet ;
- Proposition d'une approche adaptée à la résolution ;
- Développement de la ou les méthodes retenues ;
- Discussion sur les résultats obtenus.

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

ISP1 : Pilotage industriel

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Z. AL MASRY	60	26	12	20	0	2	4

Mode d'évaluation : Moyenne de plusieurs partiels et/ou travail personnel/TP

Objectif : L'objectif de ce module est de donner aux étudiants les éléments nécessaires à une analyse critique des problèmes de production auxquels ils peuvent être confrontés dans l'entreprise. Plusieurs aspects sont abordés :

- le premier vise à comprendre l'entreprise dans son environnement, à dégager les enjeux majeurs émergents, et à cartographier les axes de travail / progrès à adresser ;
- le second porte plus spécifiquement sur la mise en œuvre de différentes techniques, méthodes et outils (tant organisationnels que techniques et informatiques) nécessaires à une gestion pérenne de l'activité productrice, et cela, à différents horizons décisionnels ;
- le dernier porte sur les éléments d'optimisation grâce à l'ordonnancement des activités de production.

Détail du programme :

ISP1.1 Gestion de production (R. Gouriveau, C. Varnier 24h) :

- Maîtrise des flux industriels : problématiques et enjeux, flux poussé / tiré, rappels MRP1, adéquation charge/capacité et MRP2, valeur et gaspillages, principes d'optimisation
- Notion d'ordonnancement dans les systèmes de production et d'ordonnancement de projet
- Typologie des problèmes d'ordonnancement – Problèmes à une machine – Problèmes d'atelier : Flowshop, Jobshop.

ISP1.2 Chaîne de valeur et Lean manufacturing (R. Gouriveau, 18h) :

- TPS et Lean Manufacturing : fondements (Toyota), approches et outils 5Kanban, SMED...), illustration de grands principes (taille des lots, mise en ligne des moyens, gestion par les contraintes...), leviers et freins au déploiement.

ISP1.3 Maîtrise des risques et maintenance (R. Gouriveau, 10h) :

- Analyse et management de risque
- Positionnement, concepts, définitions et enjeux de la maintenance

ISP1.4 Management de la qualité et RSE (M. Deschamps, 6h) :

- Notion d'introduction sur l'appui des entreprises sur le concept de la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) pour structurer une réflexion stratégique de leur activité.
- Présentation des aspects classiques (définition, cadre juridique, norme, labels...)
- Greenwashing.
-

ISP.5 Témoignage industriel (2h) :

- Interventions des industriels sur le lean manufacturing

ISP2 : Modélisation et évaluation des systèmes industriels

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Z. AL MASRY	60	22	16	20	0	2	4

Mode d'évaluation : Moyenne de plusieurs partiels et/ou travail personnel/TP

Objectif : L'objectif de ce module est de proposer un panel d'outils leur permettant d'analyser un système et d'en évaluer les performances. Les outils présentés peuvent globalement être distingués selon le type d'approche de l'analyse sur lequel ils se fondent : méthodes formelles quantitatives et approche par simulation.

Détail du programme :

ISP2.1 KPI et tableaux de bord (Z. Al Masry, 12h) :

- Concept de la performance
- Indicateur de performance, Développement des indicateurs de performance
- Outil de modélisation, Positionnement de l'activité de simulation, notion de modèle de simulation, besoin, cadres et objectifs de la simulation
- Méthodologie d'élaboration d'un projet de simulation, Avantage et limites de la simulation.

ISP2.2 Sûreté de fonctionnement et indicateurs FMDS (Z. Al Masry, 14h) :

- Positionnement, concepts, définitions et enjeux de la maintenance
- Concepts principaux de la sûreté de fonctionnement (Terminologie générale de la SdF, les mesures de fiabilité, les lois de probabilité usuelles en fiabilité)
- Modélisation de structures complexes 5AMDEC, Diagramme de Fiabilité, Arbre de défaillance)
- Concepts avancés.
-

ISP2.3 Modélisation des systèmes de production (N. Zerhouni, 16h) :

- Modélisation de systèmes par réseaux de Petri (RdP)
- Analyse des systèmes (propriétés : blocages, conflits, vivacité...)
- Réseaux de Petri non autonomes : RdP temporisés, RdP synchronisés, RdP interprétés, RdP coloriés, RdP stochastiques.
-

ISP2.4 Approche par simulation (Z. Al Masry, 16h) :

- Mise en œuvre sur le logiciel Witness (problèmes industriels types)

ISP2.5 Témoignage industriel (2h) :

- Interventions des industriels sur les indicateurs de performance

ISP3 : Outils de l'ingénieur production

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Z. AL MASRY	60	30	20	8	0	2	4

Mode d'évaluation : Moyenne de plusieurs partiels et/ou travail personnel/TP

Objectif : L'objectif de ce module est de proposer un panorama de méthodes statistiques et d'optimisation.

Plusieurs aspects sont abordés :

- le premier vise à trouver la meilleure solution ou un bon compromis à des problèmes variés et concrets (calculs d'itinéraires, problèmes de logistique, maximiser ses gains futurs, etc.);
- le second porte sur la détection et la classifications pannes.

Détail du programme :

ISP3.1 Outils mathématiques (Z. Al Masry, 10h) :

- Introduction au logiciel R
- Introduction et domaines d'application de la statistique
- Description de plusieurs méthodes : Modèle de régression, Arbre de décision, Analyse composante principale, etc.

ISP3.2 Théorie des graphes (J.M. Nicod, 14h) :

- Notion de graphes pour la modélisation
- Algorithmes classiques : parcours en largeur, parcours en profondeur, composantes connexes, fermeture transitive, plus courts/long chemin, coloration de graphes, flot max/coupe min, problème d'affectation.

ISP3.3 Optimisation (J.M. Nicod, C. Varnier, 22h) :

- Programmation linéaire
- Procédure de séparation et évaluation
- Métaheuristiques, Glouton.

ISP3.4 Théorie des files d'attente (J.M. Nicod, 12h) :

- Généralités sur les files d'attente – Notations
- Etude des principales files d'attente simples (M/M/1, M/G/1, M/D/1) – Etude d'autres files d'attente finies ou infinies (M/M/1/K, M/M/C, M/M/∞)
- Toutes les parties du cours sont agrémentées d'exercices qui permettent de mettre en évidence les pièges et les résultats contre intuitifs auxquels il est difficile de croire avant ce cours.

Conférences (2h) :

- Interventions des industriels sur la gestion de projet industriel.

ISP4 : PHM et maintenance

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Z. AL MASRY	60	24	8	16	0	12	4

Mode d'évaluation : Moyenne de plusieurs partiels et/ou travail personnel/TP

Objectif : L'objectif de ce module est de permettre à l'ingénieur d'acquérir des compétences dans la numérisation des pratiques dans le cadre de l'industrie 4.0.

Détail du programme :

ISP1.2 Système d'information industriel (R. Gouriveau, 12h) :

- Un capital à générer et valoriser : boucle de pilotage, cycle vertueux des données (données – informations – connaissances – actions), macro-fonctionnalités (générer/capitaliser, agréger/suivre, modéliser/analyser, expliquer/anticiper)
- Système d'information : outils historiques et complémentarités (SCADA, MES, GPAO, GMAO, ERP), évolution et tendances (4.0, cloud, edge...), avantages et inconvénients, conditions de succès

ISP4.2 Data Engineering : données et big data (Z. Al Masry, 16h) :

- Problématique de données dans la production
- Collecte des données industrielles
- Type et Qualité de données
- Gestion et Préparation des données
- Big data et production
- Applications industrielles

ISP4.3 Data Science : intelligence artificielle (N. Zerhouni, 10h) :

- Concept et description formelle
- Approches de l'intelligence artificielle
- Réseaux de neurones et visualisation des données
- Détection de pannes
-

ISP4.4 Data Analytics : approches prédictives (Z. Al Masry, Intervenant extérieur, 10h) :

- Approche prédictives basées sur les données pour la prédiction des défauts
- Introduction au notion dur Prognostics and Health Management (PHM)

ISP4.5 Conférences (12h):

- Témoignages : Society 4.0 (I4.0, Health4.0...)

3^{ème} année : Mécanique avancée des structures (UEOMAS)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Emmanuel FOLTÊTE (emmanuel.foltete@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
MAS1 : MECAMAT	60	18	18	24	0	0	4
MAS2 : MECANL	60	18	26	16	0	0	4
MAS3 : DYNA	60	24	0	36	0	0	4
MAS4 : COROB	30	12	6	12	0	0	2

MAS5 : SIMU	30	0	14	16	0	0	2
--------------------	----	---	----	----	---	---	---

L'option Mécanique avancée des structures vise à former des ingénieurs Bureau d'Études / Recherche & Développement dont les compétences sont centrées sur le calcul de structures. Les enseignements proposés couvrent l'ensemble des connaissances nécessaires à la maîtrise de simulations numériques par éléments-finis dans des contextes avancés : comportement mécanique des matériaux non conventionnels, modélisations non-linéaires, calculs statiques/vibratoires/en dynamique rapide, optimisation des structures mécaniques en présence d'incertitudes.

Ce profil est particulièrement bien adapté aux grands groupes des secteurs du transport et de l'énergie, mais également aux petites entreprises innovantes qui développent des produits de haute technicité.

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

MAS1 : MECAMAT – Mécanique des matériaux (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
V. GUICHERET-RETEL	60	18	18	24	0	0	4

Mode d'évaluation :

L'évaluation du module consiste en trois examens sur table, chacun portant sur l'un des trois volets suivants :

- Matériaux composites
- Comportement matériau (cadre thermodynamique, multiaxialité et visco-élastoplasticité)
- Fatigue, Endommagement et Rupture

Détail du programme :

Le module vise à familiariser les étudiants à l'écriture mathématique des lois non linéaires et anisotropes reliant, à différentes échelles de temps et de longueur, le changement de forme du matériau aux efforts qui lui sont appliqués. Il aborde les techniques expérimentales permettant de caractériser les phénomènes ainsi que la modélisation analytique et numérique permettant la simulation des essais de caractérisation des matériaux et l'identification des paramètres par méthode inverse.

MAS2 : MECANL – Mécanique non linéaire (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. THIBAUD	60	18	26	16	0	0	4

Mode d'évaluation : évaluation par interrogations écrites / évaluation en TDAO

Détail du programme :

Les objectifs du module mécanique non linéaire sont liés à l'apprentissage et la maîtrise des outils de modélisation en mécanique non linéaire. En premier lieu les concepts de la mécanique des milieux continus

étendus aux grandes transformations sont introduits (non linéarités géométriques, matérielles et de contact, description du mouvement, mesures de déformations, lois de conservation). La discrétisation des équations de la mécanique (conservation de la quantité de mouvement) est présentée dans le cadre de la méthode des éléments finis non-linéaires. Les algorithmes d'intégration temporelle (méthodes implicite et explicite) appliqués aux problèmes discrétisés sont ensuite développés et mis en œuvre dans des cas généraux (quasi-statique, dynamique rapide, dynamique transitoire). Les techniques de gestion du contact aux interfaces sont également présentées et détaillées (méthodes des multiplicateurs de Lagrange, de pénalisation et du Lagrangien augmenté).

Le comportement et le formalisme particulier des matériaux hyperélastiques sont également présentés.

Des spécificités aux calculs en équilibre quasi-statique et à la dynamique rapide (crash, impact, mise en forme) sont ensuite données et systématiquement appliquées à des exemples pratiques.

MAS3 : DYNA – Dynamique des structures avancée (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
M. OUISSE	60	24	0	36	0	0	4

Mode d'évaluation :

Évaluations en ligne ; rendu des travaux de dimensionnement

Détail du programme :

Le module Dynamique des structures avancées apporte un large éventail de compétences associées à la prédiction numérique du comportement vibratoire des structures industrielles :

- Spécifications en dynamique des structures et méthodologies de simulation associées (formulations de base, modes réels / modes complexes, méthodes de calcul de réponse à des excitations déterministes dans le domaine fréquentiel et dans le domaine temporel, méthodes de calcul de réponse à des excitations aléatoires, modélisation de l'amortissement visqueux, hystérétique, facteur de perte, modal), programmation des algorithmes de base.
- Mise en données de problèmes éléments finis en dynamique des structures (spécificités liées au maillage, aux assemblages, à l'amortissement, choix des stratégies et algorithmes de résolution).
- Application aéronautique : conception d'un essai de vibrations au sol pour la prévention du flottement aéroélastique
- Application dimensionnement : essai de qualification sur une structure type industrielle (gestion de gabarits d'essais chocs, aléatoires, harmoniques), application d'un critère de dimensionnement sur la base d'un cahier des charges
- Amortissement passif par matériaux viscoélastiques
- Application : détermination d'une courbe maîtresse d'un matériau viscoélastique et dimensionnement d'un plot élastique
- Réduction de modèles en dynamique des structures (Ritz, Craig Bampton, Mc Neal, Itération sur les résidus)
- Application : mise en œuvre d'une synthèse modale par composant sur une structure complexe, construction de super éléments
- Prise en main d'un outil de vérification et validation de modèles, mise en place d'une préparation d'essais vibratoires
- Essais et Identification modale en dynamique des structures
- Application : essais et identification sur une structure de type industriel
- Méthodologies de corrélation calculs-essais et validation de modèle en dynamique des structures
- Application : recalage de modèle d'une structure complexe

- Machines tournantes : termes d'inertie en élastodynamique, vibrations de torsion/flexion pour les arbres en rotation, diagramme de Campbell, comportement des paliers

MAS4 : COROB – Conception robuste (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
V. GUICHERET-RETEL	30	12	6	12	0	0	2

Mode d'évaluation : examen final + compte rendu de TP

Cette UE a pour objectif de donner les bases de l'optimisation en mécanique en présence d'incertitudes et éventuellement de modes de défaillance. L'étudiant se familiarise avec la phase de l'analyse du problème posé qui est un préalable à toute étude d'optimisation d'une situation concrète : définition des paramètres de conception, des variables aléatoires, quantification des incertitudes, définition des fonctions objectifs à minimiser. La deuxième partie du module propose à l'étudiant les principales méthodes de sensibilité locales et globales en utilisant des métamodèles pour sélectionner les paramètres influents. Dans la troisième partie du cours, l'étudiant se familiarise avec l'optimisation multi-objectif prenant en compte les incertitudes paramétriques. Enfin, la dernière partie propose à l'étudiant les méthodes de fiabilité courantes pour dimensionner une structure mécanique en présence de modes de défaillance. Les applications proposées en TD/TP permettront de connaître ces méthodes dont certaines sont disponibles dans les codes de calcul, de choisir la méthode adaptée au problème concret traité et enfin de critiquer les résultats d'optimisation, et de retenir les solutions physiquement réalisables dans la phase de conception robuste.

Détail du programme :

- Rappel des distributions de probabilités les plus courantes en mécanique
- Quantification des incertitudes en mécanique : modélisation des incertitudes paramétriques (MC, modèles probabilistes), analyse d'incertitudes
- Métamodèles de représentation des sorties (Surrogate Models) : plan d'expérience numériques (DOE), surfaces de réponses (RSM)
- Analyse de sensibilité : méthodes locales analytiques/semi-analytiques, méthodes globales numériques : ANOVA, Régression, Morris, indices de Sobol
- Optimisation multi-objectif : algorithmes génétiques, méthode de pondération, front de Pareto - solutions Pareto-optimales, analyse de robustesse
- Analyse mécano-fiabiliste : modélisation des variables aléatoires, calcul fiabiliste, indice de fiabilité et probabilité de défaillance, méthodes de calcul d'indice de fiabilité, probabilité de défaillance et facteurs de sensibilité

MAS5 : SIMU – Modélisation et simulation avancées (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
H. LENOIR	30	0	14	16	0	0	2

Mode d'évaluation : évaluation par compétences

Détail du programme :

Le module Modélisation et simulation avancées vise à apporter les outils nécessaires à la résolution de problématiques industrielles courantes telles que :

- la simplification et la réparation de géométrie
- la génération de maillage adapté au problème traité
- les techniques de modélisation d'assemblage (soudure, rivetage, vissage...)

Le module traitera également des thématiques suivantes :

- la simulation de mécanismes avec pièces flexibles
- la simulation d'un procédé de mise en forme par déformation plastique
- la simulation d'une structure en matériau composite

3^{ème} année : Méthodes d'industrialisation (UEOMIND)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Michaël FONTAINE (michael.fontaine@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
MIND1 : Usinage et métrologie de précision	60	16	14	24	4	2	4
MIND2 : Optimisation des opérations de fabrication	60	20	24	16	0	0	4
MIND3 : Conception intégrée en production	60	16	32	8	0	4	4
MIND4 : Qualité et Industrialisation	60	10	10	16	0	24	4

L'option Méthodes d'INDustrialisation (MIND) vise à renforcer les connaissances et compétences des ingénieurs ENSMM pour exercer plus efficacement au sein d'un service lié à la production mécanique industrielle, notamment dans un contexte compétitif alliant des contraintes de précision, de qualité et d'innovation. Le concept d'Industrie 4.0 est au cœur des préoccupations et les notions nécessaires à la maîtrise des procédés de fabrication et de contrôle seront abordées (capacités des moyens, enchaînement des procédés, normes et procédures qualité, chaîne numérique, instrumentation des machines, exploitation des données, modélisation des opérations, définition de critères de surveillance et d'optimisation, méthodes d'amélioration continue, etc.). La R&D en fabrication sera abordée via le micro-usinage et la métrologie sans contact et la conception sera abordée ici via la mise au point d'outillages industriels et la prise en compte des contraintes de fabrication, y compris en considérant la fabrication additive et les nouvelles possibilités qu'elle offre. Les méthodologies théoriques et expérimentales permettant d'étudier et d'optimiser les opérations de fabrication seront vues et appliquées pour l'usinage et la mise en forme par déformation plastique. Enfin, les outils théoriques, expérimentaux et méthodologiques permettant d'atteindre un niveau élevé de qualité et de le maintenir seront présentés et mis en œuvre principalement avec des intervenants issus de l'industrie.

Les travaux pratiques bénéficieront de moyens étendus et modernes disponibles localement (Atelier et salle de métrologie ENSMM, atelier S-MART, plateforme R&D MIFHysTO, atelier du CFAI).

Cette option peut être articulée avec deux formats d'études inédits à l'ENSMM :

- Un contrat de professionnalisation en partenariat avec l'UIMM permettant à l'étudiant d'être salarié d'une entreprise pendant toute l'année universitaire, de réaliser son projet en entreprise et d'enchaîner avec un PFE dans le même contexte.
- Le nouveau Master Génie Mécanique co-habilité avec l'UFC et l'UTBM, dans le parcours M2 Procédés & Matériaux abordant spécifiquement la R&D qui est un axe régional fort tant au niveau académique qu'industriel (μ -usinage mais aussi fabrication additive, mise en forme des matériaux composites, revêtements par voies sèche et humide).

Secteurs d'activités concernés : Tous les secteurs industriels, mais seront spécifiquement illustrés les domaines du luxe, du biomédical et de l'outillage via des applications microtechniques.

Profils d'ingénieurs ciblés : Ingénieur « Méthodes », « BM », « Industrialisation », « Production », « R&D Process », « Qualité », « Prototypes », « Qualification et Essais ».

Les projets de l'UEOPIST en option MIND

Les projets réalisés dans l'option correspondent à des problématiques industrielles de fabrication, de contrôle, de prototypage et de qualité. Ils pourront être de différents types :

- Etudes d'industrialisation de produits
- Conception et fabrication de produits, systèmes et outillages
- Réalisation de prototypes par enchaînement de procédés
- Développement d'une démarche qualité
- Définition de procédures de métrologie spécifiques
- Plans d'expérience et optimisation d'opérations de fabrication
- Instrumentation et surveillance de moyens de production

Des projets seront proposés par les enseignants et leurs partenaires académiques et industriels mais les étudiants peuvent proposer un projet en lien avec ces thématiques à faire valider avant la mi-septembre. Le travail s'effectue typiquement en binôme mais un projet mené à 1 seul élève ou à 3 est envisageable si le sujet le permet et/ou le nécessite. Le suivi du travail se fait via un outil d'ingénierie collaborative en ligne permettant d'échanger des informations, des documents et de mettre en place un planning de travail avec jalons. L'évaluation prend en considération l'organisation du travail de projet et, concernant les créneaux dédiés, ils seront répartis en demi-journées tout au long du semestre avec deux semaines spécifiques réservées (1 semaine attenante aux vacances de la Toussaint et une attenante aux vacances de Noël). Un jalon spécifique avec rendu de travail intermédiaire sera associé à chacune de ces périodes réservées.

Les élèves en contrat de professionnalisation définiront et réaliseront leur projet avec leur employeur industriel, majoritairement au sein de l'entreprise. De nombreux projets en dehors de ce format bénéficieront également de contacts et de co-encadrement industriel en fonction des partenariats avec les enseignants ou la plateforme partenariale de l'école.

Tous les élèves de l'option pourront solliciter le corps d'enseignement et de recherche associé à l'option ou au-delà et bénéficieront ainsi d'un large panel de compétences permettant d'aborder toute la chaîne d'ingénierie nécessaire aux projets liés à l'industrialisation : Conception – Préparation – Fabrication – Contrôle – Instrumentation – Traitement du signal – Caractérisation – Optimisation.

MIND1 : Usinage et métrologie de précision

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
A. GILBIN	60	16	14	24	4	2	4

Mode d'évaluation : Grille de compétences + Contrôle continu (CR de TP, QCM sur cours et conférences)

Détail du programme :

Ce module vient compléter les enseignements de production mécanique dispensés en première et seconde année de la formation initiale ENSMM. Il est destiné à permettre aux élèves ingénieurs de mieux appréhender le monde de la précision en usinage, qu'il s'agisse de justesse et de fidélité dimensionnelles, géométriques ou d'état de surface. Usiner et contrôler des séries de pièces « au micron » est un objectif industriel pour de nombreux domaines industriels tels que le luxe, le biomédical, l'aéronautique et le spatial, la connectique, l'instrumentation et les capteurs notamment. L'objectif sera ainsi de découvrir les défis de l'usinage de précision, les moyens spécifiques d'usinage et de métrologie existants, ainsi que les méthodes d'utilisation et de réglage adaptés aux précisions microniques et aux petites échelles. Cette thématique correspond à une compétence de R&D forte localement et ces enseignements bénéficieront des moyens et techniques modernes de la plateforme MIFHySTO implantée dans l'ENSMM et spécialisée dans l'enchaînement, l'hybridation et l'étude de procédés de microfabrication mécanique. Les procédés et techniques suivantes seront abordés :

- La microfabrication et l'enchaînement de procédés pour les microtechniques
- L'usinage de précision conventionnel (outil coupant ou abrasif) et non conventionnel (laser, électroérosion)
- Le micro-usinage et les effets d'échelles associés
- Les procédés spécifiques (micro-fraisage, décolletage, μ -EDM, gravage et texturation laser)
- Les méthodes de mesure sans contact (microscopie confocale, microscopie électronique, projection de profil numérique, tomographie)
- L'évaluation d'états de surface sur micro-pièces (critères linéiques et surfaciques)

Une étude de cas pour un produit microtechnique ainsi que l'intervention de partenaires industriels permettront d'illustrer et d'agréger les différentes notions et techniques étudiées.

MIND2 : Optimisation des opérations de fabrication

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. MALECOT	60	20	24	16	0	0	4

Mode d'évaluation : Grille de compétences + Contrôle continu (CR de TP, Examens sur table)

Détail du programme :

L'objectif est ici d'appréhender les méthodes d'analyse, de surveillance, de modélisation et d'optimisation qu'il est possible de mettre en œuvre en lien avec la fabrication mécanique dans le contexte de l'industrie 4.0. Cette approche fondamentale et moderne de l'étude des procédés de fabrication permettra notamment aux élèves ingénieurs de mettre en œuvre les techniques suivantes :

- Chaîne numérique en fabrication (CAO – FAO – Post-processing – Fabrication)
- Instrumentation et surveillance des machines-outils
- Méthode du Couple Outil-Matière (COM) et mise en œuvre de plans d'expérience
- Modélisation de la coupe et optimisation des conditions de coupe sous contraintes
- Caractérisation des matériaux pour et par la fabrication (rhéologie classique et procédés de déformation plastique, modélisation thermomécanique)

MIND3 : Conception intégrée en fabrication

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. JAMAULT	60	16	32	8	0	4	4

Mode d'évaluation : Grille de compétences + Contrôle continu (CR de TP, CR de mini-projets)

Détail du programme :

L'objectif du module est de renforcer les compétences des étudiants en conception mécanique en considérant de manière approfondie les contraintes de fabrication et la conception de moyens de production. Les sujets abordés peuvent être regroupés en 2 catégories :

- *Les outils méthodologiques* : Les étudiants seront formés théoriquement et pratiquement à l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), à la méthode TRIZ (approche heuristique de résolution des problèmes inventifs) et au choix avancé des matériaux à l'aide de l'outil logiciel CES.
- *La conception d'outillage* : Les outillages étudiés seront les outils coupants macro et micro, les posages, les moules et matrices, les poinçons de découpage et les outils à suivre. Ces applications incontournables en production industrielles seront abordées via le besoin industriel associé en production, les limites technologiques, les contraintes de fabrication à prendre en compte, mais aussi la conception et la simulation à l'aide de logiciels métiers et enfin des démonstrations de leur mise en œuvre.

MIND4 : Qualité & Industrialisation

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
C. DIELEMANS	60	10	10	16	0	24	4

Mode d'évaluation : Grille de compétences + Contrôle continu (CR de TP, QCM sur cours et conférences)

Détail du programme :

Le module se veut être une passerelle entre l'ENSMM et l'entreprise. Les enseignements proposés sont complémentaires de ceux de la première année et majoritairement présentés par des professionnels issus de l'industrie. Les enseignements abordés sont les suivants :

- *La cotation 3D* : La cotation fonctionnelle est un problème essentiellement tridimensionnel. Le GPS, vu en première année, montre que la définition du produit ne se limite plus à un problème plan. Ce cours présente une méthode de cotation fonctionnelle 3D qui permet de spécifier le produit, de façon rigoureuse et en partant de la condition d'aptitude à l'emploi.

- *Le tolérancement statistique* : L'objectif du tolérancement est d'identifier des limites de variabilité de production permettant d'assurer la qualité fonctionnelle d'un produit. Deux approches sont possibles: le tolérancement au pire des cas et le tolérancement statistique. On montrera ici l'intérêt potentiel du tolérancement statistique pour augmenter les tolérances sur chaque pièce.
- *Les méthodes d'amélioration continue* : Les grandes méthodes actuelles mises en œuvre dans l'industrie pour améliorer en continu le fonctionnement de l'entreprise sont présentées ici. Les aspects liés à la logistique et à la fiabilisation des circuits d'approvisionnement seront également abordés. Approches développées : a) Lean manufacturing, b) Six sigmas, c) Total productive maintenance (TPM).
- *Les réalités industrielles de la qualité* : les élèves ingénieurs vont ici découvrir les impacts internes et externes de la qualité tant du point de vue financier que du point de vue organisationnel. Des spécialistes du monde industriel prendront en charge ce thème par des conférences. Aspects abordés : a) Le coût de la non qualité, b) Le coût d'obtention de la qualité, c) Les relations client / fournisseur.
- *Management par et pour la qualité* : Ce thème aborde les aspects managériaux de la qualité. Pour la mise en place d'une politique de qualité totale efficiente, il faut manager les hommes, leurs compétences et les organisations de l'entreprise. Ce sont ces aspects qui sont présentés ici sous forme de conférences : a) Management des hommes et de leurs compétences - Gestion des compétences, b) Management des organisations - Mode processus des entreprises, c) Normes ISO TS 16949 (référentiel qualité automobile) et 9001 V2008.

3^{ème} année : Matériaux et surfaces fonctionnels (UEOMSF)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Patrice BERCOT (patrice.bercot@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
MSF1 : Matériaux avancés	60	50	10	0	0	0	4
MSF2 : Analyse des surfaces et interfaces	60	46	10	0	0	4	4
MSF3 : Tribologie	60	36	8	16	0	0	4
MSF4 : Corrosion et protection des surfaces	60	32	8	20	0	0	4

L'option " Matériaux et surfaces fonctionnels " est une option qui :

- se différencie des autres options par la spécificité surfaces,
- allie approche fondamentale et applications et qui ouvre la voie vers une multitude de secteurs industriels.

Les compétences acquises dans le cadre de cet enseignement permettront aux ingénieurs d'être capables de choisir et de mettre en œuvre des matériaux performants destinés à des applications spécifiques. Ils pourront également faire face aux problèmes liés à la dégradation des matériaux et des mécanismes (usure, vieillissement, corrosion). Ils sauront analyser les dysfonctionnements des systèmes d'un point de vue mécanique et apporter des solutions en termes de choix des matériaux, traitement et fonctionnalisation des surfaces. Les débouchés sont vastes : ils vont du transport, à l'industrie mécanique et l'horlogerie en passant par l'ingénierie biomédicale ou encore les micro et nanotechnologies.

Les quatre modules spécifiques visent à consolider les connaissances des futurs ingénieurs dans les domaines de la science des matériaux et des surfaces.

Les projets de l'UEOPIST en option MSF

Les projets en option Matériaux sont souvent proposés par les enseignants, mais des sujets amenés par les élèves, en provenance d'associations ou d'industriels, directement ou par la plateforme partenariale ENSMM, pourront également être considérés sous réserve de l'accord de la personne responsable de l'UE. Ces sujets devront évidemment être en relation avec les thématiques de l'option.

Exemple de sujets validés :

- Gants Casoli
- Conduction mixte dans les semi-conducteurs
- Production instantanée d'eau chaude par induction
- Étude de matériaux et procédés pour la conception d'un échafaudage innovant
- Dépôts de nickel brillants et durs
- Étude de la perméation de réservoirs de stockage d'hydrogène haute pression de type IV fabriqués par enroulement filamentaire.

La nouvelle liste initiale de projets sera présentée vers la fin septembre. Les élèves devront alors soit prendre contact avec la personne responsable de l'UE pour lui présenter les sujets qu'ils/elles veulent amener, soit prendre contact avec les encadrants potentiels de la liste de projets présentés, puis faire un choix, sachant qu'il ne peut y avoir qu'au maximum deux personnes sur un même sujet.

Évaluation de l'UE :

- Un rapport de 6 pages maximum (annexes non comprises) est remis à l'encadrant et à la personne responsable de l'UE selon un modèle de rapport qui sera fourni. Cette remise des rapports a lieu quelques jours (date à définir avec le responsable des projets) avant la présentation « flash » des projets. Une note (coef. 2) tenant compte du travail effectué est ensuite donnée par l'encadrant.
- A la fin des projets, tous les binômes présentent leur projet en 3 minutes maximum devant les enseignants et les élèves sous la forme d'un poster au format A3 (un fichier type pour le poster sera fourni). 10 minutes de questions suivront cette présentation « flash ». Une note pour la présentation (coef. 1) et une note pour le rapport (coef. 1) seront données par les enseignants.

La note finale est la moyenne de la note encadrant (coef. 2), de la note du rapport (coef. 1) et de la note de présentation (coef. 1).

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

MSF1 : Matériaux avancés (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
N. MARTIN	60	50	10	0	0	0	4

Mode d'évaluation : (2 partiels de 2h)

Détail du programme :

Objectif du cours : Faire découvrir à l'étudiant la fabrication et les propriétés physiques et physico-chimiques de matériaux innovants à base de composites, de céramiques, de métamatériaux, ou encore sous forme de films minces. Illustrer de manière non-exhaustive certaines caractéristiques de ces matériaux avec un accent particulier lorsqu'ils sont utilisés pour des applications capteurs.

Le contenu de ce module se décompose en 4 parties :

1. Films minces et composites (20h CM + 4h TD)

Films minces

Les objectifs de ce cours sont multiples : fournir à l'étudiant les connaissances en technologie du vide et des plasmas, nécessaires à l'étude des méthodes de dépôt par voie sèche, décrire de manière concise les principes de base des différentes techniques PVD et CVD, illustrer de manière non-exhaustive, certaines caractéristiques et propriétés propres aux revêtements obtenus en phase vapeur, montrer les applications potentielles des matériaux en couches minces.

Composites

Après un bref rappel concernant la classification des matériaux, on présente dans la partie introductive de ce cours les généralités sur les matériaux composites, notamment, la terminologie, l'historique, les avantages et inconvénients et enfin les domaines d'applications. Les matériaux composites à renforts de type carbone, verre, ou aramide et à base de matrice organique sont ensuite étudiés. Les méthodes d'élaboration des renforts, leur architecture, leurs propriétés mécaniques sont présentées. Les différentes méthodes de fabrication des pièces composites sont également abordées. En parallèle de ces considérations technologiques et expérimentales, on présente des méthodes simples de calcul de détermination des paramètres élastiques ; de l'échelle microscopique à l'échelle mésoscopique (loi des mélanges) jusqu'à l'échelle macroscopique de la structure (théorie des stratifiés). Les lois de comportement élastique dans et

hors axes d'anisotropie sont explicitées. Les critères de rupture et les notions d'endommagement de ces matériaux anisotropes sont abordés.

Partiel 1 : Films minces + Composites

2. Les métamatériaux (10h CM + 2h TD)

Les métamatériaux sont des matériaux artificiels développés pour contrôler et manipuler les ondes telles que optiques ou acoustiques pouvant se propager dans des gaz, des liquides ou des solides. Ces nouveaux matériaux présentent des propriétés de propagation exceptionnelles qu'on ne retrouve pas dans un matériau naturel. Dans ce cours, nous traiterons des métamatériaux dans différents domaines de la physique tels que la mécanique, l'acoustique, la thermique, et l'électricité. On évoquera la notion de cristaux phononiques, de bandes interdites, de propriétés effectives et de capes de protections.

3. Nanomatériaux (8h CM + 2h TD)

Qu'ils soient à base de nanopoudres, de nanograins, de nanofils ou de nanocouches, les nanomatériaux constituent une nouvelle classe de matériaux aux propriétés remarquables. En effet, les propriétés d'un matériau changent considérablement lorsqu'on passe de l'état massif à l'état nanométrique. Ainsi il a été possible d'élaborer des céramiques ductiles à base de nanopoudres, des alliages métalliques superplastiques, des revêtements à très hautes performances mécaniques ou encore des nanomatériaux pour vectoriser des médicaments et réaliser des traitements ciblés pour certains cancers.

Dans le cadre de ce cours, nous préciserons la définition d'un nanomatériau, d'un nano-objet et d'un matériau nano-structuré en volume ou en surface. Nous passerons en revue les différentes méthodes d'élaboration des nanomatériaux ainsi que leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Les propriétés spécifiques des nanomatériaux seront présentées et illustrées par de nombreux exemples en lien avec les secteurs applicatifs de l'automobile, de la cosmétique, de la santé ou encore de l'énergie. Des données sur les enjeux économiques et sur les risques toxicologiques en lien avec la manipulation des nanomatériaux seront également présentées.

Une séance spécifique sera consacrée aux nanotubes et matériaux bidimensionnels avec des épaisseurs de l'ordre d'un seul atome.

4. Matériaux pour capteurs (12h CM + 2h TD)

Les objectifs de ce cours sont de présenter les aspects fondamentaux et technologiques de différents matériaux utilisés pour la conception de micro-capteurs chimiques innovants pour la détection de molécules dans différentes matrices (gaz, liquides). Différents types de transducteurs (mécaniques, électriques, électrochimiques) seront décrits sous l'angle de leur fabrication et de leur mise au point pour des applications spécifiques. En particulier, l'accent sera mis sur les différentes méthodes d'élaboration et également sur les performances de détection (sélectivité, sensibilité, répétabilité ...). Les matériaux piézoélectriques seront également abordés. Ces derniers trouvent de nombreuses applications dans le domaine des capteurs. Le cours présentera le formalisme de la piézoélectricité, les technologies de fabrication et des applications dans le domaine de la détection des gaz et liquides par capteurs à ondes de volume et de surface.

Partiel 2 : Métamatériaux + Céramiques + Matériaux pour capteurs

MSF2 : Analyse des surfaces et interfaces (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. STEMPELE	60	46	10	0	0	4	4

Mode d'évaluation : (2 partiels de 2h)

Détail du programme :

Objectif du cours : Fournir à l'étudiant les connaissances de base sur la notion de surface aux échelles sub-micrométriques à atomiques. Décrire de manière concise les principales techniques de caractérisation physiques, physico-chimiques et mécaniques d'une surface. Illustrer de manière non-exhaustive, certaines caractéristiques et propriétés d'une surface.

Le contenu de ce module se décompose en 4 parties :

1. Description des surfaces et interfaces (8h CM – 4h TD)
 - Description et propriétés d'une surface
 - Énergie de surface d'un solide – Mouillabilité
 - Tension superficielle d'un liquide
 - Adsorption
 - Fonctionnalisation de surface
 - Adhésion et adhérence – Mesure de force d'adhésion
 - Exercices d'application
2. Analyses structurales (10h CM + 4h TD + 2h Conf)
 - Interactions sonde-matière
 - Techniques ioniques et électroniques
 - Spectroscopie de Masse (SIMS, Tof SIMS)
 - Spectroscopie électronique (EELS, AUGER)
 - Ellipsométrie
 - Exercices d'application.

Conférence (2h Conf)

Partiel 1 (2h) : *Description des surfaces et interfaces + Analyses structurales et chimiques des matériaux I*

3. Analyses élémentaires et spectroscopie (14h CM + 2h TD)
 - Bases physiques de l'analyse des surfaces et classement des méthodes d'analyse
 - Microscopie électronique (MEB, MET) et Spectrométrie de rayon X (EDS) et (WDS)
 - Fluorescence X
 - Spectroscopie d'Absorption (XAS- EXAFS-SEXAFS)
 - Spectrométrie à décharge lumineuse (SDL)
 - Spectroscopie IRRAS
 - Spectroscopie RAMAN
 - Spectroscopie d'émission XPS-ESCA
 - Exercices d'application.
4. Microscopies en champ proche – sondes nanométriques (14h CM + 2h Conf)
 - Microscopie à force atomique (AFM)
 - Contact Force Microscopy
 - Dynamic Force Microscopy
 - Tapping Mode Force Microscopy
 - Autres Modes (EFM et MFM)
 - Microscopie à sonde thermique (SthM et μ TA)
 - Sonde Kelvin et microscopie KPFM
 - Micro-balance à quartz- QCM et QCM-D
 - Nanoindentation

Conférence : Microscopie à effet Tunnel (STM) (2h Conf)

Partiel 2 (2h) : *Analyses structurales et chimiques des matériaux II + Microscopies en champ proche et Sondes Nanométriques*

MSF3 : Tribologie (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
J. TAKADOUM	60	36	8	16	0	0	4

Mode d'évaluation : (2 partiels de 2h) x 0.7 + (moyenne notes de TP) x 0.3

Détail du programme :

Objectif du cours : Dans ce cours sont présentés les différents aspects de la tribologie : mécanique du contact, frottement et usure, protection des surfaces (lubrification et matériaux spécifiques). Les notions de troisième corps et de circuit tribologique sont également abordées afin de mieux décrire l'évolution de l'interface entre les surfaces frottantes et son rôle dans le comportement tribologique du système considéré. Les différents aspects et concepts sont illustrés par des exemples de systèmes mécaniques et mécatroniques (moteurs, horlogerie, robots, instruments chirurgicaux et instruments de musique, etc.), par des résultats récents issus de la littérature scientifique et par des études de cas. Le cours est complété par des travaux pratiques qui mettent en œuvre des manipulations qui illustrent les différents aspects de la tribologie.

Le contenu de ce module se décompose en 4 parties :

1. Mécanique du contact statique (6h CM – 2h TD)
 - Généralités sur le contact, types de contact
 - Champs de contraintes et déformations dans un massif élastique
 - Théorie de Hertz
 - Énergie de surface : origine et composantes
 - Modèles de contact adhésif
 - Exercices d'application.
2. Frottement, usure et tribochimie (10h CM – 2h TD)
 - Définitions tribologie, frottement, usure
 - Usure : mécanismes, lois d'usure
 - Frottement définition, historique
 - Lois de frottement
 - Tribométrie : mesure expérimentale de l'usure et du frottement, types de tribomètres
 - Concept de troisième corps et circuit tribologique
 - Tribochimie : transformations sous contraintes et réactions tribochimiques
 - Exercices d'application.
3. Lubrification/lubrifiants (12h CM – 4h TD)
 - Définitions viscosité, rhéologie, métrologie de ces grandeurs
 - Lubrifiants, définition
 - Régimes de lubrification : sec, limite, mixte, hydrodynamique
 - Équations de la lubrification (Navier Stokes, Reynolds)
 - Exercices d'application.
4. Matériaux pour la tribologie (8h CM)

4 TP : Tribologie, Rugosité, Énergie de surface, Test de lubrifiants, soit 16h

MSF4 : Corrosion et protection des surfaces (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. BERCOT	60	32	8	20	0	0	4

Mode d'évaluation : (1 partiel de 2h) x 0.7 + (moyenne notes de TP) x 0.3

Détail du programme :

Objectif du cours : Ce module permet d'acquérir de larges connaissances dans le domaine de la corrosion et du traitement de surface des matériaux : caractériser le type de corrosion, tester les matériaux et choisir les techniques de protection en termes de traitement de surfaces et de choix des matériaux.

Le contenu de ce module se décompose en 5 parties :

La première partie concerne les phénomènes de corrosion des matériaux et des structures (corrosion humide, corrosion sèche). L'accent est particulièrement mis sur le choix des matériaux et les applications industriels (enjeux économiques, exemples d'applications, données sur la sécurité et la fiabilité des systèmes). Les parties suivantes sont consacrées à la préparation et la protection des surfaces contre la corrosion, notamment à l'aide de techniques de traitements de surfaces. Ces techniques peuvent également être mises en œuvre pour fonctionnaliser les surfaces en vue d'autres d'applications (surfaces intelligentes, surface hydrophile, surface hydrophobe, surface collante, ...). Des exemples seront donnés et commentés.

1. Corrosion (aspects thermodynamique et cinétique des réactions d'oxydation aux surfaces et interfaces, ...) (18h CM – 4h TD)
2. Élaboration de revêtements anti-corrosion (10h CM – 2h TD)
3. Pollution / préparation des surfaces (2h CM)
4. Surfaces fonctionnelles (2h CM – 2h TD)

2 TP Corrosion + 3 TP protection des surfaces soit 20h

3^{ème} année : Systèmes mécatroniques et robotiques (UEOSMR)

240 heures d'enseignement, 16 ECTS, 1 unité d'enseignement

Responsable : Guillaume LAURENT (guillaume.laurent@ens2m.fr)

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
SMR1 : Modélisation	78	44	34	0	0	0	5
SMR2 : Commande	42	24	18	0	0	0	3
SMR3 : Robotique	58	28	14	16	0	0	4
SMR4 : Vision par ordinateur	56	18	14	24	0	0	4
Conférences industrielles	6	0	0	0	0	6	0

La mécatronique est une technique industrielle consistant à utiliser en synergie la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique pour la conception et la réalisation de produits performants et innovants. La mécatronique est présente dans tous les domaines : dans les produits grands publics, dans le médical, dans la défense, dans l'industrie, dans les transports et même dans l'agriculture ! Le robot est l'exemple type de l'apport de la mécatronique pour l'industrie de production : en vingt ans, ses performances ont été multipliées par quatre alors que sa consommation énergétique et son coût ont été divisés par quatre. Un autre domaine phare de la mécatronique est l'automobile. Tout en effet est mécatronique dans la voiture d'aujourd'hui : la motorisation, le freinage, la transmission, l'échappement, le confort, la sécurité et désormais la conduite...

La mécatronique est un secteur très pourvoyeur d'emplois et qui doit répondre aux besoins croissants des produits et industriels en matière d'augmentation des performances, de la sécurité et de la compétitivité. Le marché de la robotique industrielle est notamment en croissance continue de l'ordre de 12% par an au niveau mondial, tandis que s'ouvrent de nouveaux marchés dans les services, l'agriculture et la défense.

L'option « Systèmes Mécatroniques et robotiques » a pour objectif de former des ingénieurs polyvalents ayant une vision pluridisciplinaire large et le goût du challenge pour développer des systèmes et des produits innovants. L'option renforce la formation ENSMM dans quatre disciplines : la modélisation, la commande, la robotique et la vision par ordinateur.

L'équipe pédagogique est constituée d'enseignants-chercheurs reconnus en automatique et en robotique, membres de l'Institut FEMTO-ST (laboratoire associé à l'ENSMM, à l'UBFC et au CNRS). Des visites et conférences sont organisées chaque année pour renforcer la culture scientifique et industrielle des étudiants. Dans ce cadre, l'entreprise Sonceboz fera trois interventions sur la mécatronique pour l'automobile. Au niveau pratique, l'option s'appuie sur le pôle S.MART (anciennement AIP-PRIMECA) qui possède l'un des plus grands parcs de robotique industrielle.

Les projets de l'UEOPIST en option SMR

L'objectif du projet est de développer et de mettre en œuvre les méthodes et outils étudiés dans l'option sur des systèmes physiques ou logicielles. Il s'agit de concevoir un système mécatronique, de développer les méthodes de traitement d'informations issues de capteurs et d'intégrer les lois de commande pour permettre la commande en boucle fermée de systèmes réels mécatroniques ou micromécatroniques.

Les projets sont réalisés par équipes de 4 à 5 étudiants avec des rôles différents (chef de projet, ingénieur mécanicien pour la conception mécanique, ingénieur électronicien pour le traitement du signal, ingénieur automaticien pour la commande, ingénieur roboticien pour la cinématique et la vision).

Les sujets sont proposés par des industriels, par le département de micromécatronique du laboratoire FEMTO-ST ou par les étudiants. Ils peuvent également être partagés avec une option.

Les projets portent, entre autres, sur les domaines suivants :

- *Systèmes industriels (actionneurs, capteurs, robots)*
- *Robots mobiles, robots biomédicaux, microrobots*
- *Microsystèmes (matériaux actifs, actionneurs piézoélectriques, capteurs de force, etc.)*
- *Vision, traitement d'image, contrôle qualité*

Programme détaillé de l'unité d'enseignement spécifique

SMR1 : Modélisation (78h)

Intervenants : Gonzalo CABODEVILA, Emmanuel PIAT, Yongxin WU, Emmanuel RAMASSO

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Modélisation des systèmes mécatroniques	20	12	8	0	0	0	5
Identification des systèmes	20	10	10	0	0	0	
Filtrage et observation	38	22	16	0	0	0	

Ce module propose des méthodes pour modéliser un système mécatronique, identifier les paramètres du modèle et observer l'état du système à l'aide de données capteurs.

Modélisation des systèmes mécatroniques par Bond Graph : les systèmes mécatroniques sont par définition des systèmes au sein desquels plusieurs phénomènes physiques (mécanique, électrique, magnétique, etc.) sont mis en jeu. L'obtention d'un modèle analytique (pour la simulation, l'analyse ou la commande) par l'écriture des différentes lois physiques peut s'avérer fastidieux et délicat. Le bond graph (ou graphe de liaisons) est un outil de modélisation et d'analyse fondé sur le principe de la conservation de la puissance et qui permet de contourner ces difficultés. Les TD seront réalisés avec le logiciel 20-SIM.

Identification des systèmes : la problématique abordée concerne la détermination d'un modèle de représentation d'un processus à partir de la connaissance des signaux d'entrée/sortie. Le comportement dynamique prédit par le modèle doit être le plus voisin possible de celui du processus considéré, au sens d'un critère. Ce cours aborde les méthodes dites non paramétriques et les approches dites paramétriques pour les systèmes linéaires. Les méthodes seront mises en pratique en TD avec Matlab-Simulink et Python.

Filtrage numérique et observation d'état : ce cours aborde la problématique de la reconstruction d'un signal d'intérêt lorsque ce dernier a été altéré par du bruit de mesure ou lorsqu'il n'est pas directement mesurable à l'aide d'un capteur. Trois cas de figure seront abordés : (i) le signal d'intérêt est une entrée inconnue d'un

système dynamique, (ii) le signal d'intérêt est la sortie d'un système qui a été altérée par du bruit de mesure (iii) le signal d'intérêt est l'état inconnu d'un système. Cette problématique sera abordée pour des systèmes linéaires et non-linéaires. Les méthodes seront mises en œuvre en TD avec Matlab-Simulink.

Détail du programme :

- *Modélisation des systèmes mécatroniques par Bond Graph* : présentation, modélisation par l'approche énergétique, procédures de construction de modèles, notion de causalité, transformation en schéma bloc (fonction de transfert et représentation d'état), approche hamiltonienne à ports.
- *Identification des systèmes* : identification non paramétrique (méthodes élémentaires, réponses fréquentielles, réponses indicielles, systèmes oscillants, systèmes apériodiques, méthode de Strejc, exemples), rappels sur les méthodes d'optimisation d'une fonction multivariable, identification paramétrique (structure des modèles ARX et ARMAX, méthodes de détermination des paramètres).
- *Filtrage numérique et observation d'état* : approches fréquentielles (représentation fréquentielle et filtrage numérique du signal), approches temporelles (observateur d'état, observateur d'état étendu, observateur d'entrées inconnues).

Savoirs et compétences à acquérir :

- Modéliser un système multi-physique par l'approche énergétique.
- Simuler un système mécatronique avec le logiciel 20-SIM.
- Synthétiser un modèle suffisant pour mettre en œuvre la commande d'un système (linéaire, non linéaire).
- Représenter fréquemment, filtrer et estimer des signaux (entrée, sortie ou état) à l'aide de méthodes numériques développées sous Matlab-Simulink et/ou Python.

Mode d'évaluation :

- *Modélisation des systèmes mécatronique par Bond Graph* : 1 examen à mi-parcours et 1 mini-projet.
- *Identification des systèmes* : 1 examen terminal.
- *Filtrage numérique et observation d'état* : 1 examen à mi-parcours et 1 mini-projet.

SMR2 : Commande (42h)

Intervenants : Yann LE GORREC, Yongxin WU

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Commande multivariable	22	12	10	0	0	0	3
Commande robuste	20	12	8	0	0	0	

On s'intéresse dans ce module à la commande des systèmes dynamiques multivariables (c'est-à-dire possédant plusieurs actionneurs et plusieurs capteurs). Ces méthodes permettent de tenir compte des éventuels couplages au sein du système ainsi que des perturbations ou des incertitudes du modèle auxquels les systèmes mécatroniques sont souvent soumis. Une première partie de ce module porte sur les approches de type retour d'état plus observateur, avec synthèse par placement de structure propre ou par commande optimale. Ces approches sont validées par un mini-projet portant sur la synthèse de lois de commande pour un procédé chimique exothermique fortement non linéaire. La seconde partie du module porte sur l'élaboration de lois de commande robustes par retour dynamique de sortie. Le mini-projet associé à cette partie du module porte sur la synthèse de lois de commande robuste pour l'actionnement rapide et précis d'un micro-actionneur électromécanique. Les TD et les mini-projets seront réalisés avec Matlab-Simulink.

Détail du programme :

- *Commande multivariable par retour d'état plus observateur* : rappels de calcul matriciel, introduction aux systèmes multivariables, placement de structures propres par retour d'état, placement de

structures propres par retour dynamique de sortie, synthèse d'observateurs, commande Linéaire Quadratique (LQ), commande Linéaire Quadratique Gaussienne (LQG).

- *Commande robuste* : rappels de la commande LQ et sa robustesse, commande dynamique LQG et la récupération de robustesse par méthode LTR, définitions des robustesses au sens de la norme H2 et de la norme H infinie, introduction des systèmes avec incertitudes non structurées et structurées, modélisation incertaine, théorème du petit gain, synthèse de la commande robuste, synthèse par la méthode de H infinie.

Savoirs et compétences à acquérir :

- Modéliser et analyser les systèmes multivariables.
- Synthétiser la commande pour les systèmes multivariables.
- Connaître les notions de la robustesse.
- Modéliser les systèmes avec les incertitudes.
- Connaître la base des méthodes de la commande robuste.

Mode d'évaluation :

- *Commande multivariable par retour d'état plus observateur* : 1 mini-projet.
- *Commande robuste* : 1 mini-projet.

SMR3 : Robotique (58h)

Intervenants : Guillaume LAURENT, Nadine PIAT, Kanty RABENOROSOA

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Robotique industrielle	42	14	12	16	0	0	4
Robotique médicale	8	6	2	0	0	0	
Robotique de service	8	8	0	0	0	0	

Un robot est un système mécatronique programmable disposant de moyens de perception, d'interprétation et d'action qui lui permettent de réaliser des tâches imitant ou reproduisant des actions humaines. Ce module aborde la robotique industrielle, c'est-à-dire les robots manipulateurs destinés à des tâches de production comme la soudure, la peinture, l'assemblage, la manutention, l'emballage-conditionnement, etc. Le module propose également une ouverture aux nouvelles applications de la robotique dans le domaine médical et dans le domaine plus large des services et de la robotique mobile. Les travaux pratiques sont réalisés sur les robots industriels du pôle S.MART.

Détail du programme :

- *Robotique industrielle* : définition et typologie des robots industriels, marché de la robotique industrielle, actionneurs/capteurs/transmission d'un robot, modélisation d'un robot (géométrique, cinématique et dynamique), commande des axes, génération de trajectoire, programmation d'un robot, conception d'une cellule robotisée, cobotique.
- *Robotique médicale* : typologie des robots médicaux, gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur (GMCAO), applications, commande des robots médicaux.
- *Robotique de service* : définition de la robotique de service, nouveaux marchés de la robotique de service, robotique mobile, locomotion, perception, modélisation, navigation, planification.

Savoirs et compétences à acquérir :

- Connaître le fonctionnement des robots industriels, médicaux et mobiles.
- Programmer un robot industriel.
- Concevoir une cellule robotisée industrielle ou une structure robotique répondant à un besoin médical.
- Concevoir un nouveau robot industriel, médical ou mobile (cinématique, modélisation et commande).

Mode d'évaluation :

- *Robotique industrielle* : 1 examen terminal, 4 comptes rendus de TP.
- *Robotique médicale* : 1 compte rendu de TDAO.
- *Robotique de service* : 1 étude d'article.

SMR4 : Vision par ordinateur (56h)

Intervenants : Nicolas ANDREFF, Sounkalo DEMBELE, Emmanuel RAMASSO

	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
Vision 2D	28	10	6	12	0	0	4
Vision 3D	28	8	8	12	0	0	

La vision par ordinateur a pour objectif d'extraire une information de haut niveau à partir d'images ou de flux vidéos. Ce processus inclut l'acquisition des images, leur traitement et leur analyse en vue de la construction d'informations de moindres dimensions comme l'attitude d'un objet ou la reconnaissance d'un visage. Ce module propose une initiation à la vision par ordinateur avec des perspectives industrielles. Les applications dans le domaine industriel sont en effet en plein essor. On peut citer le contrôle qualité, la métrologie dimensionnelle, la reconstruction 3D, la détection et le suivi d'objets ou d'opérateurs, etc. Les travaux pratiques sont réalisés dans la salle vision du pôle S.MART avec Python et Matlab.

Détail du programme :

- *Vision 2D* : formation des images numériques (imagerie conventionnelle monochrome et couleur, microscopie optique, microscopie électronique à balayage), traitement d'images (morphologie, réhaussement, débruitage, ...), segmentation et analyse d'images.
- *Vision 3D* : modélisation de la projection perspective, géométrie à 1 vue (estimation de pose), géométrie à 2 vues (triangulation, contrainte épipolaire, mise en correspondance, homographie entre plans, mosaïques d'images), géométrie à 3 vues (contrainte trifocale), géométrie à n vues (étalonnage de caméra, reconstruction 3D par le mouvement).

Savoirs et compétences à acquérir :

- Analyser des problèmes de vision par ordinateur pour déterminer l'imagerie adaptée et les traitements associés.
- Analyser des solutions de vision par ordinateur pour en déterminer les performances.
- Développer des applications de vision par ordinateur.
- Connaître les bases de la géométrie projective des points et droites.
- Étalonner des caméras.
- Réaliser des estimations d'attitude.
- Maîtriser la stéréoscopie, la géométrie épipolaire, la triangulation.
- Appréhender la reconstruction tridimensionnelle.

Mode d'évaluation :

- *Vision 2D* : 1 examen terminal, 1 mini-projet.
- *Vision 3D* : 1 examen terminal, comptes rendus de TP.