

Programme de Formation

Année scolaire

2017 – 2018

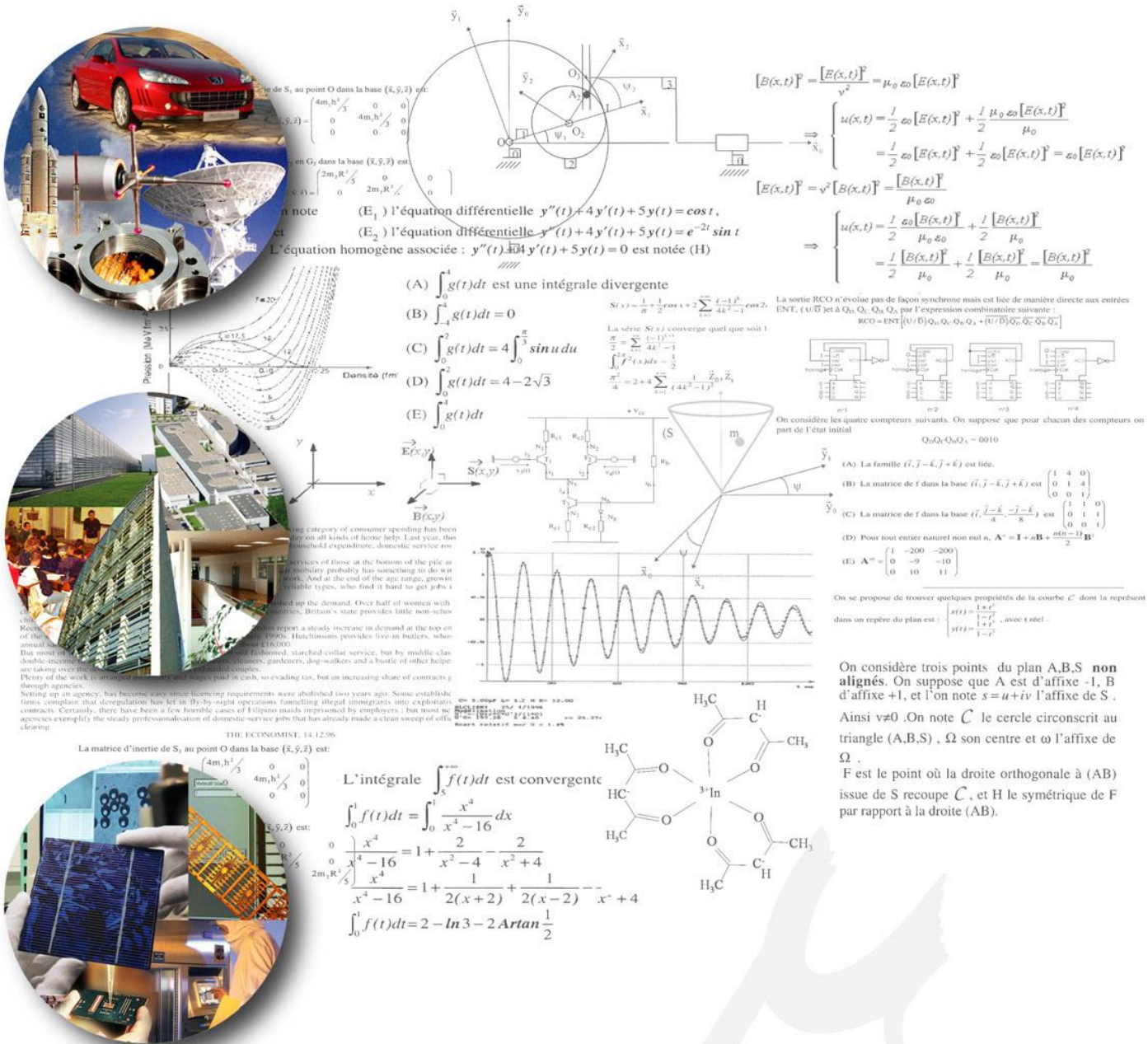


Table des matières

La scolarité à l'ENSMM	3
1^{ère} année : Semestre BLEU	5
1^{ère} année : Semestre JAUNE	10
2^{ème} année : Tronc commun	15
2^{ème} année : Parcours Ingénierie des Systèmes.....	17
2^{ème} année : Parcours Ingénierie des Produits	21
Semestre d'OPTION	25
ETE : Energie, Transports et Environnement.....	30
INNOV : Ingénierie de l'innovation.....	33
MAT : Matériaux et Surfaces.....	43
MENV : Mécanique, Ingénierie, Environnement.....	47
MMP : Mécanique, Matériaux, Procédés	51
MCT : Mécatronique	55
MEMS : Microtechniques et Systèmes embarqués en microtechniques	61
PROD : Ingénierie des systèmes de production	66
SANTE : Microsystèmes et Santé	71
Modules Transverses M4	76
Modules transverses M5.....	86

La scolarité à l'ENSMM

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 (6 ECTS)
 - 1 module PROJET (4 ECTS)
 - 2 modules TRANSVERSEES M4 et M5 au choix (8 ECTS)
 - 3 modules SPECIFIQUES M6 M7 M8 (12 ECTS)
- 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	30	4	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	4	40	5	5	
		PROD1	30	12	18	0	0	2	
	UEB5	AUT1	60	10	26	24	0	4	
		INFO1	60	4	28	28	0	4	
TOTAL			465	98 21%	246 53%	116 25%	5 1%	30	
JAUNE	UEJ1	SHS2	30	4	26	0	0	2	
		LV2	60	0	60	0	0	3	
	UEJ2	CM1	90	0	90	0	0	6	
		SDM1	90	28	32	24	6	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			465	86 18%	290 63%	80 17%	9 2%	30
				930	184 19,8%	536 57,6%	196 21,1%	14 1,5%	60

1^{ère} année : Semestre BLEU

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

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEB1 : SHS1 + LV1	Jean du VERGER	90	5
UEB2 : MATH1 + TS1	Rachid LAYDI	76	5
UEB3 : MMC1 + MMC2	Sylvaine MALLET	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	4	40	5	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
N. ZERHOUNI	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
S. GABEREL	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 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 une préparation intensive au BULATS.

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
 - o Notions de statistiques descriptives : moyenne, écart-type, séries doubles, méthode des moindres carrés.
 - o Rappels de probabilités : lois usuelles (binomiale, Gauss, Poisson, Khi-deux) Détail du programme .
 - o Statistiques inférentielles : échantillonnage et estimations, tests d'hypothèses.
 - o Introduction à la méthode des plans d'expérience.
 - o Introduction à la fiabilité (test de Weibull).
- Calcul Matriciel et Vectoriel (CMV) : Cours 4h, TD 18h
 - o 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.
 - o 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, courbes, 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
F. TRIVAUDEY V. GUICHERET	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
F. TRIVAUDEY V. GUICHERET	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	30	4	26	0	0	0	2

Mode d'évaluation : évaluation mi semestre + partiel fin de semestre

Détail du programme :

- Droit (N.BILLOT)
 - o Qu'est-ce qu'une personne pour le droit ?
 - o Les principales formes juridiques des organisations. Le statut d'entrepreneur.
- Comptabilité (N.BILLOT)
 - o Savoir lire un bilan et un compte de résultat : les documents comptables et leur finalité.
 - o Performance et équilibre financier de l'entreprise au travers de l'analyse du bilan et du compte de résultat (bilan fonctionnel, S.I.G. et C.A.F.)
- Gestion de projet – 2^{ème} semestre uniquement (8h CM)
 - o Outils nécessaires à la gestion de projet

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

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

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEJ1 : SHS2 + LV2	Jean du VERGER	90	5
UEJ2 : CM1 + SDM1	Eric MERAT	180	12
UEJ3 : MATH2 + DYN1	Sylvaine MALLET	91	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	32	24	6	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 + 2h en auto-apprentissage
 - 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 4 suivants : Recristallisation de l'aluminium, Diffraction des RX, Diffusion dans les alliages de Cu, Elasticité et plasticité.
- 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 polymères et céramiques
 - o Contenu horaire : 8h Cours + 10h TD + 8h TP + 2h en auto-apprentissage
 - o Cours et 4 premiers TD : Matériaux polymères : microstructures, propriétés et comportements.
 - o Dernière séance de TD : Matériaux céramiques (exercices et points de cours mêlés).
 - 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	90	0	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 B. DULMET	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
S. GABEREL	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 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 une préparation intensive au BULATS.

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	30	4	26	0	0	0	2

Mode d'évaluation : Evaluation du travail de groupe : écrit (dossier) et oral

Détail du programme :

- Communication (S.PIERLOT)
 - o La communication en milieu professionnel
 - o Approche comportementale « Attractive Learning »
 - o Le projet personnel
 - o Etude sectorielle
 - o Le PPP
 - o Les outils de la recherche
 - o Les principaux métiers à la sortie de l'ENSM. Les stages
- Gestion de projet – 2^{ème} semestre uniquement (8h CM)
 - o Outils nécessaires à la gestion de projet

PROGRAMME DE DEUXIEME ANNEE

			Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
TRONC COMMUN	UEV1	SHS3	30	0	27	0	3	0	2
		LV3	60	0	60	0	0	0	3
	TOTAL		90	0 0%	87 97%	0 0%	3 3%	0 0%	5
INGENIERIE DES SYSTEMES	UES1	SDM2	16	12	0	4	0	0	1
		OPT3	15	7	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	4
		μTECH1	20	8	4	8	0	0	2
	TOTAL		377	109 29%	142 38%	122 32%	0 0%	4 1%	25
INGENIERIE DES PRODUITS	UEP1	SDM3	46	16	14	16	0	0	3
		OPT2	15	7	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		377	65 17 %	224 60 %	88 23 %	0 0%	0 0%	25
			844	174 21%	453 54%	210 25%	3 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 : (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
P. GRAILHE	30	0	27	0	3	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 : (60h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
S. GABEREL	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, 2 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UES1 : SDM2 + OPT3 + MATH4 + INFO2		107	7
UES2 : CM3 + AUT2		150	10
UES3 : FAB2 + μ TECH1		120	6

AUT2: (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 : (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

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 :
 - o Optimisation en fonction des contraintes mécaniques
 - o Optimisation en fonction de son obtention en lien avec les modules Fabrication (FAB2) et Automatique (AUT2)
 - o Cotation
- Gestion de la maquette numérique par PLM

FAB2 : (100h)

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 Tagushi.

INFO2 : (30h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
C. VARNIER	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 : (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 : (15h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
	15	7	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 : (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 : (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 : (E. Bigler - 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 destinés 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, 2 unités d'enseignement

Unités d'enseignement	Responsable	Total (h)	ECTS
UEP1 : SDM3 + OPT2 + MATH3		107	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 : (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 :
 - o Optimisation en fonction des contraintes mécaniques en lien avec les modules Mécanique (MECA3) et Electronique (ELEC2)
 - o Optimisation en fonction de son obtention
 - o 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 : (70h)

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 : (46h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
R. LAYDI	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 : (15h)

Responsable	Total	CM	TD	TP	AA	Conf	ECTS
	15	7	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 : (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 : (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 : (E. Bigler - 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, magnetron, 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.

Semestre d'OPTION

9 Options au choix

ETE	Energie, Transports et Environnement	F. Sthal	page 30
INNOV	Ingénierie de l'Innovation	N. Bodin	page 33
MAT	Matériaux et Surfaces	P. Berçot	page 43
MENV	Mécanique, Ingénierie, Environnement	E. Foltête	page 47
MCT	Mécatronique	G. Laurent	page 55
MMP	Mécanique, Matériaux, Procédés	M. Fontaine	page 51
MEMS	Microtechniques et Systèmes Embarqués	B. Dulmet	page 61
PROD	Ingénierie des Systèmes de Production	N. Zerhouni	page 66
SANTE	Microsystèmes et Santé	D. Teyssieux	page 71

Architecture des options

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2 Anglais : 1/3 contrôle continu + 1/3 rédaction du mini-projet + 1/3 présentation du mini-projet		56	3
M3	Projet	En rapport avec l'option choisie	56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M6	Module spécifique (MS)	Groupe de 3 cours propres à chaque option	56	4
M7	Module spécifique (MS)		56	4
M8	Module spécifique (MS)		56	4
			448 h	30 ECTS

PREPA TOEIC	Cours de préparation au Toeic : 14 semaines x 1,5h	Ne s'adresse qu'aux élèves de 3 ^{ème} année n'ayant pas encore obtenu le score nécessaire au Toeic.	21h	
----------------	---	--	-----	--

Les modules transverses (M4 & M5) : Ces modules transverses (voir la liste plus loin) sont offerts au choix, ce qui permet de nombreuses ouvertures sur des disciplines et compétences complémentaires ou non des modules spécifiques.

Modules spécifiques (M6 - M7 - M8) : Ces modules visent à consolider les connaissances des futurs ingénieurs dans les domaines de spécialité de l'option.

Economie :

Comprendre l'économie : principes de micro-économie : Le comportement du producteur : la fonction d'offre – la structure des coûts - Le comportement du consommateur : la fonction de demande - L'équilibre dans le système de marché - L'altération du modèle de concurrence parfaite - L'Etat et le calcul économique - La micro-économie appliquée : les choix d'investissement

Comprendre la Société : Les modèles d'équilibre : le modèle "classique" - le modèle "keynésien" - Régulation sociale et inégalités sociales - Risque industriel et risque pour la société - Gestion de l'environnement

Comprendre le Monde : La mondialisation - Le Système Monétaire International - Développement et commerce mondial

Gestion :

Groupes de sociétés : Regroupements d'entreprises – Holding et pouvoir de contrôle – Gouvernance d'entreprise – Les comptes de groupe - Etude de cas : le groupe Peugeot

Les marchés financiers : Marchés financiers et monétaires : la fixation du taux d'intérêt - Marché des actions : fixation d'un cours d'équilibre – principes de la bourse - Méthodes de couverture du risque financier : opérations à terme - options - Etude de cas : couverture du risque de change

Coûts et indicateurs de performance : L'optimum de production - La démarche des coûts-cibles - Le Surplus de Productivité Globale - Les Prix de Cession Interne - Etude de cas

Management des hommes et des équipes :

Cours n°1 (4h) : Processus et organisation de l'entreprise - Présentation des éléments d'histoire du management - Méthode d'analyse de la performance des organisations.

Cours n°2 (4h) : Processus et organisation de l'entreprise (suite) - Approche globale - Analyse systémique - Le schéma de l'action stratégique - Module : Management et communication.

Cours n°3 (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. - Module: Principes et outils du management

Cours n°4 (4h) : 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.

TD par option

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

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

Séance n°2 : Problématique générale.

Séance n°3 : Convergence entre stratégie et organisation.

Séance n°4 : Tableau de bord de pilotage – Proposition de solutions.

Le management de proximité (TD : 2h) (S. Pierlot) : Moyens - Devoirs - Droits – Règles - Management de recadrage.

Le management de proximité (TD : 2h) (V. Mollier) : Management et éthique.

Simulation d'entretien d'embauche

Chaque élève bénéficie de la possibilité de participer à une simulation d'entretien d'embauche (30' de simulation, 30' d'analyse de la prestation par les recruteurs, 60' de débriefing commun avec d'autres élèves).

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

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*). On insistera tout particulièrement sur la communication orale en situation professionnelle ainsi qu'à la communication écrite dans le cadre de l'entreprise (rédaction de mails, de mémos...). Le but étant que nos élèves maîtrisent les outils essentiels de l'anglais professionnel.

Les élèves seront 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).

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. Il s'agit ici de donner aux élèves-ingénieurs les outils linguistiques qui leur permettront de faire une visite guidée de l'atelier à un groupe (d'industriels, de clients...) et/ou d'expliquer le fonctionnement d'une machine ainsi que d'en exposer l'utilité et les spécificités techniques.

Le cours permettra d'approfondir aussi 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 continue à familiariser les élèves aux différents aspects du monde anglophone à travers l'actualité et différents événements culturels en utilisant des supports variés (presse écrite, internet, audio et vidéo).

Langue vivante 2

Allemand – Anglais soutien - Chinois - Espagnol – Italien – Japonais.

Certification BULATS (Business Language Testing Service) en Allemand ou Espagnol.

Anglais soutien : 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 TOEIC.

Evaluation soutien : 1/3 contrôle continu (participation et assiduité) + 1/3 TOEIC blancs + 1/3 examen des structures grammaticales et le lexique vus en classe

Module Projet (M3)

Le contenu du module M3 dépend de l'option choisie. Se reporter au détail des options.

Modules transverses (M4)

Voir détail page 76

<i>Code</i>	<i>Intitulé</i>	<i>Responsable</i>	<i>C</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>T</i>
<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle	C. Dielemans	52	0	4	56
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique	M. Ouisse	24	8	24	56
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO	E. Bigler	30	18	0	56
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication	B. Dulmet	36	12	8	56
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports	P. Vairac	56	0	0	56
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation	D. Teyssieux	56	0	4	56
<u>PS4</u>	Physique des surfaces	M. Devel	48	0	8	56
<u>ROBOT4</u>	Robotique et vision	N. Piat	44	0	12	56
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web	C. Varnier	18	6	32	56

Modules transverses (M5)

Voir détail page 86

<i>Code</i>	<i>Intitulé</i>	<i>Responsable</i>	<i>C</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>	<i>T</i>
<u>BIO5</u>	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse	P. Grailhe	36	8	12	56
<u>CSEF5</u>	Calculs et simulation par éléments finis	R. Laydi	38	18	0	56
<u>EEER5</u>	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables	B. Cavallier N. Ratier	40	16	0	56
<u>FAB5</u>	Procédés de fabrication avancés	A. Gilbin	33	11	12	56
<u>FTM5</u>	Fabrication et Technologies des Microsystèmes	E. Bigler	56	0	0	56
<u>MAENV5</u>	Matériaux et Environnement	D. Teyssieux P. Stempflié	56	0	0	56
<u>MOD5</u>	Méthodes d'Optimisation et de Décision	E. Ramasso	40	4	12	56

Modules spécifiques (M6 – M7 – M8)

		C	TD	TP	Conf	Heures
Energie, Transports et Environnement		72	36	36	24	168
ETE6	Systèmes énergétiques et machines	24	12	12	8	56
ETE7	Transports et systèmes de propulsion	24	12	12	8	56
ETE8	Commande et contrôle des systèmes énergétiques et de propulsion	32	12	12	0	56
Ingénierie de l'Innovation		168	0	0	0	168
INNOV6	Marketing et création de valeur	56	0	0	0	56
INNOV7	Management et mise en œuvre de l'innovation	56	0	0	0	56
INNOV8	Intelligence économique	56	0	0	0	56
Matériaux et Surfaces		124	72	44	0	168
MAT6	Mécanique et physicochimie des surfaces	36	0	20	0	56
MAT7	Corrosion, traitement et fonctionnalisation de surfaces	36	0	20	0	56
MAT8	Les nouveaux matériaux	52	0	4	0	56
Mécatronique		98	46	16	8	168
MCT6	Ingénierie mécatronique	34	18	12	0	64
MCT7	Identification et commande de systèmes complexes	28	20	0	0	48
MCT8	Stratégies de commande avancées	36	20	0	0	56
Mécanique, Ingénierie, Environnement		114	0	54	0	168
MENV6	Ingénierie de conception et écoconception	46	0	10	0	56
MENV7	Modélisation et simulation en mécanique	36	0	20	0	56
MENV8	Couplages calculs-essais en dynamique des structures et procédés de fabrication	32	0	24	0	56
Mécanique, Matériaux, Procédés		102	3248	16	20	168
MMP6	Mécanique et Matériaux	28	16	4	8	56
MMP7	Procédés	26	10	12	8	56
MMP8	Ingénierie	16	8	24	8	56
Microtechniques et Systèmes Embarqués		108	3530	42	0	168
MEMS6	Microtechnologies	32	4	20	0	56
MEMS7	Microsystèmes et interfaces	38	0	18	0	56
MEMS8	MEMS et Micro-hotloges	46	6	4	0	56
Ingénierie des systèmes de production		98	32	32	6	168
PROD6	Organisation des systèmes de production	20	8	20	8	56
PROD7	Pilotage des systèmes industriels	26	18	12	0	56
PROD8	Ingénierie de la maintenance	28	24	4	0	56
Microsystèmes et Santé		104	0	28	24	168
SANTE6	Microsystèmes	36	0	16	4	56
SANTE7	Instrumentation biomédicale	36	0	12	8	56
SANTE8	Biotechnologies	32	0	0	12	56

ETE : Energie, Transports et Environnement

Responsable : Fabrice STHAL

L'option Energie et Transports vise à fournir aux futurs Ingénieurs les connaissances et ouvertures thématiques et méthodologiques, pour analyser, concevoir, modéliser, dimensionner et développer des solutions et systèmes énergétiques, en particulier utilisés dans les transports, mais aussi pour les systèmes nomades et les microsystèmes en prenant en compte les contraintes environnementales.

La formation aborde naturellement les éléments de base concernant la thermodynamique appliquée aux machines ou micromachines thermiques, thermomécaniques, fluidiques, hydrauliques, électriques, piezo-électriques, électromagnétiques...

La théorie des machines ainsi que le dimensionnement de celles-ci sont abordés, incluant notamment les aspects conception, dimensionnement, commande et contrôle et naturellement l'analyse des rendements et consommations énergétiques.

L'intégration des machines et systèmes de transformation d'énergie est abordée avec des applications à la motorisation hybride thermique-électrique ou encore aux systèmes à piles à combustibles.

Les contraintes environnementales associées à la génération de puissance sont analysées et les moyens de limiter les pollutions et respecter les contraintes environnementales sont présentés ; tant des points de vue scientifiques et technologiques que méthodologiques et économiques.

Les systèmes et méthodologies de stockage d'énergie sont également analysés, pour permettre le développement de solutions éco-respectueuses.

Les débouchés naturels et l'employabilité associés à cette option, venant compléter le tronc commun des formations ENSMM, concernent naturellement le secteur des transports automobiles et aéronautiques en particulier, mais aussi les systèmes et microsystèmes embarqués permettant la mobilité et le positionnement dans les secteurs de la santé et de l'environnement.

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
ETE3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
ETE6	Systèmes énergétiques et machines		56	4
ETE7	Transports et systèmes de propulsion		56	4
ETE8	Commande et contrôle des systèmes énergétiques et de propulsion		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module ETE3 : Projet (56h)

Objectif : Fournir aux futurs ingénieurs les moyens méthodologiques pour concevoir, analyser et développer des solutions et systèmes énergétiques, en particulier utilisés dans les transports, mais aussi dans les microsystèmes, en prenant en compte les contraintes environnementales.

Développement d'une analyse complète (incluant modélisation, dimensionnement, évaluation et mesure de performances) d'un système énergétique utilisé par la motorisation, la propulsion ou l'alimentation énergétique de systèmes ou microsystèmes, dans le domaine des transports en particulier, mais aussi dans le domaine des microsystèmes.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

<u>BIO5</u>	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
<u>CSEF5</u>	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
<u>EEER5</u>	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
<u>FAB5</u>	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
<u>FTM5</u>	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
<u>MAENV5</u>	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
<u>MOD5</u>	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module ETE6 : Energie et Environnement

	Cours	TD	TP	Conf	
Energie et Environnement	24	12	12	8	56
Total	24	12	12	8	56

Objectifs : Connaissance, analyse, modélisation et simulation dans le domaine de l'énergie. Impact environnemental des énergies.

Programme :

Rappel de thermodynamique des systèmes et théorie des machines - Théorie des machines thermiques ou thermomécaniques - Stockage d'énergie et systèmes énergétiques – Stockage électrochimique de l'énergie - Systèmes de Pile à Combustible - Microsystèmes et sources d'énergie (micro-pile à combustible, micro-convertisseurs, éolien, biomasse, photovoltaïque) - Ressources et consommation, Production d'énergie à partir des renouvelables.

Module ETE7 : Transports et systèmes de propulsion

	Cours	TD	TP	Conf	
Transports et systèmes de propulsion	24	12	12	8	56
Total	24	12	12	8	56

Objectifs : Présenter, analyser et dimensionner des systèmes mécaniques, thermiques, électriques, électro-chimiques utilisés en propulsion. Analyser et concevoir les systèmes hybrides.
Intégration des systèmes de production aux systèmes embarqués et véhiculés.

Programme :

Dynamique des véhicules et systèmes de propulsion - Bilan énergétique des véhicules et systèmes (automobile, ferroviaire, aéronautique) - Moteurs électriques et électromagnétiques, synchrones et asynchrones - Aspects technologiques ; choix des moteurs - Véhicules à moteurs thermiques et propulsion hybride (thermique et électrique) - Propulsion électrique et systèmes pile à combustible (automobile et ferroviaire) -

Conférences : Intervenants des secteurs du ferroviaire (Alstom Transports), de l'automobile (PSA), et de l'aéronautique (Snecma)

Module ETE8 : Commande et contrôle des systèmes énergétiques

	Cours	TD	TP	Conf	
Commande et contrôle des systèmes énergétiques	32	12	12	0	56
Total	32	12	12	0	56

Objectifs : présenter, analyser et implanter les systèmes de commande de contrôle, pour l'utilisation des systèmes énergétiques

Programme :

Capteurs et actionneurs utilisés pour la mesure, la commande et le contrôle des systèmes - Modélisation et identification des systèmes et contrôlabilité - Systèmes électroniques et numériques embarqués : capteurs, réseaux, bus et logiciels de surveillance, commande et contrôle - Maintenance et télémaintenance des systèmes de traction et propulsion.

INNOV : Ingénierie de l'innovation

Responsable : Nicolas BODIN

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 conduite du changement et de gestion d'équipes.

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.

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
INNOV3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
INNOV6	Marketing et création de valeur		56	4
INNOV7	Management et mise en œuvre de l'innovation		56	4
INNOV8	Intelligence économique		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module INNOV3 : Projet (56h)

Objectif : Dans le cadre d'un partenariat entre une entreprise franc-comtoise 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 et réglementaires... 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 ou un groupement d'entreprises 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 décompose 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.

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

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 l'AIEFC (Agence d'Intelligence Economique de Franche-Comté) de la CCIR (Chambre de Commerce et d'Industrie de Franche-Comté).

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.

Etape 3 : Visite du salon

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 4 : Analyse, synthèse et restitution

Les étudiants, avec l'assistance de l'AIEFC, analysent et synthétisent l'ensemble des informations collectés. 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 doivent restituer leurs travaux 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

L'AIEFC 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

Nathalie Rébert et Céline Bouafia : chargés de mission à l'Agence d'Intelligence Economique, CCIR – 46 avenue Villarceau 25000 BESANCON.

Nicolas Bodin : Directeur des Etudes, ENSMM, 26 rue de l'Epitaphe, 25030 BESANCON Cedex, Nicolas.bodin@ens2m.fr, Tél 03 81 40 27 30

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

<u>BIO5</u>	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
<u>CSEF5</u>	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
<u>EEER5</u>	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
<u>FAB5</u>	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
<u>FTM5</u>	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
<u>MAENV5</u>	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
<u>MOD5</u>	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module INNOV6 : Marketing et création de valeur (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Marketing de l'innovation	24	0	0	0	24
Techniques de négociation	14	0	0	0	14
Exercice de négociation	18	0	0	0	18
Total	56	0	0	0	56

Evaluation : 2 partiels + 1 projet

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

Marketing de l'innovation (24h) (H. Tran)

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.

Hung Tran : (ingénieur Ensmm – mu81), Consultant en Management de l'innovation et de l'Intelligence compétitive [www.competis.fr]. Il dirige actuellement une société de conseils et de services pour la conduite de projets innovants et le management des ressources technologiques. Il enseigne également à l'Ecole Centrale de Marseille pour le "Master Spécialisé Intelligence Compétitive et Management des connaissances".

Techniques de négociation (20h) (G. Deloffre) (enseignement 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 (managers, vendeurs, cadres,...) 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 - Eléments de stratégie - Eléments 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.
- Etudes de cas et présentations en classe.
- Jour 1 : stratégies, tactiques ; le champ de la négociation.
- Jour 2 : négociation de contrats, internationale : cas et exercices pratiques.

Déroulement

- préparer la négociation : exercices de négociation spontanée vendeur / acheteur - le champ de la négociation commerciale : notion de droit, de négociation, de conflit - styles et types de négociateurs : types de négociateurs et comportements en entreprise - tests : styles de négociation - la stratégie de négociation : types de stratégie, théorie des jeux, coopération/compétition - exercice et cas : choix et mise en place d'une stratégie - tactiques et concessions : tactiques réalistes, tactiques loyales, tactiques déloyales - échanges, concessions, initiative, attente - phases de la négociation : préparation, ouverture, positions et propositions, conclusion, accords - argumentation, démonstration - négociation du prix – fidéliser - trouver l'interlocuteur influent.

Bibliographie

Bellenger Lionel : La négociation, PUF, Que sais-je 2187, Paris, 1984.

Carrell M., Heavrin Ch. : Negotiating Essentials, Theory, Skills and Practices, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2008.

Fisher Roger, Ury William : Comment réussir une négociation, Seuil, Paris, 1982.

Moran Robert T, Stripp William G : Successful international business negotiations, Gulf publishing, Houston, 1991.

Hall Lavinia : Negotiation, strategies for mutual gain, Sage Publications, Newbury Park, 1993.

Raiffa Howard : The art & science of negotiation, Harvard University Press, Cambridge mass, 1982.

Sun Tzu : L'art de la guerre (the art of war), Champs Flammarion, Paris, 1972.

Guy Deloffre : enseignant à ICN - Nancy.

Module INNOV7 : Management et mise en œuvre de l'innovation (60h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Gestion et conduite de réunion	10	0	0	0	10
Gestion d'un projet d'entreprise	6	0	0	0	6
Application : l'innovation dans l'agroalimentaire	4	0	0	0	4
Communication de crise	4	0	0	0	4
Exercice de gestion de crise	36	0	0	0	36
Total	60	0	0	0	60

Evaluation : 1 partiel + 1 projet + 1 contrôle continu

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

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.

Gestion d'un projet d'entreprise (6h) (P. Ferbus)

Comment monter et gérer un projet ? (3h)

Présentation du Groupe et du projet simplifié (sur base d'un projet d'organisation) - Identification des facteurs de complexité (participatif) - Comment phaser le projet ? (travail en sous-groupes) - Le pilotage et la communication dans le projet (sur base de projet SEB) - Explication des différents moyens et des applications - Journaux internes, e-learning...) - Rôle de l'équipe projet dans l'assistance aux utilisateurs

(participatif) - Gestion des ressources humaines dans l'équipe projet - En fin de Session, explication de la méthode des Benefits and concerns et Exercice pratique.

Présentation d'un cas de mise en place d'un logiciel d'ERP - (3h)

Travail sur l'identification des facteurs clefs de succès, les résistances probables) - Méthode brownpaper - Retour sur la méthode suivie dans le réel - Comment Organiser des processus (Méthode du RACI, Exercice). En fin de session exercice des Benefits and Concerns.

Pierre Ferbus : Consultant en Gestion et transformation de l'entreprise. Diplôme de l'Ecole Supérieure de Commerce de Paris (Escp – 1981).

Communication de crise...ou comment ne pas se laisser surprendre ? (A. Ziri) (4h)

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.

Albert Ziri : Journaliste, pendant 25 ans, à France 3 après avoir travaillé à Paris pour les rédactions de diverses chaînes de télévision (françaises et étrangères) et de différentes Agences de presse (françaises et étrangères). Quelques domaines de prédilection : économie, social, innovation industrielle, sécurité et défense nationale...

Exercice de gestion de crise (36h)

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 de 36h, les étudiants vont être confrontés à une succession d'évènements auxquels ils vont devoir apporter les réponses les plus appropriées.

Module INNOV8 : Intelligence économique (68h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Intelligence économique	32	0	0	0	32
Protection industrielle et intellectuelle	10	0	0	0	10
Sociologie des Organisations & formes structurelles - Développement stratégique - Bases du marketing	24	0	0	0	24
Renseignement humain	4	0	0	0	4
Sécurisation de l'information	4	0	0	0	4
Communication en gestion de crise	4	0	0	0	4
Total	68	0	0	0	68

Evaluation : 1 partiel + 1 projet

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.

Intelligence économique (32h) (C. Bouafia - 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 entre le 15 octobre et la fin novembre, etc.).

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 ? -

Céline Bouafia : Chargée de mission à l'Agence d'Intelligence Economique de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Région de Franche-Comté (CCIR).

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.

Protection industrielle et intellectuelle (normes et brevets, protection des données) (12h) (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 (2h00)

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 (1h)

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

Cours 2 (4h)

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 : responsable de l'antenne INPI Franche-Comté

Sociologie des organisations - Développement stratégique - Financement de l'innovation - Bases du marketing (24h) (B. Belorgey)

Un tel module peut apparaître, à première vue, assez hétérogène... En fait, il pose le problème de la mise en œuvre de la stratégie (par une entreprise, donc une organisation) dans un univers où la concurrence (mondiale) passe essentiellement par l'innovation, vecteur dans lequel la puissance publique (UE, Etat, Collectivités) joue un rôle très important, aussi bien en termes de financement que d'infrastructures.

Sociologie des Organisations & Formes structurelles (3h) : le courant classique - le courant des relations humaines - les théories de la contingence - quelques auteurs divers et inclassables - structure fonctionnelle - structure divisionnelle - structure matricielle et par projets.

Développement stratégique (6h) : 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.

Bases du marketing (16h) : introduction : historique, démarche et marketing de l'offre, marketing stratégique et opérationnel - approche du marché - politique de produit - politique de prix - politique de communication - politique de distribution - conclusion : marketing et développement durable – introduction au marketing stratégique – développement des partenariats stratégiques.

Bernard Belorgey : Maître de Conférences en Sciences de gestion à l'Université de Franche-Comté (Economie d'entreprise, Management de projet, Stratégie d'entreprise, Marketing). Président de la Boutique de Gestion de Franche-Comté, association d'aide à la création et reprise d'entreprise, gestionnaire de deux pépinières d'entreprises (dont une spécialisée dans l'accompagnement des entreprises innovantes) et d'un hôtel d'entreprises.

Sensibilisation aux pratiques de renseignement d'intelligence économique, de sécurité et de leur impact pour un manager (4h) (F. Caramello)

Développement stratégique (4h) : Eléments théoriques – Terminologie et définitions de base – Notion de management décisionnel – Principes du renseignement humain, technique et internet – Notions d'actions de communication et d'influence – Eléments sur la sécurité (malveillance).

Frédéric Caramello : ancien officier supérieur des forces spéciales, diplômé de l'Ecole d'Etat-major, consultant tourné vers le monde de l'intelligence économique et de la sécurité en entreprise.

Sécurisation de l'information (2h) (B. Migeot)

Intelligence économique : 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.

Projet filières (10h) (CCIR)

Les étudiants de l'option sont répartis en quatre groupes, chacun travaillant sur un sujet d'intérêt régional (email, médical, énergie, etc...). L'AIEFC assure l'encadrement de ces travaux : organisation des brainstormings, accompagnement dans la réflexion...

L'option "Matériaux et Surfaces" 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 modules spécifiques (M6, M7, M8) visent à consolider les connaissances des futurs ingénieurs dans les domaines de la science des matériaux et des surfaces. L'accent est mis sur:

Les nouveaux matériaux : Présentation de différentes familles de nouveaux matériaux dont les propriétés et les performances révolutionnent aujourd'hui de nombreux secteurs industriels (automobile, électronique, biomédical, spatial, bâtiment,...). Les composites, les céramiques, les nanomatériaux ou encore les matériaux pour les microtechniques seront en particulier étudiés.

L'objectif de ce cours est de permettre aux futurs ingénieurs de mieux connaître afin de mieux choisir des matériaux de pointe pour des applications spécifiques.

Mécanique et physicochimie des surfaces : Ce cours fait le point sur le problème crucial de la fiabilité et la résistance à la dégradation des surfaces des matériaux. Il pose les bases de la tribologie, présente les principaux outils mathématiques pour décrire le contact entre deux surfaces et aborde les techniques de la lubrification. Les notions d'énergie de surface et de paramètre de solubilité sont en particulier rappelées et développées. Les domaines concernés par cette problématique sont vastes et vont des moteurs (lubrification, durée de vie) à l'usure des outils de coupe ou des rails des chemins de fer en passant par la qualité de la semelle d'un ski ou encore la fiabilité des matériaux de freinage.

Corrosion, traitement et fonctionnalisation des surfaces : On présente le phénomène 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). La seconde partie du cours est consacrée à 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.

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.

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
MAT3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
MAT6	Mécanique et physicochimie des surfaces		56	4
MAT7	Corrosion, traitement et fonctionnalisation de surfaces		56	4
MAT8	Les nouveaux matériaux		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module MAT3 : Projet (56h)

Matériaux et surfaces dans les domaines de l'automobile, l'outillage/usinage, les capteurs, les actionneurs, les microscopies à champ proche, le biomédical.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

ACI4	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
ACOUS4	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
CAO4	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
C3M4	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
INST4	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
MEMI4	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
PS4	Physique des surfaces (M. Devel)
ROBOT4	Robotique et périrobotique (N. Piat)
SIW4	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module MAT6 : Mécanique et physicochimie des surfaces (56 heures)

	Cours	TD	TP	Conf	
Mécanique du contact	18	0	12	0	30
Physico-chimie des surfaces	18	0	8	0	26
Total	36	0	20	0	56

Mécanique du contact (cours : 18h - TP : 12h)

Critères énergétique et mécanique - Contact Hertzien simplifié - Contacts élastiques modèles - Contacts adhésifs (théorie JKR) - Tests d'adhérence (pelage, DCB, pégosité,...) – Méthodes générales de résolution - Chargement linéique - Chargement ponctuel - Répartition des pressions dans l'aire de contact - Théorie de Hertz généralisée

Cours : Guy Monteil – TP : Philippe Stempflié

Physico-chimie des surfaces (cours : 18h - TP : 8h)

Énergie de surface des phases condensées - Composantes de l'énergie de surface - Paramètres de solubilité - Métrologie des énergies de surface - Rhéologie viscosité des fluides- Les équations de la lubrification (Navier-Stokes et Reynolds)

Cours : Guy Monteil – TP : Philippe Stempflié

Module MAT7 : Corrosion, traitement et fonctionnalisation de surfaces (56 heures)

	Cours	TD	TP	Conf	
Traitement et fonctionnalisation de surfaces	12	0	12	0	24
Corrosion et réactivité des surfaces	24	0	8	0	32
Total	36	0	20	0	56

Traitement et fonctionnalisation des surfaces (cours : 12h - TP : 12h)

Traitements de surface et revêtements chimiques, électrolytiques ou de conversion.

Cours + TP : Patrice Berçot

Corrosion et réactivité des surfaces (cours : 24h - TP : 8h)

Généralités sur la corrosion, aspect électrochimique - Différents types de corrosion en relation avec les matériaux métalliques et leur mode d'assemblage (corrosion généralisée, corrosion galvanique, localisée, corrosion sous contrainte, corrosion par fatigue, fragilisation par l'hydrogène) – La corrosion sèche - Calcul des vitesses de corrosion - Moyens de lutte contre la corrosion : protection par des inhibiteurs de corrosion, protections électriques (cathodique et anodique), protection par des revêtements

Cours : Patrice Berçot et Jamal Takadoum - TP : Patrice Berçot

Module MAT8 : Les nouveaux matériaux (56 heures)

	Cours	TD	TP	Conf	
Matériaux composites et céramiques	24	0	0	0	24
Matériaux pour les micro et nanotechnologies	28	0	0	0	28
Salle blanche	0	0	4	0	4
Total	52	0	4	0	56

Matériaux composites et céramiques (cours 24 heures)

Matériaux composites (12h : Frédéric Thiébaud)

Généralités sur les matériaux composites - Origine des propriétés élastiques d'une monocouche - Propriétés élastiques des matériaux composites - Relations contraintes – déformations dans les multicouches - La rupture : prévisions et critères - Analyse statistique de la rupture - Détermination expérimentale des différents paramètres mécaniques - L'endommagement des composites - Les effets de bords et les contraintes interlaminaires - Calcul des plaques et des poutres en composites - Mise en œuvre des composites - Bibliographie succincte.

Matériaux céramiques (12h : Nicolas Martin)

Définition des matériaux céramiques - Modes d'élaboration : Le frittage (matériaux massifs). PVD et CVD (les céramiques en couche mince) - Principales céramiques techniques : propriétés et domaines d'utilisation

Matériaux pour les micro et nanotechnologies (cours 28h) :

Les nanomatériaux (8h: Jamal Takadoum)

Techniques d'élaboration. Quelques applications (microtechnologies, santé, peinture, cosmétiques,...). Enjeux techniques, économiques et *sociétaux*.

Le silicium (5h : Thérèse Leblois)

Propriétés physiques. Etude de la transduction piézorésistive. Technologie salle blanche. Micro-usinage chimique.

Matériaux actifs pour les microsystèmes fluidiques (5 heures : Thérèse Leblois):

Exemples de microsystèmes (actionneurs et capteurs) utilisant des matériaux actifs ou une combinaison de plusieurs matériaux afin de réaliser des dispositifs fluidiques (déplacement de gouttes, mélangeurs, Micro-pompes)

Alliages à mémoire de forme, Matériaux magnétiques (6h : Laurent Hirsinger)

Principe et applications

Conférences : 4 heures

TP salle blanche : (4h : Thomas Baron)

MENV : Mécanique, Ingénierie, Environnement

Responsable : Emmanuel FOLTETE

Les préoccupations environnementales prennent de plus en plus d'importance dans les démarches associées à la conception, la production, la commercialisation et au cycle de vie des composants et systèmes, en particulier mécaniques. Parallèlement, l'ingénierie des systèmes et microsystèmes mécaniques a largement évolué ces dernières années, avec le développement des approches intégrées associant l'ensemble des étapes d'études, conception, modélisation et simulation, prototypage et fabrication, contrôle et implémentation, grâce notamment au développement de la chaîne numérique complète, ou encore de l'approche PLM. Il est ainsi possible de concevoir, modéliser, fabriquer et tester virtuellement des composants et systèmes, de les assembler, pour produire des appareils ou équipements (capteurs, actionneurs, véhicules automobiles, avions...).

Les enseignements proposés dans l'option "Mécanique, Ingénierie et Environnement", se situent dans cette démarche, et comprennent trois aspects principaux :

- l'ingénierie de conception et éco-conception, visant à développer la démarche de conception-production, en y incluant les aspects économiques et environnementaux, ainsi que la pratique des méthodologies d'ingénierie modernes,
- la Modélisation et Simulation en Mécanique, visant à fournir aux élèves les outils méthodologiques pour aborder et pratiquer la modélisation, simulation et optimisation des systèmes complexes, multiphysiques et multitechnologiques,
- les couplages calculs-essais, visant à pratiquer les corrélations simulations-essais, afin de conforter et valider les approches méthodologiques de conception, simulation et fabrication.

La formation est construite, autour d'une approche pédagogique intégrée, dans le cadre de la méthodologie PLM, et largement basée sur les outils de conception, modélisation et simulation.

L'option correspond au profil type des ingénieurs « Recherche, Développement et Ingénierie » dans les entreprises concernées par les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile, du biomédical et des biotechnologies, de l'énergie et environnement, des microtechniques et microtechnologies...

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
MENV3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
MENV6	Ingénierie de conception et écoconception		56	4
MENV7	Modélisation et simulation en mécanique		56	4
MENV8	Couplages calculs-essais en dynamique des structures et procédés de fabrication		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module MENV3 : Projet (56h)

Projet Recherche et Développement

Généralement réalisé en trinôme, le projet Recherche et Développement s'appuie sur une problématique industrielle et/ou scientifique et/ou pédagogique proposée par les enseignants ou par les étudiants après validation par le responsable du module. Il se déroule donc en collaboration avec un industriel ou une équipe de recherche (locale ou non). Il doit conduire à la mise en œuvre des connaissances et compétences qui correspondent au profil de l'option : modélisation et simulation numérique des structures et des procédés, caractérisations expérimentales, corrélations calculs-essais... Il donne lieu à une conduite de projet avec rédaction d'un cahier des charges, planification des actions et revues régulières. Il est enfin évalué par l'intermédiaire d'un rapport technique et d'une présentation orale.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

<u>BIO5</u>	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
<u>CSEF5</u>	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
<u>EEER5</u>	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
<u>FAB5</u>	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
<u>FTM5</u>	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
<u>MAENV5</u>	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempfélé)
<u>MOD5</u>	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module MENV6 : Ingénierie de Conception et éco-conception

	Cours	TD	TP	Conf	
Ingénierie de Conception et éco-conception	46	0	10	0	56
Total	46	0	10	0	56

Objectifs : Apporter aux élèves un ensemble de connaissances leur permettant de développer une ingénierie de conception-production complète, partant d'une définition de besoins jusqu'à la réalisation du système, en respectant les contraintes environnementales et économiques.

Programme :

Contraintes environnementales et économiques pour les produits et systèmes mécaniques : bruit, pollution, maintenabilité, recyclabilité, coûts et délais, durée de vie. Démarche intégrée de conception de produits et systèmes : des matériaux aux systèmes et à leur recyclabilité. Apports de l'ingénierie intégrée et simultanée pour la conception-production des systèmes et microsystèmes mécaniques - Modèles, logiciels et outils pour l'éco-conception / écofabrication collaborative - Contrôle du processus de conception-production et gestion de projet.

Conférences : Intervenants de l'ADEME, EDF/GDF, CEA, PSA.

Module MENV7 : Modélisation et Simulation en Mécanique

	Cours	TD	TP	Conf	
Modélisation et Simulation en Mécanique	36	0	20	0	56
Total	36	0	20	0	56

Objectifs : Fournir aux élèves les connaissances complémentaires en mécanique des structures, des fluides et des systèmes énergétiques, pour pouvoir aborder la modélisation et la simulation des systèmes complexes intégrés ; avec application au dimensionnement statique et dynamique, à la prévision de tenue de service et durée de vie et aux procédés de fabrication.

Programme :

- Modélisation et Simulation en Mécanique des Structures, des Fluides et des Systèmes : développements et applications industrielles - Modélisation et Simulation en Mécanique des Solides et des Structures : Mécanique et dynamique non linéaire des Solides et des Structures, Application au dimensionnement en statique et dynamique, Applications à la simulation des systèmes et procédés - Modélisation et Simulation en Mécanique des Fluides et Dynamique des gaz compressibles : Ecoulements de fluides visqueux newtoniens et non newtoniens, dynamique des fluides non newtoniens. Ecoulements des gaz parfaits et des gaz réels - Application au dimensionnement des machines et des systèmes, aux procédés d'élaboration et de fabrication.

Conférences : Intervenants du secteur de l'Ingénierie (ALTRAN), de l'Automobile (PSA) et de l'Aéronautique (Airbus)

Module MENV8 : Couplages Calculs-Essais en dynamique des Structures et Procédés de fabrication

	Cours	TD	TP	Conf	
Corrélation calculs – essais en dynamique des structures					
Simulation des procédés et mesures					
Total	32	0	24	0	56

Objectifs : Fournir aux élèves les moyens d’appréhender une démarche calculs-essais en mécanique ou micromécanique, en analysant à partir d’essais, les corrections à apporter à la conception pour satisfaire un cahier des charges donné.

Corrélation Calculs-Essais en Dynamique des Structures

- Vibration des Structures : Rappels et Compléments - Modélisation en dynamique des Structures : Eléments finis, calculs de fréquences et modes, réponses transitoires - Validation des modèles et recalage de modèles - Utilisation des méthodes et méthodologies dans différents domaines industriels : automobile, aéronautique, MEMS.

Simulation des Procédés et Mesures

Procédés de fabrication : Rappels et Compléments - Modélisation et Simulation des Procédés : éléments finis, calculs des écoulements et déformations, compléments de mécanique non linéaire des solides et des fluides, défauts de fabrication - Validation des modèles numériques et comparaisons calculs-essais pour identification et optimisation - Applications aux procédés industriels utilisés dans l’automobile, l’aéronautique, le biomédical et les microtechnologies.

Conférences : Intervenants du secteur Automobile (PSA ou Renault), Aéronautique (Airbus), Biomédical (Sophysa, Imasonic, Statice Santé).

MMP : Mécanique, Matériaux, Procédés

Responsable : Michaël FONTAINE

Dans le contexte de la globalisation des marchés, on remarque que :

- les productions traditionnelles sont de plus en plus externalisées ;
- les entreprises françaises et européennes doivent faire preuve d'innovation tant au niveau de la conception qu'au niveau des procédés de fabrication de leurs produits.

D'autre part, il est nécessaire d'intégrer les contraintes environnementales dès la conception de nouveaux produits, tout en visant la satisfaction du client.

Pour cela, il est nécessaire de posséder de solides connaissances des procédés de fabrication et être capable d'en tenir compte dès la conception afin de pouvoir mener des expertises fiables : choisir les matériaux les mieux adaptés, optimiser la conception, évaluer la sous-traitance, concevoir et optimiser les processus de fabrication et de contrôle.

Pour ce faire, il est indispensable de bénéficier d'une formation la plus complète possible en matériaux, mécanique et procédés. En effet, les matériaux sont en constante évolution et leurs possibilités de mise en œuvre sont de plus en plus vastes. Afin de concevoir de façon innovante, il est nécessaire de posséder d'excellentes bases de mécanique pour concevoir des produits optimisés. Il est également indispensable de connaître les possibilités des procédés qu'ils soient classiques ou plus innovants et d'être capable d'adapter des procédés existants ou d'en développer de nouveaux.

Les personnes formées sont destinées à travailler en R&D, Bureau d'Etudes ou Bureau des Méthodes pour l'industrie mécanique dans des domaines variés tels que, par exemple, l'aéronautique, l'automobile, le biomédical. Elles posséderont également des bases scientifiques solides leur permettant de continuer, si elles le désirent, en thèse de Doctorat, dans le domaine de la modélisation mécanique des matériaux et des procédés.

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
MMP3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
MMP6	Mécanique et Matériaux		56	4
MMP7	Procédés		56	4
MMP8	Ingénierie		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module MMP3 : Projet (56h)

Objectifs : Former des ingénieurs orientés Bureau d'Etudes, Bureau des Méthodes, R&D pour l'industrie mécanique dans de nombreux domaines (dont l'aéronautique, l'automobile, le biomédical) mais également former des ingénieurs possédant un bon niveau d'expertise en matériaux, procédés, conception et modélisation.

Projet de la maquette numérique au prototype (56h)

Travail en groupe de 2 à 8 étudiants en fonction du sujet.

Il pourra s'agir :

- de concevoir ou reconcevoir un composant de petite taille et de mettre en œuvre le procédé de fabrication le plus adapté ;
- de concevoir ou reconcevoir un outillage dédié à la réalisation d'un composant ;
- de concevoir ou reconcevoir un dispositif expérimental de mesure, de contrôle ;
- de mettre en place des moyens de contrôles ;
- etc.

Ce sera l'occasion pour les élèves de mettre en œuvre sur un cas pratique les connaissances et les méthodes acquises au cours des modules M6, M7 et M8.

Les sujets pourront être d'origine industrielle ou émaner d'un laboratoire.

Lorsque les moyens seront disponibles, la réalisation d'un prototype pourra être envisagée.

Le travail de projet fera l'objet :

- d'un rapport écrit en français accompagné d'un résumé en anglais,
- d'une soutenance orale devant un jury composé d'universitaires et d'industriels.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module MMP6 : Mécanique et Matériaux (54h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Propriétés mécaniques des matériaux	10	4	4	0	18
Mécanique du contact et tribologie	10	2	0	0	12
Choix des matériaux en conception	8	10	0	0	18
Cycle de conférences	0	0	0	8	8
Total	28	16	4	8	56

Propriétés mécaniques des matériaux (P. Malécot)

Rappel d'élasticité – Critères de limite d'élasticité – Plasticité parfaite – Plasticité avec écrouissage – Viscoplasticité – Modèles rhéologiques – Modélisation thermomécanique des matériaux.

Mécanique du contact et tribologie (G. Monteil)

Notions de base sur la mécanique du contact – Introduction du glissement – Tribologie (frottement et usure) – Métrologie et maîtrise du frottement et de l'usure.

Choix des matériaux pour la conception (N. Boudeau)

Les grandes phases de la conception – Classification des matériaux, des géométries et des procédés – Indices de performance et principe du choix des matériaux – Principe de choix des procédés - Calcul du coût de fabrication - Choix des matériaux et des géométries - Concevoir des matériaux composites – Conception multi-objectifs et multi-contraintes – Eco-conception – Cycle de vie

Conférences : Les polymères et la problématique du recyclage – Les composites dans le domaine de l'énergie - Les biomatériaux.

Module MMP7 : Procédés (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Ablation	6	2	4	0	12
Réplication	6	6	4	0	16
Jonction	8	2	0	0	10
Cotation tridimensionnelle	6	0	4	0	10
Cycle de conférences		0	0	8	8
Total	26	10	12	8	56

Ablation (M. Fontaine) :

Technologies : centres multiaxes, multitâches, multifonctions, systèmes automatisés, environnement de production, instrumentation des machines de production, surveillance embarquée, stratégies d'usage – Les procédés d'ablation : usinage laser, électroérosion, usinage ultrasonore – Rectification et superfinition (type voilage).

Réplication par déformation (N. Boudeau)

Laminage – Forgeage – Etirage – Extrusion – Emboutissage – Hydroformage – Technologie des machines – Cadences, séries, coûts – Modélisation analytique et dimensionnement – Applications industrielles

Jonction (M. Fontaine et C. Dielemans)

Soudage : soudage à l'arc, soudage acétylène (brasage), soudage ultrason – Collage – Clinchage – Rivetage – Clipsage – Frettage.

Cotation tridimensionnelle (C. Dielemans)

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 façon rigoureuse, en partant de la condition d'aptitude à l'emploi, à spécifier le produit.

Cycle de conférences

L'emboutissage dans l'automobile – Les procédés génératifs – Le soudage – Le découpage

Module MMP8 : Ingénierie (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Modélisation numérique non linéaire	16	8	16	0	40
Innovation et méthode Triz	0	0	0	8	8
Chaîne numérique, rétroconception, prototypage	0	0	8	0	8
Total	16	8	24	8	56

Modélisation des procédés industriels (S. Thibaud, R. Laydi)

Principe de la modélisation (type et choix d'une modélisation, avantages et inconvénients) – Description des différents aspects de la modélisation et des méthodes associées : Non linéarité, Grandes déformations, Lois de comportements volumiques, Contact et frottement, Résolution numérique (discrétisation par éléments finis, schémas de résolution numérique), Couplage – Optimisation et Contrôle des procédés – Aspects mathématiques

Méthodologies de conception et d'innovation (C. Gazo)

Positionnement de la TRIZ (Théorie de la résolution des problèmes inventifs) par rapport aux méthodes de conception et aux méthodes et outils de la créativité – Présentation de la TRIZ : La TRIZ adopte une démarche scientifique et outillée pour résoudre les problèmes de conception des systèmes techniques en se basant sur quelques notions essentielles (lois d'évolution des systèmes techniques, inertie psychologique, ressources, idéalité, contradictions), sur des outils de modélisation des problèmes (contradictions, vépoles, fonctions) et des outils de résolution des modèles de problèmes (principes de conception, standards de résolution, effets PCG) – Les cours et TD présenteront les principes fondamentaux de cette théorie appliquée aux problèmes d'ingénierie et quelques mises en œuvre pratiques simples.

Chaîne numérique, rétroconception, prototypage (P. Malécot)

Sous la forme de TDAO, il sera fait une démonstration de scanning 3D (Géomagic et Scan3D), de reconstruction et reconception sous CATIA V5, un prototypage rapide (impression 3D), et un contrôle (Qualify).

Evaluation des modules

- Suivant les modules et les matières, l'évaluation se fera sous forme de contrôle de connaissances ou d'étude de cas, sur table ou sous forme de mini-projet, individuelle ou en groupe
- Suivant les modules et les matières, des tests en ligne pourront être proposés et notés
- Les TP donneront lieu à une note ; cette note tiendra compte en particulier de la présence et de l'implication personnelle en séance
- Les TP pourront donner lieu à un compte-rendu qui sera alors noté
- Les conférences donneront lieu à un examen en fin d'année
- Les coefficients adoptés sont cohérents avec le volume horaire des matières le constituant

MCT : Mécatronique

Responsable : Guillaume LAURENT

L'objectif de cette option est de former des ingénieurs mécaniciens et automaticiens qui soient à l'interface entre les domaines de la mécanique et de l'électronique. Au terme de leur formation, ces ingénieurs posséderont les compétences nécessaires pour concevoir et développer des systèmes intelligents mécatroniques et micromécatroniques.

De nombreux systèmes intègrent des composants mécaniques, électroniques et informatiques. La formation vise à donner les connaissances scientifiques et techniques nécessaire à l'analyse, la modélisation, la conception, la gestion des flux d'information et la commande des systèmes mécatroniques et micromécatroniques.

Cette option offre des débouchés vers les métiers d'ingénieurs de la conception et la commande de systèmes mécatroniques, d'ingénieurs produits mécatroniques dans des domaines variés tels que les domaines du transport – automobile, aviation, navale, ferroviaire-, de la production –automatisation et robotique industrielle-, de la défense, du médical, de la robotique de service ou ludique,...

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
MCT3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
MCT6	Ingénierie mécatronique		64	4
MCT7	Identification et commande de systèmes complexes		48	4
MCT8	Stratégies de commande avancées		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module MCT3 : Projet (56h)

Responsable : Y. Haddab

Module Projet : la conception et la réalisation de projets mécatroniques ou micromécatroniques requièrent la mise en œuvre de connaissances théoriques pluridisciplinaires ainsi que leur adaptation aux spécificités des systèmes réels.

L'objectif du module est de développer et de mettre en œuvre les méthodes et outils étudiés dans l'option sur des maquettes physiques ou logicielles. Il s'agira de développer des 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.

Ce module projet comporte :

Cours (6h)

Conduite de projets (2h) - Conception de systèmes asservis (4h) : illustration de problèmes concrets rencontrés dans les projets

Projets (48h)

Les projets porteront sur les thématiques suivantes :

Mesure de microforce - Capteurs asservis - Commande de microsystèmes - Robotique mobile et Vision - Création de bibliothèques modulaires pour l'intégration rapide de lois de commande embarquées (notamment dans des microcontrôleurs) - Programmation de bibliothèques spécialisées pour Matlab/Simulink (vision, commande...) - Commande et mesure via internet.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUSA</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module MCT6 : Ingénierie mécatronique (resp : K. Medjaher)

	Cours	TD	TP	Conf	
a : Modélisation et Analyse des systèmes mécatroniques	12	8	0	0	20
b : Conception mécatronique	10	4	0	0	14
c : Robotique industrielle	12	6	12	0	30
Total	34	18	12	0	64

Evaluation : 2 partiels + Compte-rendu TP

Objectifs : Apporter aux élèves un ensemble de connaissances leur permettant de développer une ingénierie de conception des systèmes intégrant différentes techniques et technologies (mécanique, électronique, automatique, informatique)

MCT6-a : Modélisation et analyse des systèmes mécatroniques (Enseignant : Kamal Medjaher - cours 12 h, TD : 8h)

Les systèmes mécatroniques sont par définition des systèmes au sein desquels plusieurs phénomènes physiques (mécanique, électrique, etc.) sont mis en jeu. La conception, la modélisation et l'obtention d'un modèle analytique (pour la simulation, l'analyse ou la synthèse), par l'écriture des différentes lois physiques, peuvent s'avérer des tâches fastidieuses et demandent des compétences pluridisciplinaires. Le bond graph, initialement introduit par Paynter, est un outil de modélisation et d'analyse adapté à ce type de systèmes et permet de contourner les difficultés susmentionnées. Le bond graph est un outil graphique qui se situe entre le modèle physique et le modèle mathématique. Sa maîtrise permet de passer d'une description des phénomènes physiques caractérisant un système donné à un modèle analytique sous forme de fonction de transfert ou de représentation d'état. En outre, cet outil s'avère très pratique pour la conception (placement de capteurs et d'actionneurs) et l'analyse structurelle (analyse graphique ne nécessitant pas de calculs numériques : commandabilité, observabilité, ordre, etc.) des systèmes mécatroniques. L'objectif de ce cours est donc de présenter les connaissances et les outils de base pour la conception, la modélisation et l'analyse des systèmes mécatroniques.

Contenu : Analyse système et modélisation - Présentation de l'outil bond graph - Modélisation des systèmes mécatroniques par Bond Graph (BG) - Procédures de construction de modèles BG - Notion de causalité - Modèles mathématiques (fonction de transfert, équation d'état) - Schéma-blocs - Analyse structurelle des systèmes mécatroniques : ordre du système, Commandabilité, observabilité, surveillabilité - Estimation des dynamiques du système

MCT6-b : Conception mécatronique – Actionneurs et Conversion d'Energie (Enseignant : Arnaud Hubert (UFC) - Cours : 10h – TD : 4h)

Contenu : Cycle de conception, cycle en V - Langages de modélisation multi-domaine pour le pré-dimensionnement et la pré-conception mécatronique.

- Modélisation des systèmes mécatroniques par des méthodes énergétiques et variationnelles.

MCT6-c : Robotique Industrielle (Enseignants : Guillaume Laurent – Yassine Haddab - Cours : 12h, TD : 6h TP : 12h)

Un système robotique est une machine mécatronique programmable disposant de moyens de perception, d'interprétation et d'action qui lui permettent d'agir sur un environnement physique. Ce module concerne plus particulièrement la robotique manufacturière, c'est à dire les robots manipulateurs destinés à des tâches de soudure, de peinture, de manutention, d'emballage-conditionnement, etc.

L'objectif est de fournir un ensemble minimal de connaissances pour comprendre le fonctionnement d'un robot industriel, son comportement et son implantation.

Contenu :

Définition et typologie des robots industriels (structures série et parallèles). Marché. Types d'applications. Critères de choix, performances. Modélisations géométrique, cinématique et dynamique. Identification, commande et génération de trajectoires. Problème de la précision et de la répétabilité, mesure de l'outil, cellules robotisées, implantation et programmation par apprentissage et hors ligne d'un robot dans une cellule, CAO robotique.

Module MCT7 : Identification et commande de systèmes complexes (resp : G.Cabodevila)

	Cours	TD	TP	Conf	
a : Identification de systèmes dynamiques	14	10	0	0	24
b : Commande par retour d'état multivariables	14	10	0	0	24
Total	28	20	0	0	48

Evaluation : 1 partiel + évaluation TP AO

Objectifs : Apporter aux élèves un ensemble de méthodes et d'outils de base leur permettant de faire la synthèse de structures de commande de systèmes dynamiques complexes.

MCT7-a : Identification de systèmes dynamiques (Enseignants : Gonzalo Cabodevila – Guillaume Laurent - Cours : 14h, TD : 10h)

La problématique abordée concerne la détermination d'un modèle de représentation d'un processus à partir de la connaissance des signaux d'entrée/sortie. On appelle ainsi identification de systèmes dynamiques l'étape de modélisation correspondante. Le comportement dynamique prédit par le modèle doit être le plus voisin possible de celui du processus considéré, au sens d'un critère. On distingue deux grandes classes de méthodes d'identification : les méthodes dites non paramétriques et les approches dites paramétriques. Dans ce cours, nous abordons l'identification des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.

Identification non paramétrique : Méthodes élémentaires, Réponses fréquentielles, Réponses indicielles, Systèmes oscillants, Systèmes apériodiques, méthode de Strejc, Exemples

Méthodes d'optimisation indispensables à l'identification : comment minimiser une fonction multivariable et non linéaire sans calculs analytiques ?

Identification paramétrique : Structure des modèles (ARX, ARMAX), Méthodes de détermination des paramètres. Identification non linéaire NARMAX.

Identification neuronale : réseaux de neurones artificiels, application à la modélisation de systèmes dynamiques non linéaires (pendule inversé, alliage à mémoire de forme, vérin hydraulique, etc.).

MCT7-b : Commande par retour d'état multivariables (Enseignant : Yann Le Gorrec - Cours : 14h, TD : 10h)

L'objectif de ce cours est de fournir les outils mathématiques indispensables à l'étude des systèmes dynamiques multivariables et à la synthèse des lois de commande pour ces mêmes systèmes.

Contenu : Rappels de calcul matriciel : matrices et vecteurs, opérations sur les matrices, valeurs et vecteurs propres, diagonalisation, exponentielle d'une matrice, norme matricielle, matrice définie positive, matrice Jacobienne, valeurs singulières, ...

Introduction aux systèmes multivariables : définitions, exemples de systèmes, stabilité des systèmes multivariables : stabilité locale, stabilité au sens de Lyapunov - Commande Linéaire Quadratique : introduction, solution du problème LQ, stabilité du système bouclé, robustesse de la commande LQ.

Module MCT8 : Stratégies de commande avancées (resp : E.Piat)
--

	Cours	TD	TP	Conf	
a : Commande robuste	12	8	0	0	20
b : Traitement numérique du signal	16	6	0	0	22
c : Filtrage optimal	8	6	0	0	14
Total	36	20	0	0	56

Evaluation : 2 partiels

Objectifs : Apporter aux élèves des méthodes avancées de commande et de traitement des données permettant de développer des systèmes intelligents mécatroniques et micromécatroniques.

- MCT8-a : Commande robuste (Enseignant : Yassine Haddab - Cours : 12h, 8h TD)

L'élaboration de lois de commande efficaces pour le pilotage de systèmes mécatroniques nécessite souvent l'obtention d'un modèle du système. En pratique, ce modèle est utilisé pour synthétiser le correcteur et les performances obtenues dépendent souvent de la qualité de la modélisation. Cependant, la modélisation de systèmes réels est souvent incertaine (incertitude sur les paramètres identifiés, linéarisation, simplifications, dynamiques négligées, etc.) et le modèle peut varier dans le temps (vieillesse, fonctionnement dans des conditions différentes, etc.). De plus, le système peut être soumis à des perturbations. Tous ces éléments font que les performances recherchées ne sont pas toujours atteintes par des méthodes classiques d'asservissement.

L'objectif de la commande robuste est d'assurer la stabilité du système bouclé et des performances élevées malgré les incertitudes du modèle et les perturbations. Cette approche constitue un outil puissant pour accroître l'efficacité et les performances des systèmes conçus par l'ingénieur et de répondre ainsi aux exigences fortes des produits d'aujourd'hui.

Ce cours, adapté au métier d'ingénieur, a pour objectif de présenter à l'élève une approche pratique de la commande robuste, directement applicable aux systèmes mécatroniques.

Bien que les exemples traités dans ce cours soient essentiellement des systèmes micro-mécatroniques, les méthodes étudiées sont applicables à d'autres domaines (ex. aéronautique, navigation, etc.).

Exemples de problèmes abordés : synthèse d'un correcteur unique pour un ensemble de produits présentant des dispersions de caractéristiques, commande robuste de micro-actionneurs dont le comportement est très sensible à l'environnement (température, pression, taux d'humidité, perturbations).

Concepts abordés : définition de la robustesse, outils pour la caractérisation de la robustesse, normes, incertitudes structurées et non structurées, modélisation incertaine, théorème du petit gain, stabilité robuste, synthèse de correcteurs robustes, synthèse par la méthode H_∞ , analyse des performances.

MCT8-b : Traitement numérique des signaux (Enseignant : Emmanuel Piat - Cours : 16h, TD : 6h)

L'objectif est de fournir les notions nécessaires à la manipulation des signaux numériques. Ce cours part du principe que vous avez fait une acquisition correcte d'un signal analogique (cf. traitement des informations capteurs) et que vous avez besoin de manipuler le signal numérique obtenu dans le domaine temporel ou fréquentiel. Les nombreux pièges liés à la manipulation d'un nombre **fini** d'échantillons sont traités car ils correspondent au cas concret de l'utilisation d'un ordinateur numérique pour effectuer les traitements (mémoire finie). Dans la mesure du possible, les notions abordées sont illustrées à l'aide d'articles issus du magazine « Mesures » (magazine de l'instrumentation et des automatismes industriels) ou de documentations de logiciels commerciaux spécialisés dans le traitement des signaux numériques.

Sans prétendre faire de vous un expert en traitement numérique du signal, ce cours vous permettra d'avoir une culture « signal » suffisante pour dialoguer de manière aisée avec des ingénieurs spécialisés dans ce domaine. Cette culture vous sera donc utile lorsque vous participerez à des projets mécatroniques qui nécessitent de traiter de l'information numérique.

Concepts abordés : signaux discrets, signaux numériques, convolution, convolution circulaire, transformée de fourier discrète, FFT, fenêtrage, signaux aléatoires, analyse spectrale, filtrage numérique RIF et RII.

MCT8-c : Filtrage optimal (Enseignant : Emmanuel Piat - Cours : 8h , TD : 6h)

Les capteurs utilisés en mécatronique fournissent souvent de l'information polluées par des bruits large bande qui dégradent l'information. Cette dégradation n'est parfois pas compatible avec le niveau de performance attendu pour le dispositif mécatronique. Dans ce cas, il est nécessaire de débruiter les informations délivrées par les capteurs afin d'obtenir les performances désirées. Ce processus d'estimation de l'information doit donc être compatible avec le cadre générique de la commande par retour d'état utilisé en mécatronique. Elle doit aussi permettre de limiter le nombre de capteurs afin de limiter les coûts. C'est dans cet esprit que ce cours développe l'estimation optimale d'une quantité d'intérêt X nécessaire au dispositif mécatronique à partir de données bruitées. Deux cas sont traités dans ce cours :

- X est un paramètre constant,
- X est une variable d'état (discrète ou continue) du dispositif mécatronique.

Le cas de bruits gaussiens et non gaussiens est traité. Dans le cas non gaussien, ce cours réutilise les résultats d'analyse spectrale vu en traitement numérique des signaux pour introduire la notion de filtre formeur qui permet de se ramener au cas gaussien.

MEMS : Microtechniques et Systèmes embarqués en microtechniques

Responsable : Bernard DULMET

Former des ingénieurs pluridisciplinaires capables de concevoir des microdispositifs intégrant des technologies et fonctionnalités complémentaires sur une base mécanique. Familiers avec les techniques de dépôt et de photolithographie, ils peuvent appréhender la mise en œuvre industrielle de microtechnologies tant au niveau Bureau d'Etudes et R&D qu'à celui de la Production. Les secteurs d'application sont très porteurs puisque capteurs, actionneurs, et systèmes d'instrumentation à base de microsystèmes connaissent un développement universel dans les équipements pour l'automobile, l'aéronautique, le spatial, mais aussi le contrôle environnemental et le biomédical. Le syllabus aborde également les thématiques du positionnement et de la navigation qui jouent un rôle important dans les dispositifs de sécurité et de gestion de trafic désormais indispensables à la vie quotidienne. Qui n'a jamais entendu parler d'airbag, de GPS, d'ESP, de centrales inertielle, de capteurs de pollution ?

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
MEMS3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
MEMS6	Microtechnologies		56	4
MEMS7	Microsystèmes et interfaces		56	4
MEMS8	Navigation et positionnement		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module MEMS3 : Projet (56h)

Intervenant : Fabrice Sthal

Projets de réalisation et instrumentation de microsystèmes embarqués(56h)

Projets intégrant la conception, la simulation et la réalisation en salle blanche de microdispositifs, conjointement ou non à la mise en œuvre des techniques d'acquisition pour les microsystèmes, traitement de signal, capteurs, actionneurs pour les systèmes embarqués

Ces projets seront centrés sur les thèmes suivants, et devront recouvrir au moins trois d'entre eux. Les étudiants en binôme pourront ainsi opérer un partage des tâches en fonction de leurs compétences dominantes. Les étudiants peuvent coopérer à la définition de leur projet.

Thème conception et micro-technologie

Mise en œuvre des technologies de micro-fabrication en salle blanche pour la conception des masques et la réalisation d'une matrice de micro-actionneurs à effet Joule, de capteurs de pression à détection capacitive, de micro-résonateurs à excitation capacitive, au choix.

Thème simulation de MEMS

Simulation avec Coventorware / Memcad pour l'analyse et l'optimisation des actionneurs.

Thème traitement du signal sous MATLAB

Concrétisation des concepts importants du traitement numérique du signal - Transformée de Fourier discrète - Observation spectrale et filtrage - Utilisation de MATLAB pour un codage rapide et concis des algorithmes de calcul.

Thème électronique analogique

Conditionnement des capteurs/actionneurs et microdispositifs réalisés en salle blanche. Conception de l'électronique associée (assistée par la simulation) capable de transformer la grandeur physique d'origine en grandeur électrique au format adapté à l'acquisition.

Thème acquisition, instrumentation

Mise en œuvre de la programmation des systèmes embarqués (LabVIEW FPGA, processeur embarqué NIOS Altera) – Caractérisation de microsystèmes par l'acquisition de données - Mesure de température par thermocouple - Acquisition à distance par protocole TCP/IP - Reconnaissance vocale - Mesure de fonction de transfert par liaison GPIB ou série.

Thème commande Capteurs / Actionneurs

Conversion tension – fréquence et fréquence – tension - Interrupteur analogique et circuits à capacités commutées - Moteur pas à pas et actionneur piézoélectrique - Accéléromètre intégré et capteur inductif.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module MEMS6 : Microtechnologies (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Salle blanche	4	0	20	0	
Microfabrication	14	0	0	0	
Conception et usinage de microsystèmes	14	0	0	0	
Conception de masques	0	4	0	0	
Total	32	4	20	0	56

Evaluation : Examen + Compte-rendu TP

Objectifs : Microfabrication, conception usinage, conception / CAO, microsystèmes et TP associés, salle blanche 1 et TP CAO.

Salle blanche (C 4h, T. Baron)

Ingénierie de la salle blanche. Introduction aux technologies et procédés.

TP Salle blanche 1 : Introduction à la photolithographie (TP : 12h, E. Bigler, T. Baron)

Couches minces : enduction de résine par centrifugation - Photolithographie de contact simple face et double face - Résines positives et inversibles - Dépôt et gravure de couches minces métalliques - Procédés de gravure directe et lift-off.

TP Salle blanche 2 (TP 8h, E. Bigler, T. Baron)

Fabrication d'un micro accéléromètre aluminium sur silicium : photolithographie double face, dépôt de couches métalliques épaisses - Introduction aux couches de protection en silice - Métrologie des couches déposées - Contrôle et caractérisation du dispositif

Microfabrication (C 14h, E. Bigler, T. Baron, F. Neff)

Introduction sur les notions et les divers types de microsystèmes - Intérêt, domaines d'applications et marchés actuels et futurs - Méthodes de microfabrication collective, différentes photolithographies - Notions sur les méthodes de dépôts de couches minces et de couches épaisses - Notions sur les méthodes de gravure ionique, ionique réactive et chimique - Couches épaisses et circuits hybrides sur substrats de céramique, encapsulation et connectique des microsystèmes - Ingénierie des salles blanches, installations, conception, entretien.

Conception et usinage des microsystèmes (C 14h, T. Leblois)

Usinage chimique anisotrope de cristaux silicium, quartz, GaAs : généralités, définitions et problèmes de fabrication des microdispositifs - Modèles cinématiques pour l'attaque chimique anisotrope : méthodes de prédiction des formes usinées - Exemple de fabrication d'une structure simple en silicium dans le KOH.

Détection piézorésistive dans le silicium : principe de cette détection et équations fondamentales. Optimisation de la sensibilité de la détection piézorésistive dans le cas d'une structure simple en fonction de l'orientation des jauges implantées.

Application : conception d'un microcapteur à détection piézorésistive de type microcantilever usiné chimiquement: orientation des jauges implantées, dessin du masque d'usinage et détermination de la forme finale du dispositif.

Conception de masques (TD 4h, B. Dulmet)

CAO de masques de photolithographie pour un micro-accéléromètre à détection capacitive.

Module MEMS7 : Microsystèmes et Interfaces (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Éléments finis pour les microsystèmes	14	0	0	0	
CAO microsystèmes	0	0	6	0	
Acquisition Labview	0	0	12	0	
Instrumentation informatisée	10	0	0	0	
Electronique des microsystèmes	14	0	0	0	
Total	38	0	18	0	56

Evaluation : Examen + Compte-rendu TP

Objectifs : Micro systèmes et leur environnement, interface électronique des microsystèmes, acquisition informatisée et TP associés.

Éléments finis pour les Microsystèmes (C 14h, B. Dulmet)

Caractèremulti-physique des simulations de composants MEMS par éléments finis- Equations locales d'équilibre (milieux continus) : élasticité, statique et dynamique, thermique, équations de Maxwell - Vision globale des équations de comportement : élasticité linéaire anisotrope, thermoélasticité, diffusion de la chaleur, électromagnétisme, électrostatique, magnétostatique, électrocinétique, piézoélectricité, piézorésistivité, rotation des constantes matérielles dans un matériau anisotrope et systèmes d'unités - Méthode des éléments finis pour un milieu continu : formulation intégrale en élasticité, thermoélasticité, thermique linéaire, électrostatique, électrocinétique (Joule), Discrétisation, interpolations, obtention des matrices élémentaires, fonctions de forme - Résolutions multi-physiques en cascade.

TP CAO de microsystèmes (TP 6h, B. Dulmet)

Apprentissage du logiciel *MEMCAD* : actionnement électrostatique d'une micro-poutre silicium - Conception d'une structure monolithique simple : accéléromètre à détection capacitive.

Acquisition LABVIEW (TP 12h, F. Sthal)

Initiation à *LABVIEW* - Principes de base : langage G, instruments virtuels (VI) - Structure de programmation, boucles, graphes, tableaux, clusters. Notions de sous-VI. Gestion des fichiers E/S - Mesure de température - Acquisition de signaux sinusoïdaux.

Instrumentation informatisée (C 10h, F. Sthal)

Conditionnement du signal : linéarisation, amplification, filtrage - Protection vis à vis des parasites, câblage, bruit - Multiplexage, échantillonnage, conversion analogique numérique et CNA - Cartes d'acquisitions : architecture, méthode de choix - Liaisons externes : GPIB, série (RS232, USB), bus de terrain, Wifi - Langage de programmation, instruments virtuels – Labview FPGA pour les systèmes embarqués.

Electronique des microsystèmes (C 14h, S. Galliou)

Technologie de fabrication des circuits CMOS de base, analogiques et numériques - Circuits à capacités commutées - Amplificateurs et filtres - Techniques classiques de linéarisation des signaux de sortie des microcapteurs - Circuits de compensation d'inertie

Module MEMS8 : MEMS et Micro-horloges (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Les MEMS : principes, méthodes, applications	10	0	0	0	
Simulation numérique des MEMS avec Comsol	0	6	0	0	
Caractérisation et Micro-dispositifs	10	0	0	0	
Caractérisation des circuits et composants RF	0	0	4	0	
Micro-horloges atomiques MEMS	10	0	0	0	
Sources et métrologie de fréquence	16	0	0	0	
Total	46	6	4	0	56

Evaluation : Moyenne de 4 partiels

Intervenants : Bernard Dulmet, Fabrice Sthal, Joël Imbaud, Rodolphe Boudot, Serge Galliou, Yann Kersalé,

Introduction aux MEMS et micro-dispositifs résonnants, aux horloges de haute performance, aux oscillateurs avec l'instrumentation associée, à la métrologie des fréquences et du bruit.

Les MEMS : principes, méthodes, applications (C 10h, B. Dulmet)

Facteurs d'échelle, évolution des divers types de forces en fonction des dimensions d'un objet. L'actionnement et la détection électrostatique et piézoélectrique - accéléromètres et gyromètres à détection capacitive - les RF-MEMS pour le contrôle de fréquence - les micro-actionneurs.

Simulation numérique des MEMS avec Comsol (TD 6h, B. Dulmet)

Simulation d'un actionneur électrostatique avec ALE, actionneur piézoélectrique, gyromètre à masse guidée.

Caractérisation et Micro-dispositifs (C 10h, F. Sthal, J. Imbaud)

Micro-poutres et diapasons, micro-leviers : applications métrologiques, du gyromètre et de la centrale inertielle à la microscopie en champ proche.

Caractérisation des circuits et composants RF (TP 4h, J. Imbaud, F. Sthal)

Initiation à l'analyseur de réseau - transformée de Fourier rapide.

Micro-horloges atomiques MEMS (C 10h, R. Boudot)

Horloges et micro-horloges atomiques – Micro-horloge atomique CPT - Atomes froids - Technologie et Applications.

Sources et métrologie Temps-fréquence (C 16h S. Galliou, Y. Kersalé)

Analyse asymptotique des systèmes oscillants - Simulation comportementale - Les spectres de bruit d'amplitude et de phase d'un oscillateur. Fonctionnement, caractérisation et métrologie associée des Étalons et des Oscillateurs ultra-stable - Saphir cryogénique - Horloges atomiques – Horloges et cavités optiques. Technologies MEMS et applications.

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 première 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. 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.

Un deuxième volet 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. Les outils présentés regroupent des méthodes formelles quantitatives et des approches par simulation. Les connaissances acquises apportent les éléments de base pour simuler, dimensionner et optimiser les flux de matière et de pièces dans l'entreprise.

Enfin, au-delà des modes normaux de fonctionnement, la conception, la modification, le pilotage d'un système de production nécessite également la prise en compte des modes d'exception. C'est ce qui fait l'objet de la troisième partie des enseignements dont l'objectif est de fournir aux élèves ingénieurs les connaissances indispensables à la maîtrise de l'activité de maintenance dans sa globalité (principe, enjeux, sûreté de fonctionnement, surveillance, diagnostic, pronostic, MCO, GMAO, TPM...).

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).

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
PROD3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
PROD6	Organisation des systèmes de production		56	4
PROD7	Pilotage des systèmes industriels		56	4
PROD8	Ingénierie de la maintenance		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)
--

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module PROD3 : Projet (56h)

Responsable : Jean-Marc NICOD

Les projets proposés dans ce module auront comme objectif d'étudier les systèmes de production dans leur globalité. Des sujets de différentes natures seront proposés :

Etude de site de production

Simulation de système de production complexe : Etude de différentes politiques de pilotage

Résolution de problème d'optimisation dans les systèmes de production

Mise en œuvre de méthode de diagnostic et/ou pronostic : En simulation numérique, Sur des maquettes physiques

Pour tous les projets les étudiants devront développer une démarche de projet au travers de laquelle ils auront à analyser le problème posé - étudier la bibliographie sur le sujet - choisir une méthode adaptée à la résolution - développer la ou les méthodes retenues.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

ACI4	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
ACOUS4	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
CAO4	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
C3M4	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication (B. Dulmet)
INST4	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
MEMI4	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
PS4	Physique des surfaces (M. Devel)
ROBOT4	Robotique et périrobotique (N. Piat)
SIW4	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module PROD6 : Organisation des systèmes de production (R. Gouriveau)

	Cours	TD	TP	Conf	
Nouvelles organisations de production	8	0	0	0	8
Systèmes d'informations industriels	6	0	8	0	14
Gestion de production	6	8	12	0	26
Amélioration continue	0	0	0	8	8
Total	20	8	20	8	56

Evaluation : Moyenne de 2 partiels + 1 travail individuel

Objectifs : L'objectif de ce module est de donner aux étudiants les éléments nécessaires à une analyse critique des problèmes auxquels ils peuvent être confrontés dans l'entreprise. Deux axes de travail complémentaires sont développés :

- le premier vise, d'une part, à décrire l'entreprise dans son environnement (fournisseurs, clients, concurrents, banques, institutions) et à dégager les enjeux majeurs émergents depuis quelques années ainsi que les nouvelles formes organisationnelles, et d'autre part, à situer et comprendre l'activité de production au sein de cet ensemble (percevoir les interactions avec les autres services et avec les partenaires extérieurs),
- 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 (du long terme - stratégique au court terme – opérationnel).

Systèmes d'information industriels

L'homme "acteur" – information et décision - Les enjeux stratégiques du KM (Knowledge Management) en entreprise ; problématique des connaissances ; la capitalisation des connaissances - Approche par mémoire d'entreprise (REX MEREX); par gestion des connaissances méthode - ascendante KOD et descendante (common KAD's ; MASK), méthodes par ontologie - Des systèmes d'information dédiés aux systèmes intégrés : développements internes, GXAO, ERP, APS, MES.

Gestion de production

Planification : de MRP à MRPII (Manufacturing Resource Planning), problématique, plan industriel et commercial, plan directeur de production, calcul des besoins, adéquation charge-capacité, principaux outils de GPAO - Flux tendu et Juste A Temps : diminution des gaspillages, mise en ligne des moyens de production, rôles du Kanban, diminution des tailles de lot, méthode SMED, qualité et juste-à-temps (Poka-Yoke) - Gestion des flux par les contraintes, méthode OPT.

Nouvelles organisations de production

Interventions industrielles

Amélioration continue et qualité

La production "maigre" - lean manufacturing - Amélioration continue (5S-Kaizen) versus refonte des processus (Business Process Reengineering) - Qualité totale, management du progrès (6 sigma), QFD, MSP.

Module PROD7 : Pilotage des systèmes industriels (C. Varnier)

	Cours	TD	TP	Conf	
Modélisation des systèmes de production	6	4	0	0	12
Evaluation de performances	8	8	12	0	28
Ordonnancement et Recherche opérationnelle	10	8	0	0	18
Total	24	20	12	0	56

Evaluation : Moyenne de 4 partiels + 1 projet de TP

Objectifs : L'objectif de ce module est de proposer aux étudiants un panel d'outils leur permettant d'analyser un système, d'en évaluer les performances et de le commander/piloter/modifier en conséquence. 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.

Modélisation des systèmes de production

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.

Evaluation de performances et simulation

Graphes de Markov : outil de modélisation - Réseaux de files d'attente - 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 - Interprétations des résultats de simulation - Avantage et limites de la simulation - Mise en œuvre sur le logiciel Witness (problèmes industriels types)

Recherche opérationnelle

Programmation linéaire en nombres entiers - Programmation linéaire en variables binaires - Problème de tournée - Problèmes de mélanges - Problèmes de découpe - Problème d'équilibrage d'une chaîne de production - Problèmes de transport.

Méthodes d'ordonnancement

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.

Module PROD8 : Ingénierie de la maintenance (K. Medjaher)

	Cours	TD	TP	Conf	
Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement	6	4	0	0	10
Gestion de la maintenance	6	4	4	0	14
Détection, diagnostic et pronostic	10	10	0	0	20
Introduction à la maintenance prévisionnelle	10	0	0	2	12
Total	32	18	4	2	56

Evaluation : Moyenne de 4 partiels

Objectifs : Les enseignements de ce module permettent de positionner l'activité de maintenance dans l'entreprise, d'identifier les points durs de sa mise en œuvre, d'en présenter les principales activités (gestion des données, des ressources, des équipements, du temps, ...). L'objectif est de permettre à l'ingénieur d'assurer une meilleure disponibilité opérationnelle des systèmes tout en réduisant le coût de leur cycle de vie ; les étudiants sont initiés aux techniques et méthodes utiles à cette fin.

Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement

Volet 1. Problématique - de la maîtrise du risque à la sûreté de fonctionnement (SdF) - Volet 2. Concepts, phénoménologie événementielle, données, modèles, mesures - Volet 3. Mise en œuvre d'une étude SdF - principaux outils à usage industriel : AMDEC, Diagramme de Fiabilité, Arbre de Défaillance, Simulation de Monte Carlo - Volet 4. Concepts avancés - processus stochastiques et modèles markoviens.

Gestion de maintenance

Positionnement, concepts, définitions et enjeux - Missions : production versus maintenance - Evolution : typologies de maintenance - Organisation et processus métiers - Système d'information de maintenance, GMAO, indicateurs et tableaux de bord - Nouvelles formes de maintenance : e-maintenance et démarches complémentaires.

Détection, diagnostic, pronostic

Introduction à la surveillance des systèmes et au diagnostic : définitions, terminologie, méthodes de diagnostic - Détection, identification et localisation des défaillances : approches quantitatives (espace de parité, observateurs, estimation paramétrique...), approches qualitatives (reconnaissance de formes,...) - Pronostic de défaillances : introduction aux réseaux bayésiens et application au pronostic de défaillances méthodes d'intelligence artificielle (RaPC, RN, RB,...).

Introduction à la maintenance prévisionnelle

Introduction au domaine du « Pronostic and Health Management », une nouvelle démarche pour le maintien en condition opérationnelle des équipements.

SANTE : Microsystèmes et Santé

Responsable : Damien TEYSSIEUX

L'association des microsystèmes et de l'ingénierie biomédicale correspond à une approche interdisciplinaire qui a pour objectif la conception et l'application des concepts et méthodes de l'ingénierie, y compris à petite échelle, aux problèmes que l'on rencontre en biologie et en sciences de la santé.

Cette option répond à un enjeu sociétal fort qui se traduit par des besoins en ingénieurs de haut niveau pour concevoir et réaliser les outils de diagnostic et d'analyse médicale qui pourront permettre :

- la télésurveillance des malades, principalement pour les plus fragiles ou ceux qui sont seuls (personnes âgées, par exemple)
- les analyses à très faibles coûts

Le coût utilisant des biopuces ou d'autres microdispositifs spécifiques basés sur des MEMS/MOEMS (microsystèmes opto/électromécanique)

- l'imagerie de l'intérieur du corps humain ; on rencontre ces instruments classiquement dans les cabinets médicaux ou les centres de soins (ultrasons, rayons X, scanner, ...)
- dans certains cas la thérapie (utilisation de lumière spécifique, de rayons X ou électromagnétique, microdispositifs d'injection, ...)

La double compétence en génie biomédical d'une part, et en instrumentation et microtechniques d'autre part, ouvre des débouchés dans les secteurs suivants : instrumentation de précision, instrumentation biomédicale, techniques d'imagerie et outils pour le diagnostic, biotechnologies, ainsi que conception de microsystèmes multiphysiques. Une partie des emplois concernés sont dans le domaine public (où les nouvelles normes imposent le recrutement d'ingénieurs à large spectre de compétences ; dont les grands organismes d'études et/ou de recherche comme l'INSERM) ou le privé (sociétés travaillant à l'interface entre la technique et le biomédical, principalement concevant de nouvelles techniques de diagnostic, d'analyse et/ou de thérapie).

Architecture de l'option

Module	Intitulé	Caractéristiques	Volume horaire	Nombre ECTS
M1	Economie – Gestion – Communication	Obligatoire et commun à toutes les options	56	3
M2	Anglais – LV2		56	3
SANTE3	Projet		56	4
M4	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
M5	Module transverse (MT)	Choix de l'élève	56	4
SANTE6	Microsystèmes		56	4
SANTE7	Instrumentation biomédicale		56	4
SANTE8	Biotechnologies		56	4
Total :			448 h	30 ECTS

Contenu de l'option

Module M1 : Sciences Economiques Humaines et Sociales (56h)

Voir programme page 26

Module M2 : Anglais – Langue vivante 2 (56h)

Voir programme page 26

Module SANTE3 : Projet (56h)

Objectifs et débouchés : L'association des microsystemes et de l'ingénierie biomédicale correspond à une approche interdisciplinaire qui a pour objectif la conception et l'application des concepts et méthodes de l'ingénierie, y compris à petite échelle, aux problèmes que l'on rencontre en biologie et en sciences de la santé. La double compétence en instrumentation et microtechniques d'une part, en génie biomédical d'autre part, ouvre des débouchés dans les secteurs de l'instrumentation de précision, l'instrumentation biomédicale, les techniques d'imagerie et les outils pour le diagnostic, les biotechnologies, ainsi que la conception de microsystemes multiphysiques.

Ateliers de conception (56h)

- Cours de conception (8h C) : introduction aux techniques de conception utilisant les outils de CAO. Démarche de la conception.
- Conduite de projet (8h séminaire) : gestion et management de projet ; quelques exemples industriels.
- Mini-projets encadrés en instrumentation biomédicale ; exemples de sujets : tensiomètre, thermomètre tympanique, électrocardiogramme, vélocimètre Doppler.

Module M4 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 76)

<u>ACI4</u>	Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)
<u>ACOUS4</u>	Acoustique / Vibroacoustique (M. Ouisse)
<u>CAO4</u>	Capteurs, actionneurs et CAO (J. Imbaud)
<u>C3M4</u>	Conception Mécanique, Microsystemes, Microfabrication (B. Dulmet)
<u>INST4</u>	Instrumentation pour les transports (P. Vairac)
<u>MEMI4</u>	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation (D. Teyssieux)
<u>PS4</u>	Physique des surfaces (M. Devel)
<u>ROBOT4</u>	Robotique et périrobotique (N. Piat)
<u>SIW4</u>	Systèmes d'informations et application Web (C. Varnier)

Module M5 : Module transverse (56h)

1 module au choix parmi la liste suivante (voir détail page 86)

BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse (P. Grailhe)
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis (R. Laydi)
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables (B. Cavallier, N. Ratier)
FAB5	Procédés de fabrication avancés (A. Gilbin)
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes (E. Bigler)
MAENV5	Matériaux et Environnement (D. Teyssieux, P. Stempflié)
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision (E. Ramasso)

Module SANTE6 : Microsystèmes et tests (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Conception et développement de microsystèmes	6	8	0	0	14
Microfabrication	6	0	0	0	6
Contrôle et test des microsystèmes	10	0	0	0	10
Microsystèmes pour la santé	6	0	0	0	6
TP	0	0	20	0	20
Total	28	8	20	0	56

Objectif : ce module permet d'appréhender l'ensemble des outils nécessaires à toutes les étapes allant de la conception à la réalisation et au test des microsystèmes. Un enseignement cohérent, incluant un cours de modélisation et simulation d'un bilame et d'un accéléromètre, de la réalisation pratique en salle blanche et du test des dispositifs réalisés, donne une vision générale et pratique de la chaîne de conception/réalisation. Un cours spécifique fournit des applications des microsystèmes dans le domaine porteur qu'est le biomédical.

Conception et développement de microsystèmes (cours : 6h ; TD 8h) :

Ce cours a pour contexte les microtechniques : il porte sur les aspects multi-physiques des microsystèmes au niveau de la conception : modélisation analytique et numérique des microsystèmes incluant actionneurs et capteurs ; il s'agit tout d'abord d'une description et d'une analyse des principaux phénomènes physiques intervenant dans les microsystèmes. Des exemples de conception sont intégralement traités.

Microfabrication (cours 6h)

Ce cours dresse un inventaire des différents procédés habituellement mis en œuvre en salle blanche. Des illustrations sont fournies en association avec les cas d'études vus en conception. L'ensemble de ces acquis est appliqué lors des TP en salle blanche.

Contrôle et test des microsystèmes (cours : 10h) :

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

Microsystèmes pour la santé (cours : 6h)

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.

TP (5*4h) : Microscopie à force atomique (AFM), vibrométrie des microsystèmes, analyse spectrale de micro-source lumineuse, réalisation d'un microsystème (salle blanche)

Module SANTE7 : Instrumentation biomédicale (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Principes et techniques d'imagerie médicale	12	4	0	2	18
Instrumentation pour les signaux biomédicaux	6	0	0	0	6
Biocapteurs, biométrie	10	0	0	0	10
Télémédecine et télésurveillance	6	0	0	2	8
TP	0	0	16	0	16
Total	34	4	16	4	58

Objectif : ce module introduit le concept d'outils pour le diagnostic local et le télédiagnostic, en forte expansion actuellement. Le diagnostic s'appuie aujourd'hui sur de nombreuses méthodes (analyses spécifiques, imagerie) qui sont détaillées dans le cadre de ce module. Au-delà, les outils de télémédecine et de télésurveillance sont passés en revue et de nombreuses applications sont présentées.

Principes physiques et techniques d'imagerie médicale (cours : 12h + TD : 6) :

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.

Instrumentation pour les signaux biomédicaux (cours : 6h) :

L'objectif de ce cours est de présenter une vue d'ensemble de techniques d'instrumentation biomédicale dédiée au traitement des signaux bioélectriques. Il sera axé sur les quatre grands principes que sont l'ECG, l'EEG, l'EMG et les potentiels particuliers. Les méthodes et principes qui seront abordés devraient permettre à l'élève d'appréhender et de développer des méthodes innovantes de mesures face d'autres types de signaux biomédicaux.

Biocapteurs, biométrie (cours : 8h) :

Le cours traite des puces à ADN, des capteurs moléculaires dans les différentes disciplines, et des techniques instrumentales pour l'analyse morphologique et comportementale.

Télémédecine et télésurveillance (cours : 6h + conférences : 2h) :

Techniques de chirurgie à distance, dispositifs téléopérés, télésurveillance médicale ; ce cours s'appuie sur des exemples concrets (situation de crise sanitaire dans des endroits où les accès sont difficiles, diagnostic dans des zones polluées).

TP (4*4h) : ultrasons pour l'échographie, capteurs télé-opérés (2 TP), mesure de mouvement par caméra.

Module SANTE8 : Biotechnologies (56h)

	Cours	TD	TP	Conf	
Micromanipulation et son contrôle	8	0	4	2	14
Biochimie et techniques pharmaceutiques	8	0	0	2	10
Biophotonique et lasers en médecine	10	0	4	0	14
Nanobiotechnologies et techniques émergentes	10	0	4	4	18
Total	36	0	12	8	56

Objectif : ce module a pour but de familiariser les élèves avec les outils et techniques utilisés dans le domaine biomédical de l'échelle microscopique à l'échelle nanométrique. De plus, une introduction à la biochimie et aux techniques pharmaceutiques permet de se familiariser avec le jargon et les concepts du domaine.

Micromanipulation et son contrôle (cours : 8h + conférences : 2h)

le cours porte sur les appareils pour les déplacements microscopiques d'objets biologiques et d'outils médicaux (micro-seringue, par exemple) et le contrôle associé.

Biochimie et techniques pharmaceutiques (cours : 8h + conférences : 2h)

biochimie du métabolisme ; introduction aux glucides, lipides, acides aminés et nucléiques ; biologie cellulaire, physiologie ; pharmacologie (devenir d'un médicament dans l'organisme), toxicologie (système de réparation de l'ADN, mort cellulaire).

Biophotonique et lasers en médecine (cours : 10h)

microsources et microdétecteurs pour la biologie, lasers utilisés en médecine (colorants,..) et leurs applications thérapeutiques ; la fluorescence en biomédical (exemple de la détection de lésions tumorales).

Nanobiotechnologies et autres techniques émergentes (cours : 10h + conférences : 4h)

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.

Modules Transverses M4

Code	Intitulé	Responsable	C/Conf	TD	TP	T
ACI4	Amélioration continue industrielle	C. Dielemans	52	0	4	56
ACOUS4	Acoustique/Vibroacoustique	M. Ouisse	24	8	24	56
CAO4	Capteurs, actionneurs et CAO	J. Imbaud	30	18	0	56
C3M4	Conception Mécanique, Microsystèmes, Microfabrication	B. Dulmet	36	12	8	56
INST4	Instrumentation pour les transports	P. Vairac	56	0	0	56
MEMI4	Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation	D. Teyssieux	56	0	4	56
PS4	Physique des surfaces	M. Devel	48	0	8	56
ROBOT4	Robotique et vision	N. Piat	44	0	12	56
SIW4	Systèmes d'informations et application Web	C. Varnier	18	6	32	56

Dominante Mécanique – Matériaux (4) : ACOUS4, C3M4, MEMI4, PS4

Dominante Électronique – Automatique – Optique (3) : CAO4, INST4, ROBOT4

Dominante Production / Informatique / Innovation / Physique (2) : ACI4, SIW4

ACI4 : Amélioration continue industrielle (C. Dielemans)

	Cours	TD	TP	Conf	
Présentation de rentrée 4h	4	0	0	0	4
Les méthodes de résolution	2	0	4	4	10
Les méthodes d'amélioration continue	0	0	0	24	24
Les réalités industrielles de la qualité	0	0	0	6	6
Management par et pour la qualité	0	0	0	12	12
Total	6	0	4	46	56

Evaluation : présence + note recherche bibliographique + examen QCM

La nouvelle proposition de ce module transversal se veut attractive, en relation avec les emplois industriels dans ce domaine. C'est pourquoi, le nouvel intitulé correspond à un métier référencé par l'APEC.

Objectifs : 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 résolument porteurs des réalités industrielles. C'est pourquoi, chaque thème sera abordé par des séances de cours visant à présenter les aspects théoriques fondamentaux puis par des conférences présentées par des professionnels issus de l'industrie.

Contenu :

présentation de rentrée C Dielemans (4h)

A- Les méthodes de résolution – 10 h

Les étudiants mettent en œuvre les méthodes de résolution de problèmes, et en particulier les AMDEC et l'analyse de la valeur. Cet enseignement est très technique, et vient en complément de la première année où ces notions ont été vues. Aussi, c'est sous forme de TP que se fera ce thème (4h) et 2 heures de cours. Les outils informatiques de la suite TDC sont présentés sous forme de conférence de 4h.

Intervenants : Bruno Raguin et un ingénieur de la société Knowlence

B- Les méthodes d'amélioration continue – 24 h

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.

- a) Lean manufacturing 8h
- b) Six sigmas 4h
- c) Total productive maintenance (TPM) 8h
- d) Supply chain 4h

Intervenants : Marie-Christine Fontana (Salzgitter Mannesmann Precision), Jean Bufferne (spécialiste diplômé par le JIPM), Jean Levêque (SKF), Frédéric Fournier (Mazars).

C- Les réalités industrielles de la qualité – 6h

Dans ce thème, les élèves ingénieurs vont 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.

- a) Le coût de la non qualité
- b) Le coût d'obtention de la qualité
- c) Les relations client fournisseur

Intervenant potentiel : Laurent Note

D-Management par et pour la qualité – 12 h

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 4h.
- b) Management des organisations. Mode processus des entreprises 4h.
- c) Normes ISO TS 16949 (référentiel qualité automobile) et 9001 V2008 4h.

Intervenants : Laurent Note et Bruno Raguin

ACOUS4 : Acoustique / Vibroacoustique

(M. Ouisse)

	Cours	TD	TP	Conf	
Acoustique / Vibroacoustique	26	11	17	2	56
Total	26	11	17	2	56

Evaluation : Examen (2/3) + notes de TP (1/3)

Ce module transverse peut s'adresser à tous les étudiants, il donne un aperçu des méthodes d'analyse des problèmes d'acoustique et de vibro-acoustique des systèmes industriels.

- Contexte socio-économique : Eléments de physiologie humaine. Aspects normatifs et environnementaux. (cours : 2h).
- Formulation acoustique : équations de base. Approche modale, application à l'acoustique des locaux fermés. Formulation intégrale, application à l'acoustique des milieux ouverts. (Cours : 6h, TD : 2h).
- Outils mathématiques pour l'acoustique : décomposition en série de Fourier, analyse spectrale, fonction de Green, interactions sous forme d'exposés (Cours : 3h, TD : 2h).
- Absorption acoustique : techniques de réduction du niveau sonore par introduction de matériaux absorbants (mousses, poreux...), modèles associés, application à l'acoustique du bâtiment et aux transports. (Cours : 2h).
- Méthodes numériques en acoustique : éléments finis, éléments infinis, éléments de frontière. (Cours : 2h).
- Techniques expérimentales en acoustique industrielle : microphones, sondes intensimétriques, antennes acoustiques (Cours : 2h).
- Couplage vibro-acoustique : intégrale de Rayleigh, rayonnement acoustique de structures vibrantes, couplage fluide-structure (Cours : 4h, TD : 2h).
- Méthodes hautes fréquences en acoustique et vibro-acoustique : méthodes énergétiques, tir de rayon (Cours : 2h).
- Travaux pratiques : modélisation (TP : 8h), simulation (TP : 8h) et expérimentation (TP : 8h).

Conférences (intervenant industriel) : L'acoustique dans l'automobile (1h)

CAO4 : Capteurs, actionneurs et CAO

(J. Imbaud)

	Cours	TD	TP	Conf	
Capteurs	14	0	0	0	14
Actionneurs	14	0	0	0	14
Physique des microcapteurs	14	0	0	0	14
CAO	14	0	0	0	14
Total	56	0	0	0	56

Evaluation : 4 partiels

Intervenants : Rémi Barrère, Emmanuel Bigler, Joël Imbaud, Fabrice Sthal

Capteurs et actionneurs, leur utilisation dans les micro-systèmes, leurs principes physiques et leur modélisation

Capteurs (cours : 14h)

Définitions, terminologie, grandes familles de capteurs - Principe des capteurs à variations dimensionnelles et conditionnement : capteurs résistifs, capacitifs, inductifs, piézo-électriques - Capteurs de température et conditionnement

Actionneurs (cours : 14h)

Lois de l'électromagnétisme, circuits magnétiques, réluctance - Actionneurs réluctants polarisés ou non, électrodynamiques, électromagnétiques - Moteurs pas à pas multiphasés, principe, caractéristiques et commande - Moteur pas à pas monophasé, moteur *Lavet* - Moteurs à courant continu, moteur sans balais - Moteur électrostatique, principe et commande

Physique des Microcapteurs (cours : 14h)

Introduction à la micro-ingénierie, micro capteurs et circuits intégrés - Micro accéléromètre - Micro capteur de proximité - Micro capteur de pression, détection piézorésistive, détection capacitive

CAO (cours : 14h)

Atelier de CAO (modélisation - calcul scientifique) : on utilise les ressources mathématiques et informatiques actuelles (calcul numérique, calcul formel, approximations analytiques, programmation symbolique, parallélisme, réseau...) pour développer des outils de modélisation-simulation des transducteurs (capteurs ou actionneurs) et de leur conditionnement ainsi que des chaînes (mesure ou instrumentation) associées.

C3M4 : Conception mécanique, Microsystèmes, Microfabrication

(B. Dulmet)

	Cours	TD	TP	Conf	
Microfabrication Salle Blanche	6	0	4	0	10
Modélisation des Micro Systèmes	14	0	0	0	14
Analyse des microsystèmes	0	8	0	0	8
Micro Mécanique Horlogère	6	6	4	0	16
Cycle de conférences	0	0	0	8	8
Total	26	14	8	8	56

Objectifs: Donner une culture technique sur les systèmes micromécaniques - Donner une culture technique des microsystèmes électro-mécaniques - Donner les méthodes de modélisation multi-physiques - Donner une culture des méthodes de microfabrication – Donner des bases de micro mécanique horlogère

Microfabrication Salle Blanche (T. Baron)

Introduction aux technologies de micro-fabrication salle blanche (fonctionnement salle blanche, clean concept, risque lié à la salle blanche, technologie disponible, conception technologique à travers l'exemple traité en TP). Mise en application au cours d'un TP.

Modélisation analytique des systèmes multi-physiques (B. Dulmet)

Le cours balaye la modélisation analytique de structures simples en réalisation MEMS. Un exemple typique d'application de ces structures, de type poutre ou plaque composite, est fourni par les capteurs de force statiques ou résonnants basés sur un entretien et/ou une détection électrostatique ou piézoélectrique. Les séances de TD AMS associées au cours apportent la dimension de simulation numérique désormais standard dans le développement des microsystèmes électro-mécaniques (MEMS).

Analyse de microsystèmes (B. Dulmet)

Les exercices analysent des micro-dispositifs de natures et dimensions très différentes : Actionneurs à effet Joule – Accéléromètres à excitation piézoélectrique ou électrostatique à poutres vibrantes – Gyromètre à plaque vibrante. Le dénominateur commun est la simulation numérique multiphysique de structures réalisées par des techniques de salle blanche.

Micro Mécanique Horlogère (R. Jamault)

Vocabulaire technique. Technologie des mouvements et des complications mécaniques. Règles de conception. Procédés de fabrication et de finition. Initiation à un logiciel de CAO métier. Simulation de fonctions horlogères. Analyse d'un mouvement mécanique réel.

Cycle de conférences – ou visites thématiques

INST4 : Instrumentation pour les transports

(P. Vairac)

	Cours	TD	TP	Conf	
Instrumentation pour les transports	10	0	0	4	14
Instrumentation pour l'aéronautique	10	0	0	4	14
Instrumentation pour les transports terrestres	10	0	0	4	14
Electronique embarquée	14	0	0	0	14
Total	44	0	0	12	56

Intervenant : Fabrice Sthal

Objectifs : ce module permet aux élèves d'avoir une vision claire des solutions technologiques dans le domaine de l'instrumentation dédiée aux secteurs du transport (aéronautique, automobile, ferroviaire...). Les systèmes électroniques développés aujourd'hui dans ce cadre seront abordés. De plus un cours de qualité spécifique à ce domaine leur apportera les connaissances de base (normalisation, certification...). Ce dernier cours est assuré par un ingénieur spécialiste des normes dans le monde industriel.

Ce module particulièrement bien adapté au profil de l'ingénieur ENSMM s'adresse à tous les élèves (plus de 40% des débouchés dans le domaine du transport).

Qualité dans l'industrie des transports (cours : 10h + conférences : 4h)

La normalisation, certification adaptée aux entreprises du Transport et de la Logistique, critères de qualité, outils pour les différents secteurs : route, rail, multimodal, aéronautique

Instrumentation pour l'aéronautique (cours : 10h + conférences : 4h)

Instruments de bord : gyroscopes, altimètres, anémomètres, variomètres, indicateurs de paramètres moteur et spécifiques, indicateurs de pression, température, niveau, ... - Dispositifs de guidage et d'aide au pilotage

Instrumentation pour les transports terrestres (cours : 10h + conférences : 4h)

Instrumentation pour l'automobile : capteurs spécifiques, combinés d'instrumentation, dispositifs d'aide à la conduite (systèmes de navigation, systèmes antiblocage de freins et de contrôle de trajectoire, radars) - Instrumentation pour les chemins de fer : aides à la conduite, wagons instrumenté : mesure d'efforts, contrôle de nivellement, géométrie 3-D de la voie

Electronique embarquée (cours : 14h)

Introduction aux différents aspects de l'électronique embarquée : matériels et logiciels. Problèmes de sécurité : techniques et matériels de contrôle et de diagnostic, transmission d'informations, garantie de fonctionnement en mode dégradé ; architecture d'un véhicule multiplexé.

MEMI4 : Mécanique expérimentale, mesure, instrumentation

(D. Teyssieux)

	Cours	TD	TP	Conf	
Expérimentation en mécanique : caractérisation des matériaux et des structures	24	0	0	0	24
Capteurs	10	0	0	0	10
Instrumentation	10	0	0	0	10
Traitement des signaux	8	0	0	0	8
Cycles de conférences	0	0	0	2	2
Visite d'entreprises	0	0	0	2	2
Total	52	0	0	4	56

Evaluation : 2 partiels

Objectifs: sensibiliser l'ingénieur aux techniques expérimentales en mécanique - donner les méthodes pour choisir le capteur adapté aux mesures à réaliser - enseigner les techniques d'instrumentation et les traitements des signaux appliqués - inventorier les méthodes de caractérisation des matériaux.

Public concerné : Tout ingénieur mécanicien susceptible de travailler dans un centre d'essai ou en bureau des méthodes.

Expérimentation en mécanique : caractérisation des matériaux et des structures (T. Barrière, P.H. Cornuault, E. Foltête, N. Martin, G. Michel, M. Ouisse, V. Placet)

Essais de caractérisation classiques – Expérimentation en dynamique des structures – Expérimentation en mise en forme (par usinage, par déformation plastique, par moulage) – Analyses chimiques et moléculaires des surfaces – Analyses structurales des surfaces.

Capteurs (F. Stahl)

Capteurs pour la mécanique – Conditionnement – Critères de choix – Lecture de fiches techniques – Etudes de cas

Instrumentation (D. Teyssieux)

Méthodes de mesure pour la mécanique : optique, acoustique, électromagnétique – Critères de choix des éléments d'un système instrumental – Créer une chaîne de mesure – Optimisation.

Traitement des signaux (G. Cabodevila)

Théorie du signal dans le domaine temps et le domaine fréquences – Opérateurs pour le traitement du signal – Dispositifs de traitement du signal : analyseur de spectre, corrélateur, détecteur synchrone. – Quelques applications à des mesures en mécanique.

Cycle de conférences – à définir

Visite d'un centre d'essais industriels.

PS4 : Physique des surfaces

(M. Devel)

	Cours	TD	TP	Conf	
Description d'une surface	12	0	0	0	12
Analyse et caractérisation physicochimique des surfaces	12	0	0	0	12
Technologies de micro-usinage	10	0	0	0	10
Membranes et capteurs	12	0	0	0	12
Dynamique Moléculaire	2	8	0	0	10
Total	48	8	0	0	56

Evaluation : 2 partiels (2/3) + CR de TP (1/3)

Intervenants : Bernard Cretin, Michel Devel, P. Fievet, T. Leblois, C. Ramseyer, Fabrice Sthal

Description d'une surface (12h)

Les concepts thermodynamiques. Propriétés mécaniques électroniques et structurales d'une surface. Spectroscopies Infrarouge et Raman. Spectroscopie des photoélectrons (XPS). **C. Ramseyer**

Analyse et caractérisation physicochimique des surfaces par microscopies conventionnelles et à champ proche (12h)

Microscopie électronique (MEB, MET), microscopie acoustique (SAM), microscopie à effet tunnel électronique (STM), microscopie à force atomique (AFM), microscopies thermique et thermoélastique (SThM, SThAM), utilisation des résonances plasmoniques de surface, adhésion et forces de surface. **B. Cretin**

Technologies de micro-usinage (10h)

Usinage chimique, plasma, laser et ultrasonore **T. Leblois**

Membranes et capteurs (12h)

Procédés baromembranaires et électro-membranaires : description, critères de choix et applications industriels. **P. Fievet (6h)**

Capteurs à ondes de surface. Capteurs optiques. Capteurs chimiques. Capteurs biologiques.

F. Sthal (6h)

Simulations de type « dynamique moléculaire » (10 h)

Principe et applications de la dynamique moléculaire **M. Devel**

ROBOT4 : Robotique et vision

(N. Piat)

	Cours	TD	TP	Conf	
Robotique mobile	12	0	0	4	16
Imagerie Industrielle	12	0	12	0	24
Communication et réseaux	14	0	0	2	16
Total	38	0	12	6	56

Evaluation : 2 partiels + TP +étude de cas

Robotique mobile (cours 16h)

L'objectif de ce cours est de donner les bases nécessaires au développement de robots mobiles. L'accent est porté sur la locomotion, la perception, la modélisation de l'environnement, la navigation et la coopération de robots mobiles. En plus des méthodes conventionnelles, des systèmes basés sur des comportements seront présentés.

Contenu : Modélisation – Locomotion - Perception et capteurs – Cartographie de l'environnement
Méthodes de navigation – Coopération et coordination de systèmes multi-robots

Vision pour applications robotiques (Cours : 12h, TP : 12h) (S. Dembélé - E. Ramasso)

L'objectif de ce cours est d'apporter aux étudiants les bases de la vision par ordinateur et du traitement d'images afin de mieux comprendre les possibilités de l'exploitation ou de la manipulation des images par une machine, ainsi que d'appréhender les enjeux liés au domaine en matière de recherche et de développement industriel.

Contenu : Introduction à la vision par ordinateur - Formation et présentation des images numériques - Rehaussement d'images - Détection de contours - Morphologie mathématiques appliquée aux images en niveau de gris – Segmentation – Application au contrôle dimensionnel

Communication et réseaux (cours : 12h, Intervenant extérieur : 4h)

Un réseau en général est le résultat de la connexion de plusieurs machines entre elles, afin que les utilisateurs et les applications qui fonctionnent sur ces dernières puissent échanger des informations. Dans le cadre des réseaux industriels, il s'agit de faire communiquer des machines qui ne sont plus seulement des ordinateurs. On fait communiquer des appareils différents tels que des ordinateurs, des automates programmables, des appareils de mesures, des équipements spécifiques (fours, commandes numériques, ascenseurs, ...).

Concepts fondamentaux : taxinomie des réseaux industriels, domaines d'applications - Le modèle ISO : structuration des réseaux en 7 couches - Couche physique : topologie des réseaux, modes de transmission, supports de transmission - Couche Liaison : méthodes d'accès et performances - Couche Réseau : interconnexion de réseaux, adressage, protocole, algorithmes de routage – exemples d'applications de réseaux locaux dans des systèmes industriels.

SIW4: Système d'information

(C. Varnier)

	Cours	TD	TP	Projet	
Système de gestion de base de données	8	6	8	0	22
Développement d'application Web	6	0	12	0	18
Programmation Orientée Objet	4	0	4	0	8
Projet	0	0	8	0	8
Total	18	6	32	0	56

Evaluation : Examen (1/2) + projet (1/2)

Perso* : travail personnel de l'élève

Système de gestion de base de données

Qu'est ce qu'un Système d'Information - Modélisation des données (modèle conceptuel de données, modèle relationnel) - Base de données relationnelle - Travaux pratiques : manipulation de base de données SQL.

Développement d'application Web

Base de données et application Web (pages dynamiques) - Introduction à l'HTML et Php.

Programmation orientée objet

Fondement de la POO - Introduction à Java ou Python - Travaux pratiques : développement d'application.

Projet

Analyse, conception et développement d'une application web manipulant un système d'information (exemples : mini GPAO, mini GMAO, gestion d'une bibliothèque, etc...).

Modules transverses M5

Code	Intitulé	Responsable	C/C onf	TD	TP	T
BIO5	Biomécanique, biomatériaux et matériaux issus de la biomasse	P. Grailhe	36	8	12	56
CSEF5	Calculs et simulation par éléments finis	R. Laydi	38	18	0	56
EEER5	Efficacité Energétique & Energies Renouvelables	B. Cavallier N. Ratier	40	16	0	56
FAB5	Procédés de fabrication avancés	A. Gilbin	33	11	12	56
FTM5	Fabrication et Technologies des Microsystèmes	E. Bigler	56	0	0	56
MAENV5	Matériaux et Environnement	D. Teyssieux P. Stempflé	56	0	0	56
MOD5	Méthodes d'Optimisation et de Décision	G. Laurent	40	4	12	56

Dominante Mécanique – Matériaux (4) : BIO5, FAB5, MAENV5

Dominante Électronique – Automatique – Optique (2) :FTM5, MOD5

Dominante Production / Informatique / Innovation (1) : CSEF5

BIO5 : Biomécanique, Biomatériaux et Matériaux issus de la Biomasse

(P. Grailhe)

	Cours	TD	TP	Conf	
Biomatériaux, Matériaux issus de la biomasse	14	6	6	2	28
Biomécanique	14	2	6	4	26
Visite	0	0	0	2	2
Total	28	8	12	8	56

Evaluation : 2 partiels (7/10) + TP (3/10)

Pré requis souhaités : avoir suivi le module de biomatériaux et matériaux hautes performances MM4 en 2^{ème} année ainsi que le cours optionnel physiologie et sport EPS2.

Biomatériaux et matériaux issus de la biomasse

Matériaux issus de la biomasse : G. Monteil (8h cours) : Energie (chaleur et biocarburants) - Agro et biomatériaux (Polymères, composites, agrosolvants, bio lubrifiants...) - Fibres végétales.

Le bois, biomatériau d'ingénierie, V. Placet (4h cours, 2h TD) : Constitution, structure, anatomie et composition du bois - Propriétés physiques - Durabilité et préservation - Rhéologie du bois. - Présentation de la filière bois / des utilisations du matériau bois.

Conférence : Le séchage du bois, Intervenant extérieur 2h (Patrick Pérré, ENGREF Nancy)

Les composites à fibres végétales, V. Placet (2h cours + 1 visite d'entreprise) : Les renforts (*présentation des fibres naturelles*) - Les matrices (polymères synthétiques *et biopolymères*) - Les procédés de fabrication - Les propriétés et utilisations des composites à fibres naturelles.

Conférence : 2h (Gérard Mougin, Société AFT Dijon)

Visite d'entreprise sur 1/2 journée AFT plasturgie à Fontaine-les-Dijon (production de matériaux renforcés de fibres naturelles à destination de la plasturgie).

Travaux Pratiques : Propriétés mécaniques du bois, Caractérisation structurale et mécanique du bois - Etude de cas avec logiciel CES EDUPACK.

Biomécanique

Mécanique du mouvement humain : P. Grailhe (4h cours ; 2h TD)

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.

Propriétés mécaniques des matériaux Biologiques : Pierre Grailhe (2h cours ; 2h TD)

Biomécanique de la paroi artérielle et de l'endothélium - Notions sur l'hémodynamique du système artériel : Structure de la paroi artérielle, physiopathologie, mesure de ses propriétés mécaniques - Adaptation dynamique de forme et de structure de la paroi artérielle - Biomécanique de l'endothélium - Description, rôle, contraintes subies par les cellules endothéliales - Propriétés mécaniques des tendons - Propriétés mécaniques de l'os : Os cortical, os spongieux, Modélisation et simulation numérique du comportement du fémur sous chargement : appuis monopodal.

Propriétés (mécaniques) de la peau, Emmanuelle Jacquet (4h cours)

La fonction mécanique de la peau - Mesure du relief cutané - Exploration fonctionnelle mécanique - Aspects thermomécaniques.

Remodelage osseux, applications des lois mécaniques sur le squelette et formation osseuse P. Grailhe (4h cours)

Prothèse des hanches (précautions et évolutions dans le temps) - Les forces de cisaillement et l'angiogénèse (cours) - Réglementations concernant l'usage des biomatériaux : stérilisation (β , γ , vapeur thermique, oxyde d'éthylène), normes, standards et réglementation. Bioéthique (cours).

Conférence : 2h

Travaux Pratiques : Mesure et Etude biomécanique des mouvements de la main - Mesure et Etude biomécanique des mouvements du corps humain

CSEF5 : Calcul et simulation par éléments finis

(R. Laydi)

	Cours	TD	TP	Projet	
Isolation thermique	6	2	0	0	8
Actionnement électrostatique d'une poutre (MEMS)	6	2	0	0	8
Structure vibrante	6	2	0	0	8
Introduction aux méthodes numériques	8	8	0	0	8
Modes de vibrations de tuyaux sonores	6	2	0	0	8
Excitation thermique par faisceau laser	6	2	0	0	8
Total	38	18	0	0	56

Evaluation : Assiduité + 5 devoirs à rendre

Objectifs : Mettre en synergie des acquis scientifiques avec les techniques de programmation et le calcul par éléments finis afin de simuler sur ordinateur des comportements complexes liés à des problèmes concrets d'ingénierie d'origine thermique, mécanique, ...

Ce module transverse bénéficie de la collaboration d'enseignants à la croisée de leurs disciplines plurielles et variées.

Il permet ainsi aux futurs ingénieurs de consolider et d'approfondir cette connaissance très utile notamment dans l'environnement des applications et de codes de calculs industriels.

Le module s'articule autour de quelques problèmes majeurs types et se déroule de la manière suivante :

- La modélisation du problème est assurée par le spécialiste de la matière (en 2h).
- La formulation mathématique est établie et l'écriture d'un code de calcul par éléments finis sous Matlab est élaborée. Enfin, les résultats sont interprétés et discutés (en 6h).

Les thèmes abordés cette année ainsi que le nom des collaborateurs physiciens (entre parenthèses) sont :

1. Isolation thermique (S. Galliou ; Électronique)
2. Actionnement électrostatique d'une poutre (B. Dulmet : Électronique)
3. Structure vibrante couplée à un exciteur électrodynamique (M. Collet : Mécanique)
4. Modes de vibration des tuyaux sonores (E. Bigler : Électronique)
5. Excitation thermique par faisceau laser (D. Teyssieux & B. Cretin : Optronique)

Le contenu exact de ces cours est accessible à l'adresse <http://www.ens2m.fr/math/CSEF5/>

EEER5 : Efficacité Energétique & Energies Renouvelables

(B. Cavallier - N. Ratier)

	Cours	TD	TP	Conf	
Maîtrise de l'énergie pour les transports	6	4	0	0	10
Maîtrise de l'énergie pour l'industrie (procédés de fabrication)	6	4	0	0	10
Energies renouvelables	8	6	4	0	18
Efficacité énergétique	6	0	12	0	18
Total	26	14	16	0	56

Evaluation : Partiel (Maîtrise de l'énergie pour les transports) (1/5) + Partiel (Énergies renouvelables) (2/5) + Partiel (Efficacité énergétique) (2/5)

Objectifs : Acquérir les concepts fondamentaux liés à la maîtrise de l'énergie dans les trois principaux secteurs de consommation énergétique (résidentiel tertiaire, transports, industrie).

Programme :

- Gestion, modélisation et optimisation des flux internes et externes dans l'industrie et les transports,
- « Lean » production et choix des procédés.
- Étude des énergies renouvelables : hydraulique, éolien (terrestre et marin), biomasse, solaire photovoltaïque, géothermie,
- Problématique et outils de l'efficacité énergétique,
- Modélisation et diagnostic thermique et énergétique appliquée au secteur résidentiel tertiaire,
- Récupération d'énergie, concepts et techniques (mécaniques, électriques, contrôle commande,...), transduction

FAB5 : Procédés de fabrication avancés et innovants

(A. Gilbin)

	Cours	TD	TP	Conf	
Introduction au module et choix des procédés	3	0	0	0	3
Cours complémentaires avec $\mu 1$, $\mu 2$ et options	18	0	0	0	18
Conférences de spécialistes en procédés	0	0	0	15	15
Etudes de cas applicatifs concrets	0	8	12	0	20
Total	21	8	12	15	56

Evaluation : Etude de veille technologique à réaliser en petits groupes avec présentation au groupe classe en français et rédaction d'un article de synthèse en anglais.

Objectifs : Enrichir les connaissances des étudiants sur les méthodes de production et en particulier sur les procédés de pointe ou émergents (compétences Bureau d'Etudes, Bureau des Méthodes, R&D).

Contenus des cours : Principe des différents procédés – Données techniques de référence – Bases pour le dimensionnement – Applications industrielles – Coût de matériels et des opérations – Procédés concurrents ou complémentaires – Développements actuels

Différentes **familles de procédés** concernées :

Procédés à grande vitesse, Procédés à haute énergie, Eco-Procédés, Procédés de prototypage, Procédés combinés et assistés, Procédés de μ -Fabrication ...

Présentation d'**outils et concepts modernes** pour la fabrication :

Enchaînement et Surveillance de procédés, Usine numérique, μ -Usine ...

Cycle de conférences avec des **spécialistes internationaux**, académiques et industriels

FTM5 : Fabrication et Technologies des Microsystèmes

(E. Bigler)

	Cours	TD	TP	Conf	
Usinage par ultra-sons	3	0	0	0	3
Introduction à la Photolithographie – LIGA	4	0	0	0	4
Microfabrication horlogère	2	0	0	0	2
Simulation et analyse de microsystèmes	6	0	0	0	6
MEMS et MOEMS	4	0	0	0	4
Microsystèmes à ondes élastiques de surface et caractérisation	3	0	0	0	3
Microscopie et usinage par faisceaux d'électrons ou d'ions	3	0	0	0	3
Couches minces : élaboration, caractérisation, micro-usinage, applications	22	0	0	0	22
Total	56	0	0	0	56

Evaluation : Partiel sur les conférences

Intervenants ENSMM : E. Bigler, J.J. Boy, B. Dulmet, J. Takadoum, R. Jamault

Intervenants extérieurs : M. de Labachellerie, D. Lacour, J.Y. Rauch, H. Keppner.

Thèmes abordés dans ce module : Photolithographie, Analyse des MEMS et des MOEMS, Couches minces et leur caractérisation, applications aux microsystèmes magnétiques, piézoélectriques, électrostatiques. Techniques plasma, ultrasons, liga, nano-impression, techniques d'usinage non silicium, introduction aux nanotechnologies.

Usinage par ultra-sons – J.J. Boy (cours : 3h)

Introduction à la Photolithographie – LIGA - E. Bigler (cours : 4h)

Introduction aux MEMS piézoélectriques - E. Bigler (cours : 2h)

Microfabrication horlogère - R. Jamault (cours : 2h)

Simulation et analyse de microsystèmes - B. Dulmet (cours : 6h)

Microsystèmes Électro-mécaniques (MEMS) et Optiques (MOEMS) – M. de Labachellerie CNRS-FEMTO-ST (cours : 4h)

Microsystèmes à ondes élastiques de surface et caractérisation - É. Herth CNRS-FEMTO-ST (cours : 3H)

Microscopie et usinage par faisceaux d'électrons ou d'ions - R. Salut CNRS-FEMTO-ST (cours : 3H)

Couches minces : élaboration, caractérisation, micro-usinage, applications

Réalisation des couches minces – J.Y. Rauch (cours : 4h) : Élaboration par dépôts sous vide de couches minces métalliques et diélectriques

Couches minces magnétiques – D. Lacour CNRS-IJL Nancy (cours : 3h)

Caractérisation des couches minces – J. Takadoum (cours : 3h) : Détermination des constantes mécaniques et des contraintes internes - Mesure et optimisation de l'adhésion film – substrat - Propriétés tribologiques : couches dures anti-usure et revêtements lubrifiants solides

Technologie des plasmas – H. Keppner HE-ARC Neuchâtel (cours : 12h) : Définition et classification des plasmas, plasmas chauds, plasmas froids. Interactions des plasmas avec les surfaces. Réacteurs plasma. Amorçages d'un plasma, décharges, corona, générateur haute tension. Architecture d'une décharge. Pulvérisation cathodique, avec magnétron, avec champ RF. Procédés PECVD, plasmas réactifs. Gravure par plasma : procédé cryogénique, procédé Bosch, applications aux microsystèmes, caractérisations, conception et optimisation des réacteurs.

MAENV5 : Matériaux et Environnement

(D. Teyssieux – P. Stempflié)

	Cours	TD	TP	Conf	
Matériaux issus de la biomasse	12	0	0	0	12
Biodégradation	6	0	0	0	6
Ecoconception	10	0	0	0	10
Capteurs pour l'environnement	10	0	0	0	10
Energies renouvelables	12	0	0	0	12
Gestion des énergies renouvelables	6	0	0	0	6
Total	56	0	0	0	56

Evaluation : Partiel (1h Eco-conception + Ecotoxicité + 1h Biomasse + Bois) (1/2) + partiels Matériaux et Energie (1/2)

Matériaux : choix, dégradation, recyclage et impact sur l'environnement (28h)

Matériaux issus de la biomasse (12h)

Bois et matériaux ligneux - Biopolymères issus ou synthétisés à partir de biomatière – Biolubrifiants - Biocarburants.

Biodégradation et toxicité (6h)

Hydrolyse - Dégradation enzymatique – Biocorrosion – Biofilms – Toxicité - Rejets (DBO, DCO, éléments chimiques) – Normes.

Eco-conception (10h)

Concept et principes de l'éco-conception - Choix des matériaux - Indicateur d'impact environnemental. Traitement et recyclage des matériaux - Cycle de vie.

Environnement : qualité de l'environnement, énergies renouvelables et leur gestion (28h)

Capteurs pour l'environnement (10h)

Différents types de capteurs, mesure de la pollution de l'environnement (air, eau, ...). Les capteurs en association avec les sources de pollution (moteurs, systèmes de chauffage, ...)

Energies renouvelables (12h)

Energies éoliennes, solaire et géothermique, ... ; les grands enjeux pour la planète
Descriptif des potentiels énergétiques ; évolution de la production d'énergie renouvelable ; quelle énergie pour quelle application ? Rentabilité en fonction du choix.

Gestion des énergies renouvelables (6h)

Problèmes de gestion des énergies renouvelables, électronique associée, régulation, etc...
Le stockage et le couplage au réseau de distribution

MOD5: Méthodes d'Optimisation et de Décision

(E. Ramasso)

	Cours	TD	TP	Conf	
Aide à la décision multicritères	6	2	0	0	8
Théorie des graphes	8	4	2	0	14
Méthodes d'optimisation	12	4	8	0	24
Processus décisionnels de Markov	10	0	0	0	10
Total	36	10	10	0	56

Evaluation : 4 examens écrits + 1 synthèse d'article (5x1/5)

Objectif : Ce module propose un panorama des méthodes d'optimisation et de décision. L'objectif est d'être capable de trouver la meilleure solution ou un bon compromis à des problèmes variés et concrets (ordonnancer la production, calculs d'itinéraires, problèmes de logistique, maximiser ses gains futurs, etc.).

Aide à la décision multicritères

Notion de décision - Méthodes Ordinales - Méthodes de surclassement (Electre)

Théorie des graphes

Notion de graphes pour la modélisation - Algorithmes classiques : chemin le plus court/long, problème de coloriage de graphes, parcours en largeur, parcours en profondeur, A*.

Méthodes d'optimisation

Programmation linéaire – Optimisation de fonctions non linéaires - Procédure de séparation et évaluation – Métaheuristiques.

Processus décisionnels de Markov

Modèle dynamique stochastique – fonction coût et critère décisionnel à optimiser – programmation dynamique – apprentissage par renforcement.