

SYLLABUS

FORMATION EN ÉNERGIE



<https://ensem.univ-lorraine.fr/syllabus-ensem/>



LA FORMATION EN ÉNERGIE À L'ENSEM



Les défis de la transition énergétique à l'horizon 2050 entraînent de nombreuses avancées technologiques dans les domaines de la production, de la distribution optimale et de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables (efficacité énergétique et optimisation de la consommation, électrification massive, contrôle et gestion des systèmes énergétiques, procédés de cogénération et de récupération d'énergie, énergies nouvelles et renouvelables, etc.)

Les trois premiers semestres de formation se déroulent dans le cadre d'un tronc commun. Le programme scientifique combinant l'ingénierie mécanique, l'ingénierie électrique et les sciences de l'information est complété par une formation générale (langues vivantes, communication, sciences de la gestion, ingénierie des systèmes). Une initiation au monde professionnel est assurée par des stages en entreprise et de multiples interventions industrielles.

A partir du second semestre de la deuxième année, la formation est organisée sous forme de blocs de compétences autour des réseaux d'énergie, de la conversion d'énergie, des machines électriques, de l'énergétique, du contrôle commande et de la sécurité des systèmes énergétiques, de la modélisation & simulation numérique et du génie mécanique. Une sélection de ces blocs permet de personnaliser les parcours de formation en fonction des projets professionnels des étudiants : transport et mobilité, énergétique industrielle, réseaux d'énergie, etc.

L'expérience internationale est encouragée par de nombreuses possibilités d'échanges universitaires et de stages à l'étranger. Tout cela permet d'acquérir de solides connaissances scientifiques et techniques reconnues par les industriels, une compréhension précise des enjeux dans le domaine de l'énergie et des soft skills indispensables aux métiers de l'ingénierie.

600

élèves-ingénieurs

200

diplômés
chaque année

8000

diplômés
à ce jour

6000

ingénieurs
ENSEM actifs

60

enseignants-
chercheurs

200

chercheurs confirmés
ou en thèse

18000
m²

de locaux
d'enseignement et
de laboratoires

+de
60

partenariats avec
des universités
étrangères

Unité d'Enseignement (UE) Eléments Constitutifs (EC)	Responsable	Section CNU de l'EC
---	-------------	------------------------

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
----	----	----	-------------------	--------	------	-------------

ENSEM DIPLÔME ENERGIE 1A- Semestre 5

UE Outils Mathématiques 1

D. Schmitt

Mathématiques pour l'ingénieur	K. Koufany	26
Analyse Numérique 1	D. Schmitt	26

14	16	0	30	3	5	10
8	6	6	20	2		

UE Fondements de la Mécanique

J.C. Perrin

Mécanique des milieux continus	C. Laurent	60
Thermodynamique	J.C Perrin	62

16	14	0	30	2,5	5	10
16	14	0	30	2,5		

UE Electricité 1

F. Meibody

Electrotechnique générale	F. Meibody	63
Outils pour l'électricité et l'électronique	T. Boileau	63

14	10	6	30	2,5	5	10
12	10	8	30	2,5		

UE Sciences de l'Information & Info 1

V. Louis-Dorr

Modélisation des signaux et des systèmes	V. Louis-Dorr	61
Modélisation des SED	JF Pétin	61
Algorithmes et programmation	A. Lahmadi	27

9	4	10	23	2	5	10
4	3	0	7	0,5		
7	5	18	30	2,5		

UE Langues 1

S. Gallaire

Anglais	C. Corringer	11
Langue vivante 2	C. Cuisinier	12,14, 09
Validation du niveau de langue française	C. Cuisinier	

0	24	0	24	2,5	5	10
0	24	0	24	2,5		
0	1	0	1	Quitus		

UE Formation Générale 1

B. Rémy

Management	N. Charpentier	6
Habilitation Electrique & Santé au Travail	T. Boileau	63
Egalité - Diversité - Inclusion	V. Louis-Dorr	
Communication	A. Thimon	71
Gestion de Projet	JC Marpeau	27,60,61,62,63
Projet de 1ère année	JC Marpeau	27,60,61,62,63

14	0	0	14	1,5	5	10
8	0	0	8	Quitus		
8	0	0	8	Quitus		
0	16	0	16	1,5		
4	16	0	20	2		
0	0	30	30	Quitus		

TOTAL

375		30
------------	--	-----------

UE Outils Mathématiques 1

D. Schmitt

Mathématiques pour l'ingénieur**K. KOUFANY**

- **Objectifs**

Ce module de mathématique est notamment consacré à l'homogénéisation du niveau des étudiants à l'entrée à l'ENSEM. Les premiers éléments nouveaux sont ensuite enseignés de manière progressive pour faire entrer les élèves dans des mathématiques plus avancées. Ces notions sont fondamentales et parmi les premières utilisées dans les autres CFS de l'école.

- **Compétences acquises**

Pendant cet enseignement, les élèves :

- Amélioreront leur capacité de raisonnement,
- Maîtriseront les notions mathématiques utiles pour les sciences de l'ingénieur.

- **Prérequis**

Les prérequis sont les connaissances en mathématiques acquises au cours des deux années de classes préparatoires MP/PC/PSI (programme apparaissant au Bulletin Officiel du 30 mai 2013).

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 16** **TP : 00**

Le programme recouvre des rappels de connaissances et une introduction aux mathématiques de base pour l'ingénieur en tant qu'outil.

Continuité ; suites et séries de fonctions
 Calcul différentiel ;
 Calcul intégral (curvilignes, Théorème de Stokes, Théorème de flux-divergence);
 Algèbre linéaire (rappels);
 Équations différentielles;
 Équations aux dérivées partielles
 La transformation de Laplace ;
 Les séries de Fourier ;
 La transformée de Fourier des fonctions.
 Modélisation de problèmes physiques pour les Sciences de l'Ingénieur.

Les applications en TD sont :

- 1) la maîtrise du calcul intégral (en dimensions 1, 2 et 3) et ses applications à des problèmes de la physique ;
- 2) la maîtrise de résolution des EDO et EDP par des méthodes directes ou en passant par la transformation de Laplace/Transformation de Fourier/Séries de Fourier, applications à des problèmes de la physique.

- **Evaluation**

Valider les compétences sous forme d'une épreuve écrite

NRJ	S5	Fr
-----	----	----

UE Outils Mathématiques 1	D. Schmitt
Analyse Numérique 1	D. SCHMITT

- **Objectifs**

L'enseignement d'Analyse Numérique est dispensé à travers deux EC complémentaires : Analyse Numérique 1 au semestre 5 et Analyse Numérique 2 au semestre 6.

Cet enseignement présente une introduction aux différentes techniques de résolution numérique de problèmes rencontrés en sciences de l'ingénieur. Son objectif est de fournir les techniques de résolution en mathématiques numériques, les algorithmes associés et leur implémentation informatique (sous Matlab) pour la simulation de problèmes déterministes.

- **Compétences acquises**

Les étudiants sont amenés, pas à pas, vers la compréhension des mathématiques numériques utiles dans leur formation d'ingénieur.

La résolution individuelle de problèmes doit amener les élèves à faire preuve d'une plus grande autonomie. En particulier, à l'issue de cet enseignement, les étudiants devront être capables d'analyser le problème posé, déterminer la méthode numérique la plus adaptée à la résolution du problème, mettre en œuvre cette méthode et analyser les résultats obtenus.

- **Prérequis**

Une bonne maîtrise des notions mathématiques « de base » (analyse, algèbre,...) acquises lors des deux premières années d'enseignement supérieur et dans le cadre du module « Mathématiques pour l'ingénieur » est demandée. De même, une maîtrise des outils informatiques, de l'algorithmique et de la programmation de base est supposée acquise.

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 06** **TP : 06**

- Les erreurs en analyse numérique;
- Résolution numérique d'équations non linéaires;
- Interpolation et approximation polynômiale;
- Dérivation et intégration numérique;

- **Evaluation**

Valider les compétences sous via des rapports de TP numériques et une épreuve écrite.

UE – Fondements de la mécanique

J.-C. Perrin

EC – Mécanique des milieux continus

C. Laurent

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de transmettre aux étudiants les concepts de base leur permettant d'aborder et de résoudre divers problèmes liés à la mécanique des solides déformables et à la mécanique des fluides. Après un rappel des différents prérequis de mécanique (cinématique et dynamique du point et du solide indéformable), la cinématique d'un milieu continu est décrite, puis les efforts intérieurs au sein de ce milieu, ainsi qu'une introduction au comportement des matériaux solides et fluides. Les applications en TD sont principalement articulées autour de problématiques de stockage d'énergie.

- **Compétences acquises**

Les étudiants sauront décrire les mouvements et efforts intérieurs dans un milieu continu, seront capables de résoudre des problèmes de base en mécanique du solide déformable ainsi qu'en mécanique des fluides, et seront préparés à des cours approfondis dans ces deux domaines.

- **Prérequis**

Culture de base de calcul différentiel et calcul matriciel

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 14** **TP : 00**

Cours magistraux :

Rappels de mécanique du point et de mécanique du solide

Introduction au calcul tensoriel

Milieux continus : définition, applications

Cinématique des milieux continus : représentation du mouvement, déformation des milieux continus

Dynamique des milieux continus : représentation des efforts intérieurs, propriétés du tenseur des contraintes

Application aux milieux solides : le solide élastique linéaire isotrope

Application aux milieux fluides : le fluide newtonien

Travaux dirigés :

TD 1 : Rappels de mécanique du solide indéformable : stabilité du barrage pesant

TD 2 : Calcul de champs : étude d'écoulements classiques

TD 3 : Déformation du milieu continu : écrasement d'un pneu plein

TD 4 : Etude des contraintes : réservoir sous pression

TD 5 : Etude de l'essai de traction

TD 6 : Application au dimensionnement : arbre de transmission

TD 7 : Ecoulement d'un fluide : frottement autour d'un volant d'inertie

- **Evaluation**

L'évaluation aura lieu sur la base d'un test d'une heure en novembre (coefficient 0.25) et d'un examen de deux heures en janvier (coefficient 0.75), portant sur la résolution d'exercices de base en mécanique des solides et en mécanique des fluides.

UE – Fondements de la mécanique

Perrin Jean-Christophe

EC – Thermodynamique

Perrin Jean-Christophe

- **Objectifs**

L'EC de thermodynamique macroscopique aborde les principes fondamentaux qui président au fonctionnement des dispositifs énergétiques. Ces principes sont à la base :
de la définition des conditions d'équilibre de la matière, et donc des conditions qui permettent sa transformation,
de la conservation et de la conversion de l'énergie,
de la détermination des évolutions possibles des systèmes et de leurs performances.

- **Compétences acquises**

Les élèves maîtriseront les connaissances thermodynamiques nécessaires à l'étude des systèmes énergétiques. Ils posséderont les outils permettant d'aborder les problèmes courants (machines thermiques, changements de phase). Ils posséderont des bases de conversion photovoltaïque et thermoélectrique.

- **Prérequis**

Bases de thermodynamique de niveau CPGE, IUT ou L2.

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 14** **TP : 00**

CM :

définitions des grandeurs et des processus thermodynamiques
échanges d'énergie : travail / chaleur
conservation de l'énergie : premier principe
évolution des systèmes : second principe
machines thermiques
changements d'état d'un corps pur. aspects énergétiques des changements de phase.
évolution des systèmes : potentiels thermodynamiques
systèmes ouverts
introduction à la combustion
conversion thermoélectrique

TD :

premier principe : étude d'un fil métallique en traction
second principe
machines thermiques
changements de phase
potentiels thermodynamiques : énergie libre
thermoélectricité

- **Evaluation**

Test écrit à mi-parcours d'une durée de 1h (25%) + Examen final écrit d'une durée de 2h (75%).

NRJ	S5	Fr
-----	----	----

UE – Electricité 1	F. Meibody-Tabar
EC – Electrotechnique générale	F. Meibody-Tabar

- **Objectifs**

Ce module donne les bases de la modélisation externe des systèmes électriques à l'aide d'éléments représentant les phénomènes physiques observés dans ses constituants. Les objectifs sont :

- D'établir le schéma électrique équivalent du système étudié et de déterminer ses principales variables.
- Maîtriser les méthodes d'étude des circuits monophasés et triphasés en régime sinusoïdal établi.
- Introduire les circuits magnétiques avec des topologies simples pour étudier et modéliser les inductances magnétiquement couplées ainsi que les transformateurs monophasés et triphasés.

- **Compétences acquises**

- Modéliser un système électrique par un schéma équivalent de type circuit à l'aide des éléments représentant les phénomènes physiques observés dans ses constituants tels que la dissipation et le stockage d'énergie.

- Etudier les systèmes électriques monophasés et triphasés en régime sinusoïdal à l'aide des circuits équivalents.
- Modéliser des dispositifs à bobinages magnétiquement couplés par des circuits magnétiques à l'aide des réseaux de perméances.
- Modéliser les transformateurs monophasés et triphasés et déterminer leurs caractéristiques et performances.

- **Prérequis**

Programme de physiques des Classes Préparatoires aux grandes écoles.

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 10** **TP : 6**

- Systèmes électriques monophasés et triphasés (6h CM, 4h TD) :

Modéliser par des éléments localisés la production, le transport, le stockage et la conversion de l'énergie électrique. Présenter les grandeurs complexes associées aux grandeurs sinusoïdales, déterminer les différentes variables et les puissances dans un système électrique en régime sinusoïdal établi. Etudier les systèmes triphasés en régime sinusoïdal à l'aide des composantes symétriques.

- Circuits magnétiques (2h CM, 2h TD) :

Modélisation des circuits magnétiques par des réseaux de perméances. Modélisation et dimensionnement des inductances magnétiquement couplées.

- Transformateurs monophasés (3h CM, 2h TD, 3h TP):

Présentation des différents types de transformateurs en fonction de l'application. Présentation du modèle de transformateurs monophasés et identification de ses paramètres. Détermination des performances des transformateurs monophasés intégrés dans un réseau monophasé.

- Transformateurs triphasés (3h CM, 2h TD, 3h TP):

Présentation du modèle équivalent monophasé des transformateurs triphasés et des méthodes d'identification de ses paramètres avec. Détermination des performances des transformateurs triphasés intégrés dans des réseaux triphasés. Conditions de mise en parallèle de transformateurs. Présentation des autotransformateurs.

- **Evaluation**

Des examens écrits évaluent les connaissances théoriques acquises sur la modélisation et la détermination des performances des systèmes électriques en régime sinusoïdal établi. En outre, les compétences expérimentales acquises au cours des travaux pratiques sont également évaluées en notant les rapports réalisés sur l'identification des paramètres des modèles de transformateurs monophasés et triphasés et la mesure de leurs performances.

UE – Sciences humaines

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

EC – Outils pour l'électricité

Thierry Boileau

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est de donner les connaissances théoriques et pratiques nécessaires aux étudiants pour pouvoir suivre les enseignements d'électronique de puissance

- **Compétences acquises**

Maitrise de l'étude des circuits électriques en régime transitoire. Maitrise de la simulation des régimes transitoires à l'aide de Matlab Simulink en utilisant la mise en équation sous forme d'état.
Maitrise de la méthode d'étude des montage à diodes. Connaissance des notions élémentaires d'électronique analogiques (AOP), des notions d'impédance d'entrée, d'impédance de sortie.

- **Prérequis**

Equations différentielles, systèmes différentiels. Lois de Kirchhoff

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 12** **TP : 08**

CM
Régimes transitoires et modélisation Matlab Simulink
Diodes
AOP et montages à AOP
Transistors

TP
Oscilloscope
Amplification Différentiel
Amplificateur Classe B et Classe D

- **Evaluation**

Evaluation de compte rendu de TP et examens écrits

UE – Sciences de l'Information & Info 1	Valérie Louis Dorr
EC – Modélisation Signaux et Systèmes	Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif est de former les étudiants à l'analyse temporelle et fréquentielle des signaux et à l'analyse des systèmes linéaires et invariants par translation. Ce cours permet l'introduction des outils de base de traitement du signal. L'application typique est l'analyse fonctionnelle de la chaîne d'instrumentation

- **Compétences acquises**

Etre capable de manipuler les modèles mathématiques classiques des signaux et systèmes (fonction de transfert, équation différentielle, réponse impulsionnelle, convolution, etc.), savoir résoudre un problème simple de traitement de signal analogique

Ce savoir faire est d'une part théorique et d'autre part il est appliqué sur des processus réels en TP. Les compétences acquises sont les bases de l'ingénierie d'analyse des systèmes continus et de traitement du signal

- **Prérequis**

Systèmes physiques linéaire du premier et du second ordre et équations différentielles linéaires

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 00**

CM1 à CM2 Classification des signaux à temps continu, à temps discret, déterministe ou aléatoire, définition de l'énergie et de la puissance d'un signal (instantanées, moyennes), notion de corrélation.

CM3 à CM6 Système dynamique linéaire et invariant par translation: définition, réponse impulsionnelle, convolution, fonction de transfert, analyse fréquentielle. Identification de systèmes linéaires du premier et du second ordre

CM7 à CM8 Filtrage analogique : notion de bruit dans les signaux, bruit généré dans les composants électroniques, rapport signal sur bruit, modélisation du bruit à bande étroite. Réponse impulsionnelle et indicielle du premier et du second ordre.

Analyse et synthèse des filtres passifs et actifs analogiques, gabarit, premier et second ordre, réponse harmonique, diagramme de Bode, approximations polynomiales de Butterworth, Tchebychev, Bessel.

CM9 Application modulation-démodulation d'amplitude analogique : Intérêt de la modulation dans le traitement de l'information.

4 Tutorats de 1 heures

Tutorat1 : Système convolutif & Transformée de Fourier

Tutorat 2 : Gabarit et synthèse d'un filtre

Tutorat 3 : Modulation -Démodulation dans la chaîne d'instrumentation

Tutorat 4 : Etude du même système à partir de différents outils de modélisation : équation différentielle, convolution, fonction de transfert

3 TP

TP1 identification de système du 1er et 2nd ordre

TP2 Etude et analyse du filtrage en CAO électronique

TP3 Etude d'une chaîne d'instrumentation le dynamometre

- **Evaluation**

Nous évaluons l'aptitude de l'étudiants à manipuler les modèles théoriques pour répondre à une étude de comportement de processus et à analyser des signaux. A travers le contrôle continu et l'examen de fin de semestre, on évalue l'aptitude à manipuler les outils théoriques de modélisation . En TP, on évalue l'aptitude des étudiants à appréhender un système réel et confronter les performances de la modélisation vis-à-vis du comportement réel

Sciences de l'Information et Informatique 1

Valérie Louis-Dorr

EC – Modélisation des Systèmes à Evénements Discrets**J.F Pétin**

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'initier les élèves aux fondements théoriques de la modélisation des Systèmes à Evénements Discrets

- **Compétences acquises**

À l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables :

- de modéliser un système à événements discrets à l'aide de la théorie des langages et des automates à états finis.
- de définir un superviseur en vue de maintenir le système à événements discrets dans une plage de comportements admissibles à l'aide de la théorie de la commande supervisée de Ramadge & Wonham.

- **Prérequis**

Algèbre de Boole des variables booléennes et des fonctions booléennes.

- **Programme pédagogique** **CM : 4** **TD : 3** **TP : 0**

- Algèbre de Boole des variables booléennes et des fonctions booléennes,
- Introduction à la modélisation des SED : concepts d'événements et d'états, discrétisation des états et du temps,
- Théorie des langages et Automates à états finis : mots et langages, opérations sur les langages, fermeture préfixielle, expressions régulières, théorème de Kleene, opérations sur les automates (produit et composition synchrone, déterminisation).
- Introduction à la théorie de la supervision (Supervisory Control Theory de Ramadge & Wonham) : générateur, superviseur, langage L(S/G), contrôlabilité, états défendus, états faiblement défendus, suprême contrôlable, algorithme de synthèse (Kumar).

- **Evaluation**

- Ecrit (connaissances théoriques sur la théorie des langages et les automates à états finis, compétences en modélisation des SED à l'aide des automates à états finis)

UE – Sciences de l'information 1	V. Louis-Dorr
EC –Algorithmes et programmation	A. Lahmadi

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'acquérir et de consolider les bases en programmation Python, les algorithmes et les architectures de machines informatiques : système de numération et assembleur, programmation Python avancée, algorithmes de calcul numérique

- **Compétences acquises**

- Concevoir des algorithmes
- Développer des programmes en langage Python
- Comprendre le fonctionnement d'un processeur/microcontrôleur

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique** **CM : 07** **TD : 05** **TP : 18**

Cet EC décomposé en 5 tutorats et 6 TP:

Les 5 tutorats:

- Tutorat 1 : Systèmes de numération (entier, relatif, réel)
- Tutorat 2 : Passage d'un code haut niveau à un code assembleur
- Tutorat 3 : Introduction à la programmation objet en Python
- Tutorat 4 : Programmation scientifique en Python
- Tutorat 5 : Algorithmes dans des tableaux à 2 dimensions

Les 6 Travaux Pratiques:

- TP1 : Programmation d'un processeur en assembleur
- TP2 : Programmation Python structurée
- TP3 et TP4 : Programmation Scientifique en Python
- TP5 : Projet puissance 4
- TP6 : Synthèse

- **Evaluation**

- Savoir concevoir un algorithme pour un problème donné
- Savoir développer un programme en langage Python

Modalités d'évaluation : contrôle continu et un examen final pratique sur ordinateur

UE – Langues 1

S. Gallaire

EC – Anglais

C. Corringer

• **Objectifs**

Ce cours a pour objectif de consolider les acquis des étudiants dans les 4 activités langagières (production écrite, production orale en interaction, compréhension écrite, compréhension orale), remettre à niveau les étudiants les plus faibles, satisfaire (au minimum) le quitus d'anglais de niveau B1 (cf. descriptif CECRL ou CTI 2010) en visant B2. Développer les compétences professionnelles.

• **Compétences acquises**

-Savoir-être et savoir-faire professionnels.
-Compréhension de l'écrit et de l'oral, production écrite en langue étrangère.

• **Prérequis**

Pour tous les élèves : avoir suivi un enseignement dans cette langue, en LV1 ou LV2, au cours de ses études secondaires, soit 5 années au minimum. Avoir au minimum le niveau B1.

• **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Les élèves se voient proposer des activités visant à perfectionner les 4 activités langagières en ne perdant pas de vue des tâches finales professionnelles telles que la rédaction d'un CV, d'une lettre de motivation et d'un rapport technique en anglais. Pour les plus faibles l'accent est également mis sur la consolidation des bases grammaticales et lexicales.

Approche actionnelle : les activités et supports utilisés en cours relient les compétences aux tâches communicatives.

Les supports et les méthodes sont adaptés selon les niveaux.

-Compréhension orale : divers documents audio et vidéo authentiques, sites internet
-Compréhension écrite : lettres, CV, rapports, articles de presse, extraits d'articles scientifiques. Activités de fixation et de transfert des structures langagières étudiées.
-Production orale : restitution, débats, échanges, points de vue en utilisant des documents audio/vidéo et écrits comme sources.
-Production écrite : rédactions de CV, lettres de motivation, de rapports.

• **Evaluation**

Contrôle continu: évaluations diagnostiques, formatives et sommatives (grammaire, vocabulaire, compréhension orale/écrite, et rédaction d'écrits).

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Stéphanie Gallaire
EC – Nom de l'Elément Constitutif	Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Les élèves sont répartis en groupes selon leur niveau de compétence.

Atteindre, renforcer ou dépasser le niveau B1 tel que décrit dans le CECRL. Renforcement des bases, langue générale. Remise à niveau dans les 5 compétences en vue d'atteindre le niveau B1 à la fin du S6, ou d'aller au-delà pour les étudiants les plus avancés

Pour les débutants : atteindre le niveau A1 tel que décrit dans le CECRL.

- **Compétences acquises**

Développement de la capacité à communiquer, à échanger. Confiance en soi en langue étrangère.

Compréhension de l'écrit et de l'oral, production écrite et orale (en continu et en interaction) en langue étrangère.

Savoir se fixer des objectifs, apprendre à apprendre.

- **Prérequis**

Avoir suivi la langue étudiée en LV1, LV2 ou LV3 dans le secondaire.

Pour les débutants: engagement à suivre la formation dans la LV2 choisie tout au long de sa scolarité à l'ENSEM.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Langue générale et quotidienne, thèmes, supports et mise en œuvre les plus variés possibles.

Thèmes : parler de soi-même, étudier, sport et loisirs, santé, travail, entreprise, vivre à l'étranger, habiter, vie quotidienne et traditions.

A chaque cours, travail des 5 compétences (compréhension écrite et orale, interaction orale, expression écrite et orale).

Enrichissement systématique du vocabulaire actif (jeux, etc.).

Utilisation des ressources en ligne pour un travail intensif de la compréhension orale et de la langue.

Entraînement systématique de la compréhension orale à travers documents audio et vidéo authentiques.

Entraînement de la compréhension écrite à travers des articles de presse et autres textes.

Production orale : débats, échanges, comptes rendus, jeux de rôle, présentations, entraînement de la prononciation, etc.

Production écrite : productions écrites en rapport avec les points développés dans les autres compétences, rédaction de mail, prise de position, synthèse, etc.

- **Evaluation**

Contrôle continu (50%): tests réguliers en cours de semestre ; note sanctionnant la participation en cours.

Examen écrit (50%).

UE – Sciences humaines

Stéphanie Gallaire

EC – Quitus de langue française

Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Pour les élèves dont le français n'est pas la langue maternelle : validation à 100% du niveau 2 à la fin du semestre 6.

Pour les élèves de langue maternelle française : validation à 100% du niveau 3 à la fin du semestre 6.

- **Compétences acquises**

Amélioration de la langue française avec obtention d'un niveau précis (2 ou 3 en fonction de la langue maternelle).

Possibilité d'aller au-delà de l'objectif imposé, jusqu'à 100% du niveau 4.

Diminution, voire disparition des fautes commises par l'élève en grammaire et en orthographe.

Entraînement de la capacité à travailler en autonomie et avec régularité, à raison d'une heure hebdomadaire.

- **Prérequis**

Avoir un niveau A2 en français si le français n'est pas la langue maternelle.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Travail autonome sur la grammaire et l'orthographe françaises sur la plateforme e-learning Orthodidacte.

Évaluation diagnostique réalisée par chaque élève en début d'année sur la plateforme.

Sur la base de cette évaluation, un parcours personnalisé est établi.

Révision des règles et éradication progressive des erreurs en suivant la progression établie par la plateforme.

Progression continue jusqu'à l'atteinte de l'objectif fixé, voire au-delà.

- **Evaluation**

Quitus de langue française indexé à l'obtention de 100% du niveau 2 ou 3, selon la langue maternelle.

Quitus semestriel qui conditionne l'obtention de l'UE Sciences humaines.

UE – formation générale 1

Benjamin Remy

EC – Management

Nathalie Charpentier

• **Objectifs**

Donner aux étudiants la capacité d'analyser le système « entreprise » sur le plan organisationnel, managérial et stratégique. Leur donner les outils qui leur permettent d'identifier les risques, les conflits, afin de s'armer pour leurs résolutions et pour la mise en place de stratégies.

• **Compétences acquises**

Capacité à s'intégrer dans une organisation d'entreprise, de l'animer et de la faire évoluer

• **Prérequis**

Aucun

• **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 00** **TP : 00**

La dimension managériale :

- Les différents styles de management
- Le management dans le monde
- Les différentes stratégies
- Le diagnostic stratégique
- La segmentation stratégique
- L'analyse interne et externe : le SWOT

La gestion des conflits :

- Les différents types de conflits
- Les sources de conflit
- Les attitudes dans le conflit
- Les techniques de négociation

La gestion des risques :

- Problématique de la gestion des risques
- Le risk management
- La pyramide COSO
- L'évaluation des risques et leur cartographie
- Les finalités de la gestion des risques

Le coaching

- Les enjeux actuels du coaching
- Avantages et inconvénients du coaching externe et interne

• **Evaluation**

Examen :
QCM et questions de cours.

UE – Sciences humaines

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

EC – Sécurité au travail 1**Thierry Boileau**

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est de donner les connaissances nécessaires aux étudiants pour valider la partie théorique et pratique de l'habilitation électrique au niveau "BE Essai"

- **Compétences acquises**

Avoir un comportement approprié en présence de tension électrique.
Savoir prendre les mesures nécessaires afin d'éviter de se mettre en danger en présence de tension électrique.
Réagir de façon adaptée en cas d'accident d'origine électrique.

- **Prérequis**

Loi de base de l'électricité (loi d'Ohm, loi des mailles, loi des nœuds théorème d'ampère et force de Laplace)

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 00** **TP : 00**

Cours Magistraux
Effets physiologiques du courant
Les appareillages électriques (schémas normalisés, fonctions)
Les mesures de sécurité (contre les contacts directs et indirects)
Les équipements de protection
Les signes de sécurité (zone, et distance à respecter)
La consignation
Les niveaux d'habilitation
Les gestes qui sauvent
Intervention en cas d'incendie

- **Evaluation**

1 QCM

UE – UE Formation générale 2

B. Rémy

EC – Egalité Diversité et inclusion

Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif est de sensibiliser les étudiants aux thématiques du vivre-ensemble dans le respect mutuel et l'acceptation des différences, ainsi qu'à la lutte contre les violences sexistes et sexuelles et toutes les formes de discriminations. Ces thématiques sont regroupées sous un tryptique égalité - diversité - inclusion, et l'objectif du cours est de découvrir les différentes problématiques qui y sont associées et les leviers d'actions permettant de les prévenir.

- **Compétences acquises**

Comprendre le concept de diversité et d'inclusion et ses implications
 Apprécier la diversité culturelle et le respect des différences
 Identifier des pratiques discriminatoires et des comportements non inclusifs
 Connaître les dispositifs d'alerte et savoir réagir

- **Prérequis**

Sans prérequis
 Toutefois les prérequis intéressants sont de l'ordre des qualités personnelles sur l'ouverture d'esprit !

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 00**

Théâtre Forum de sensibilisation aux violences sexuelles et sexistes (VSS) par la troupe synergie
 Le principe : une courte scène traitant du sexisme, du cyberharcèlement et d'une agression dans un environnement étudiant est jouée par les acteurs. La scène est ensuite rejouée en mettant cette fois-ci les étudiants à contribution. L'idée est de leur permettre de jouer le rôle de la protagoniste principale et de réagir aux outrages dont elle est victime. Ce théâtre d'improvisation débouche ensuite sur une réflexion collective sur les différences entre outrage sexiste, harcèlement sexuel et la notion de consentement, souvent méconnues des étudiants Rappel de la loi.
 Conférence prévention des conduites à risques, notamment en suite aux différentes formes d'addictions
 Témoignage d'étudiant sur une agression sexiste et sexuelle
 Formation asynchrone sous forme de vidéos de sensibilisation et d'information
 Quiz sur l'inclusion et l'exclusion
 Quiz sur la diversité

- **Evaluation**

La participation au Théâtre Forum et aux différentes conférences, ainsi que la participation aux quizzes en ligne, constituent un quitus obligatoire au sein du syllabus.

UE – formation générale 1

Benjamin Remy

EC – Communication

Annick Thimon

• **Objectifs**

Rédaction de compte-rendus de réunion, de rapport de TP scientifiques.
Rédaction de CV, lettre et mail de motivation.
Savoir se présenter.
Réfléchir à son projet professionnel .
Techniques de l'entretien .

• **Compétences acquises**

Aptitudes à organiser des idées, connaissances et/ou informations afin de rédiger un compte-rendu de réunion , de TP.
Savoir présenter correctement ces travaux.
Rédaction d'un CV, d'une lettre et d'un mail de motivation.
Techniques de l'entretien . Savoir réfléchir à son projet professionnel.

• **Prérequis**

Maîtrise satisfaisante de la langue française.

• **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 16** **TP : 00**

- La conduite de réunion et les différents types de conduite de réunion. Exercices d'application.
- Savoir rédiger et présenter un compte-rendu de réunion.
- Rédaction d'un rapport TP scientifique
- Comment faire un reporting simple et efficace.
- Approche de la connaissance de soi et savoir se présenter
- Rédaction d'un CV , lettre et mail de motivation
- L'entretien.
- Construction du projet professionnel.
- Chaque séance est complétée par des exercices de grammaire/vocabulaire.

• **Evaluation**

Evaluation orale 50% , évaluation écrite 50%.

UE – formation générale 1	Benjamin Remy
EC – Gestion de projet	Jean-Christophe Marpeau

- **Objectifs**

Acquérir les bases en gestion de projet d'ingénierie et savoir se présenter par rapport à son projet professionnel.

- **Compétences acquises**

Analyse des besoins et identification des problématiques d'un projet
 Appréhender la rédaction d'un cahier des charges
 Rédiger un document de spécification
 Planifier et identifier les critères de suivi d'un projet
 Animation de réunions de projet, écriture de compte-rendus, rédaction de rapports d'activités

- **Prérequis**

Compétences scientifiques et techniques de niveau CPGE, du bon sens et de l'ouverture d'esprit, Maîtrise de la langue française.

- **Programme pédagogique** **CM : 2** **TD : 16** **TP :**

CM : 2 séances
 Seance 1 :
 - présentation du contenu des enseignements en gestion de projet ainsi que les attendus du projet annuel 1A.
 - Qu'est-ce qu'un projet ?
 - la complexité d'un projet (vision systémique)
 Séance 2 :
 - La démarche projet (processus en V; méthodes agiles, gestion d'un portefeuille de projets)
 - Projet et démarche de résolution de problèmes
 - Présentation du guide "Gestion d'un projet en équipe" qui sera de base aux projets 1A

TD : 8 seances p
 - Contextualisation d'un projet et analyse des besoins
 - Des besoins aux fonctions
 - Risques et opportunités
 - Converger vers une solution
 - Planifier votre projet
 - le suivi de votre projet
 - la clôture de votre projet
 - Documentation, supports et outils

- **Evaluation**

L'évaluation se fait sur la base de la fourniture d'un rapport d'avant projet : présentation du problème / analyse des besoins (5pts) - Identification des objectifs à atteindre et des risques (5 pts) - Structuration et gestion du projet (5 pts) et impression générale du rapport (5 pts)

UE – formation générale 1	Benjamin Remy
EC – projet de 1ere année	Jean-Christophe Marpeau

- **Objectifs**

Au travers d'une étude de grande ampleur de type ingénierie de conception, il s'agit d'entrevoir la multiplicité des savoir-faire requis pour mener à bien un projet d'ingénierie s'inscrivant dans le profil ingénieur ENSEM.

- **Compétences acquises**

Gestion de projet, aptitude au travail collectif dans un projet pluri-disciplinaire

- **Prérequis**

Compétences scientifiques et techniques de niveau CPGE, du bon sens, de l'ouverture d'esprit et une aptitude à travailler en équipe et de manière autonome.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 30**

Le sujet posé par les enseignants, traite d'un problème d'ingénierie de large ampleur, de nature pluridisciplinaire de préférence et possédant une teinte d'innovation.

Il offre des possibilités d'études multiples : étude scientifique (modélisation, simulation), étude technique (capteurs, actionneurs, matériaux, dimensionnement), étude des coûts, etc. Il s'agit pour l'élève d'en étudier la faisabilité globale et d'explorer en détails quelques uns de ses aspects spécifiques.

Certaines études peuvent aboutir à une réalisation technique mais cela ne constitue pas l'objectif essentiel. Des problèmes industriels en liaison avec des entreprises sont aussi proposés, à condition de respecter l'esprit du projet et de régler les aspects de confidentialité.

Les groupes projets travaillent en totale autonomie (sous la responsabilité d'un tuteur qui assure le rôle de client).

Un suivi régulier de l'avancement du projet est fourni par le groupe à travers la fourniture de compte-rendus réguliers mais aussi de différents documents :

- Rapport d'avant-projet
- Rapport à mi-parcours
- Rapport final

- **Evaluation**

Pas d'évaluation à ce stade d'avancement du projet

Unité d'Enseignement (UE) Eléments Constitutifs (EC)	Responsable	Section CNU de l'EC
---	-------------	------------------------

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
----	----	----	-------------------	--------	------	----------

ENSEM DIPLÔME ENERGIE - Semestre 6

UE Outils mathématiques 2

A. Gueudin

Probabilités et Statistiques	A. Gueudin	26
Optimisation & Graphe	P. Riedinger	26, 61,62,63
Analyse Numérique 2	D. Schmitt	26

18	16	0	34	2	5	10
16	14	0	30	1,5		
8	6	6	20	1,5		

UE Mécanique appliquée

J.F Schmitt

Mécanique pour l'Ingénieur	JF Schmitt	60
Mécanique des Fluides et Applications	N. Rimbert	60

14	8	8	30	2,5	5	10
12	10	8	30	2,5		

UE Electricité 2

D. Netter

Machines électriques	D. Netter	63
Electronique de puissance	L. Baghli	63

11	10	9	30	2,5	5	10
13	8	9	30	2,5		

UE Sciences de l'Information 2

V. Chevrier

Automatique - Dynamique et Contrôle des Systèmes	J. Daafouz	61
Algorithmique et Programmation orientée objet	V. Chevrier	27

14	7	9	30	2,5	5	10
7	5	18	30	2,5		

UE Langues 2

S. Gallaire

Anglais	C. Corringer	11
Langue vivante 2	C. Cuisinier	12,14, 09
Validation du niveau de langue française	C. Cuisinier	

0	24	0	24	2,5	5	10
0	24	0	24	2,5		
0	1	0	1	Quitus		

UE Formation générale 2

B. Rémy

Connaissance de l'entreprise	N. Charpentier	6
Innovation et entrepreneuriat	S. Gallaire	6
Habilitation Electrique & Santé au Travail	T. Boileau	63
Egalité - Diversité - Inclusion	V. Louis-Dorr	
Communication	A. Thimon	71
Projet de 1ère année	JC Marpeau	27,60,61,62,63

12	6	0	18	1,5	5	12
0	12	0	12	0,5		
0	0	0,5	0,5	Quitus		
4	0	0	4	Quitus		
2	10	0	12	1		
0	0	20	20	2		

UE Stage Industriel 1

N. Louvet

Stage Industriel	N. Louvet	27,60,61,62,63
------------------	-----------	----------------

1 mois	-	Quitus
--------	---	--------

Commun ISN

TOTAL

379,5

30

UE Outils Mathématiques 2	A. GUEUDIN
EC - Probabilités et Statistiques	A. GUEUDIN

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours :

- Probabilités : manipuler des variables aléatoires, pour modéliser des phénomènes aléatoires (par exemple, modéliser des durées de vie de systèmes pouvant rencontrer des pannes à des instants aléatoires).
- Statistiques : calibrer des modèles vus en probabilité, sur des données réelles. Tester la pertinence de tels modèles sur des cas concrets, réels.

- **Compétences acquises**

Probabilités & Statistiques

- **Prérequis**

Calcul intégral (simple et multiple, en particulier changement de variables, et Jacobien).
Calcul de séries.

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 18** **TP : 00**

1. CM 1 : événements, probabilités, variables aléatoires, moyenne, variance
2. TD 1
3. CM 2 : fonction de répartition, fonction caractéristique, calcul de loi de probabilité, indépendance de plusieurs variables aléatoires.
4. TD 2
5. CM 3 : vecteurs aléatoires.
6. TD 3
7. CM 4 : loi des grands nombres, théorème central limite, intervalles de confiance.
8. TD 4
9. CM 5 : tests
10. CM 6 : tests et puissance de test
11. TD 5
12. CM 7 : analyse graphique et par test du Chi2 de la normalité d'échantillons. Estimation des paramètres de modèles (via le maximum de vraisemblance et la méthode des moments).
13. TD 6
14. CM 8 : régression linéaire simple.
15. TD 7 salles infos
16. CM 9 : régression linéaire multiple.
17. TD 8 salles infos

- **Evaluation**

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Nom responsable UE ou Bloc
EC – Optimisation & Graphes	Nom responsable de l'EC P. Riedinger

- **Objectifs**

Optimisation : L'objectif est d'apporter une culture de base en optimisation numérique sous contrainte. Formulation et méthodes de résolution numérique des principaux problèmes d'optimisation de l'ingénieur. Illustration du fonctionnement de certains algorithmes et programmation (gradient, gradient projeté et Uzawa) sur machine.

Graphes : Introduire la théorie des graphes et les principaux algorithmes permettant de les exploiter : recherche de parcours (eulériens, hamiltoniens, de longueur minimale), recherche d'arbres (couvrants, de poids minimal), détermination de flots (Ford-Fulkerson) et de couplages.

- **Compétences acquises**

Optimisation: Connaissance des conditions nécessaires de minimum sous contraintes et résolution sur exemples simples. Formulation et traduction d'un problème d'optimisation. Savoir opérer dans le choix d'une méthode numérique de résolution en fonction de la nature du problème et mise en œuvre.

Graphes : Savoir modéliser et résoudre des problèmes simples d'ordonnancement, d'affectation, de tournées.

- **Prérequis**

Mathématiques du niveau 1^o cycle scientifique ou classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques.

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 14** **TP :**

Optimisation (8 CM, 8 TD)
 Optimisation non contrainte (Conditions Nécessaires et suffisantes de minimum local, Principe des méthodes de descente et Critère de convergence, Algorithmes : Gradient, Newton, Quasi-Newtoniennes (BFGS, DFP), Moindres carrés : Gauss Newton et Levenberg Marquard, Gradients conjugués.
 Optimisation sous contrainte (Conditions de Kuhn et Tucker, Algorithmes : programmation linéaire, prog. quadratique (Éliminations, contraintes actives), prog. non linéaire (méthode de pénalisation, SQP), problèmes convexes (Gradient projeté, Méthodes duales / Uzawa), La programmation en nombre entier (Branch and Bound).

Graphe (8 CM, 6 TD)
 Bref historique
 Introduction
 Modèles de représentation d'un graphe
 Etude de la connexité
 Parcours eulériens et hamiltoniens
 Méthodes de recherche de chemins
 Problèmes d'ordonnancement
 Arbres et arborescences
 Réseaux, réseaux de transport et problèmes de flots
 Couplages – problèmes d'affectation

- **Evaluation**

Optimisation :
 TP: Capacité à mettre en œuvre un algorithme d'optimisation sous contrainte. Examen: Capacité à résoudre un problème simple (linéaire ou quadratique).
Graphe : examen sur table d'une heure

NRJ	S6	Fr
-----	----	----

UE Outils Mathématiques 1	D. Schmitt
Analyse Numérique 2	D. SCHMITT

- **Objectifs**

L'enseignement d'Analyse Numérique est dispensé à travers deux EC complémentaires : Analyse Numérique 1 au semestre 5 et Analyse Numérique 2 au semestre 6.

Cet enseignement présente une introduction aux différentes techniques de résolution numérique de problèmes rencontrés en sciences de l'ingénieur. Son objectif est de fournir les techniques de résolution en mathématiques numériques, les algorithmes associés et leur implémentation informatique (sous Matlab) pour la simulation de problèmes déterministes.

- **Compétences acquises**

Les étudiants sont amenés, pas à pas, vers la compréhension des mathématiques numériques utiles dans leur formation d'ingénieur.

La résolution individuelle de problèmes doit amener les élèves à faire preuve d'une plus grande autonomie. En particulier, à l'issue de cet enseignement, les étudiants devront être capables d'analyser le problème posé, déterminer la méthode numérique la plus adaptée à la résolution du problème, mettre en œuvre cette méthode et analyser les résultats obtenus.

- **Prérequis**

Une bonne maîtrise des notions mathématiques « de base » (analyse, algèbre,...) acquises lors des deux premières années d'enseignement supérieur et dans le cadre du module « Mathématiques pour l'ingénieur » est demandée. De même, une maîtrise des outils informatiques, de l'algorithmique et de la programmation de base est supposée acquise. Bien évidemment, une bonne maîtrise des notions acquises lors de l'EC Analyse Numérique 1 est requise.

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 06** **TP : 06**

Résolution numérique de systèmes linéaires;

Résolution numérique des équations différentielles;

- **Evaluation**

Valider les compétences via des rapports de TP numériques et une épreuve écrite.

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – Mécanique appliquée	Jean-François SCHMITT
EC – Mécanique pour l'ingénieur	Jean-François SCHMITT

- **Objectifs**

L'objectif est de parvenir à développer des modèles permettant le dimensionnement des structures. Les modèles, élaborés dans le cadre d'hypothèses simplificatrices basées principalement sur la géométrie, constituent le premier niveau des méthodes de calcul de structures. Les structures élancées, éléments de base de la construction mécanique, sont particulièrement abordées ici.

- **Compétences acquises**

Etre capable d'assurer qu'avec une quantité minimale de matériau, une structure constituée d'une ou plusieurs poutres satisfait aux exigences de résistance (la structure supporte et transmet les charges externes qui lui sont imposées), de rigidité (la structure ne subit pas de déformation excessive lorsqu'elle est sollicitée), de stabilité le cas échéant (le flambement et le déversement sont évités).
Savoir évaluer l'état de contrainte et de déformation de structures élancées.

Sur le plan expérimental, se familiariser avec les différentes techniques de mesure utilisées en mécanique des

- **Prérequis**

Connaissances de base en mécanique des solides et en mécanique des milieux continus.

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 8** **TP : 8**

Cours : Principales hypothèses (hypothèse des petites perturbations, principe de Saint Venant, hypothèse de Navier-Bernouilli) - Chargements - Liaisons - Equations d'équilibre global - Structures instables, isostatiques, hyperstatiques extérieurement - Efforts intérieurs - Identification du type de sollicitation - Equations d'équilibre d'une tranche infinitésimale de poutre - Effort normal - Systèmes réticulés plans - Moment de flexion - Flexion pure - Flexion simple - Cas des poutres droites en flexion isostatiques et hyperstatiques extérieurement - Moment de torsion dans le cas de poutre droite de section circulaire pleine ou creuse - Effort tranchant - Théorèmes énergétiques - Sollicitations combinées - Formules de Bresse - Calcul de structures hyperstatiques extérieurement ou intérieurement - Critères de limite élastique - Dimensionnement.

Travaux dirigés : les séances de TD portent plus particulièrement sur les points suivants : Séance 1 : Statique des structures de type poutre – Calculs d'efforts intérieurs – Identification de la sollicitation. Séance 2 : Structures élancées travaillant en traction/compression – Etude de systèmes réticulés plans. Séance 3 : Etude de la flexion de poutres droites à section constante ou variable. Séance 4 : Calculs de structures de type poutre dans le cas de sollicitations combinées hyperstatiques extérieurement ou intérieurement. Application des théorèmes fondamentaux (théorèmes énergétiques, formules de Bresse, ...)

Les énoncés des problèmes abordés au cours de chaque séance sont donnés quelques jours avant la séance de TD. Les élèves doivent préparer par écrit chaque séance (temps de préparation : 1h30 à 2h par séance). Les enseignants contrôlent en séance le travail préparatoire effectué et peuvent le ramasser.

Travaux Pratiques : les séances de TP permettent aux élèves de se familiariser avec les techniques de mesure utilisées en mécanique des solides déformables et de vérifier la validité des principaux résultats établis en cours ou de modèles théoriques développés à partir du cours.

- **Evaluation**

Compte-rendus de TP à remettre à l'issue de chaque séances de 4 heures.
Examen final de 2 heures.

UE – Mécanique appliquée

Jean-François SCHMITT

EC – Mécanique des fluides appliquée

Nicolas Rimbert

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est d'apprendre aux étudiants les premiers éléments de la mécanique des fluides : Calculs d'efforts sur un obstacle et calculs d'un réseau hydraulique.

La dernière partie porte sur la formulation pertinente d'un problème de mécanique ou thermique (Analyse Dimensionnelle)

- **Compétences acquises**

Savoir:

calculer des efforts d'écoulement sur un obstacle

calculer un réseau hydraulique

Point de fonctionnement d'une pompe

- **Prérequis**

Cours de Mécanique des milieux continus, Tenseurs des contraintes, fermeture newtonienne équations de Navier-Stokes, tenseurs, opérateurs divergence, rotationnel

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 10** **TP : 08**

- Hydrostatique : Equation Fondamentale, principe manomètre a fluide, effort sur un barrage, effort sur un corps immergé, densimètre
- Fluide parfait : Bernouilli, définition de la charge d'un fluide, Tube de Pitot, Venturi, diaphragme
- Exemple de calcul d'efforts sur un obstacle par application de la quantité de mouvement global.
- Fluide visqueux et pertes de charge : Calcul d'écoulement simple entre deux plans ou dans une conduite cylindrique. Loi de Poiseuille. Principe d'un viscosimètre. Ecoulements Turbulents loi de Blasius. Perte de charge singulière - Point de fonctionnement d'une pompe
- Analyse Dimensionnelle et Similitude

TP: calcul de pertes de charge/d'effort et introduction au logiciel Fluent.

- **Evaluation**

L'évaluation finale d'une durée 120 minutes porte sur les 2 parties du cours (calcul d'effort et de pertes de charge). Un exercice par partie.

Documents autorisés: Aucun, (les abaques seront fournis le cas échéant) calculatrice non communicante obligatoire.

UE – Electricité 2.

Denis Netter

EC – Machines électriques.

Denis Netter

• **Objectifs**

- Comprendre les principes de conversion électromécaniques dans une machine électrique.
- Modéliser une machine électrique en régime permanent sous la forme d'un schéma électrique équivalent.

• **Compétences acquises**

- Fondamentaux de l'électromagnétisme.
- Connaître et identifier les paramètres des schémas électriques des machines électriques (machines à courant continu, machine synchrone et machine asynchrone).
- Calculer le point de fonctionnement d'un ensemble machine électrique chargé en régime permanent à partir des schémas électriques monophasés équivalents.
- Mesurer le point de fonctionnement d'un ensemble machine électrique - charge.

• **Prérequis**

Opérateurs vectoriels, calcul matriciel, nombres complexes, circuits électriques.

• **Programme pédagogique** **CM : 11** **TD : 10** **TP : 9**

CM : 5 séances de 2 h
 CM1 : Fondamentaux de l'électromagnétisme.
 CM2 : Théorème d'Ampère et énergie magnétique.
 CM3 : Principe de conversion des machines électriques. Application à la machine à courant continu.
 CM4 : Modélisation de la machine synchrone.
 CM5 : Modélisation de la machine asynchrone.
 +1 h de CM pour préparer l'examen.

Les 5 TD reposent sur les 5 CM.

Les 3 TP de 3h sont consacrés à l'étude du fonctionnement des trois machines au programme (machine à courant continu, machine synchrone et machine asynchrone) et se focalisent sur les mesurés (puissance électrique et mécanique, rendement) et la réversibilité (fonctionnement en moteur et en générateur de la même machine).

• **Evaluation**

Un examen final (coefficient 0.8) + 1 note de compte rendu de TP (coefficient 0.2)

UE – Electricité 2

Denis NETTER

EC – Electronique de Puissance

Lotfi BAGHLI

- **Objectifs**

Acquérir les bases en électronique de puissance qui est une électronique de commutation et non pas d'amplification. Etudier le fonctionnement de la conversion AC/DC et DC/DC.

- **Compétences acquises**

Connaître les différents composants semiconducteurs et leurs contraintes.
Comment trouver les séquences de fonctionnement.
Caractéristiques des circuits de conversion, rendements et contraintes.

- **Prérequis**

Bases de calcul différentiel et intégral, circuits électriques AC et DC

- **Programme pédagogique** **CM : 13** **TD : 8** **TP : 9**

Etude de la cellule de commutation, fonction interrupteur.
Principe de conversion AC/DC à diodes.
Etude des convertisseurs statiques séquence par séquence.
Principe de conversion DC/DC directe : tension-courant (abaisseur), courant-tension (élevateur).
Principe de conversion indirecte : convertisseur à stockage capacitif et inductif.

- **Evaluation**

Examen écrit, CR de TP

UE – Science de l'information 2	Vincent CHEVRI
EC – Automatique - Dynamique et Contrôle des Systèmes	Jamal DAAFOUZ

- **Objectifs**

Au carrefour de l'ingénierie, des mathématiques appliquées et de la physique, l'Automatique est une science qui traite de la modélisation, de l'analyse et de la commande des systèmes dynamiques. Cet EC permettra de doter les futurs ingénieurs des compétences de base pour la modélisation, l'analyse et le contrôle des systèmes dynamiques linéaires. L'objectif est de maîtriser la notion de boucle fermée et savoir utiliser les outils de base pour l'analyse de stabilité et le calcul de correcteurs avec les approches fréquentielles et les approches de type espace d'état.

- **Compétences acquises**

Modélisation d'un système dynamique, Analyse de stabilité et des propriétés structurelles, synthèse d'un régulateur.

- **Prérequis**

Mathématiques du niveau 1^o cycle scientifique ou classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques

- **Programme pédagogique** **CM : 14h** **TD : 7h** **TP : 9h**

Cours magistraux
 Représentation d'état des systèmes dynamiques
 Propriétés de commandabilité et d'observabilité. Critères dans le cas des systèmes linéaires invariants par translation dans le temps
 Retour d'état avec observateur. Théorème de séparation des valeurs propres
 Application au cas mono entrée- mono sortie
 Les méthodes graphiques pour évaluer la stabilité et la robustesse : Critère de Nyquist, marges de stabilité
 Rejet des perturbations
 Rôle des régulateurs classiques
 Approche fréquentielle pour le réglage des régulateurs

Travaux pratiques
 Modélisation et commande d'un robot Segway

Bibliographie
 K.J. Astrom and R. M. Murray, "Feedback systems : an introduction for scientists and engineers", Princeton University Press

- **Evaluation**

NF : note finale de l'EC, EE : examen écrit , MT : Moyenne de 3 tests en tutorats , TP : note TP

$NF = \max \left((3*EE + TP)/4 \right) , (2*EE + MT + TP)/4$.

UE – Sciences pour l'ingénieur2

EC – Programmation et Algorithmes orientés objet

Chevrier

- **Objectifs**

Les objectifs de cet EC sont de présenter les concepts fondamentaux de la conception d'algorithmes, de la modélisation selon l'approche objet, et leur mise en œuvre.

Cet EC est indispensable pour aborder des notions plus avancées des systèmes embarqués, distribués et réseaux dans différents domaines d'applications liés à la formation de l'ingénieur. Il s'agit aussi d'un socle fondamental pour toute formation d'ingénieur.

- **Compétences acquises**

Concevoir des algorithmes

Modéliser et concevoir sous forme d'objets

Maîtrise une technique de programmation

Etre autonome en programmation et être capable de s'approprier d'autres langages

- **Prérequis**

Représentation de l'information, Algorithmique et programmation, Outils logiciels.

- **Programme pédagogique** **CM : 11** **TD : 10** **TP : 15**

Notion de classes, d'héritage.

Portée des variables et modules

Structure de données et algorithmes associés (liste, ensembles, chaînes dictionnaire)

Fichier, Exception

Récurtivité

- **Evaluation**

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

UE – Langues 2

S. Gallaire

EC – Anglais

C. Corringer

- **Objectifs**

Ce module a pour objectif de consolider le niveau B1 des élèves les plus faibles, et d'atteindre B2+ /C1 pour les plus forts, de développer les compétences d'expression orale et de commencer la préparation au TOEIC.

- **Compétences acquises**

-Savoir-être et savoir-faire professionnels.
-Compréhension de l'écrit et de l'oral, production orale (en continu et en interaction) en langue étrangère.

- **Prérequis**

Pour tous les élèves : avoir suivi un enseignement dans cette langue, en LV1 ou LV2, au cours de ses études secondaires, soit 5 années au minimum. Avoir au minimum le niveau B1.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Poursuite du travail de perfectionnement de l'oral afin de pouvoir :

-s'exprimer sur des sujets complexes de façon claire et bien structurée, émettre un avis sur un problème, utiliser la langue de façon efficace et souple dans sa vie académique, professionnelle et sociale, comprendre une discussion spécialisée dans son domaine professionnel, comprendre le contenu de sujets concrets ou abstraits - dans un texte, un programme audio et/ou vidéo - utilisant une langue « standard ».

-restituer dans ses grandes lignes tout document écrit et oral authentique (ex : articles de presse, News chaînes anglo-saxonnes, programmes audio) portant sur divers domaines : vie sociale, culturelle, professionnelle.
Initiation au test TOEIC.

Approche actionnelle : les activités et supports utilisés en cours relient les compétences aux tâches communicatives et à la préparation du test TOEIC.

Les supports et les méthodes sont adaptés selon les niveaux.

- **Evaluation**

Contrôle continu: évaluations diagnostiques, formatives et sommatives (vocabulaire, compréhension orale/écrite type TOEIC, et oraux en continu ou en interaction).

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Stéphanie Gallaire
EC – Nom de l'Elément Constitutif	Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Les élèves sont répartis en groupes selon leur niveau de compétence.

Atteindre, renforcer ou dépasser le niveau B1 tel que décrit dans le CECRL. Renforcement des bases, langue générale. Remise à niveau dans les 5 compétences en vue d'atteindre le niveau B1 à la fin du S6, ou d'aller au-delà pour les étudiants les plus avancés

Pour les débutants : atteindre le niveau A1 tel que décrit dans le CECRL.

- **Compétences acquises**

Développement de la capacité à communiquer, à échanger. Confiance en soi en langue étrangère.

Compréhension de l'écrit et de l'oral, production écrite et orale (en continu et en interaction) en langue étrangère.

Savoir se fixer des objectifs, apprendre à apprendre.

- **Prérequis**

Avoir suivi la langue étudiée en LV1, LV2 ou LV3 dans le secondaire.

Pour les débutants: engagement à suivre la formation dans la LV2 choisie tout au long de sa scolarité à l'ENSEM.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Langue générale et quotidienne, thèmes, supports et mise en œuvre les plus variés possibles.

Thèmes : parler de soi-même, étudier, sport et loisirs, santé, travail, entreprise, vivre à l'étranger, habiter, vie quotidienne et traditions.

A chaque cours, travail des 5 compétences (compréhension écrite et orale, interaction orale, expression écrite et orale).

Enrichissement systématique du vocabulaire actif (jeux, etc.).

Utilisation des ressources en ligne pour un travail intensif de la compréhension orale et de la langue.

Entraînement systématique de la compréhension orale à travers documents audio et vidéo authentiques.

Entraînement de la compréhension écrite à travers des articles de presse et autres textes.

Production orale : débats, échanges, comptes rendus, jeux de rôle, présentations, entraînement de la prononciation, etc.

Production écrite : productions écrites en rapport avec les points développés dans les autres compétences, rédaction de mail, prise de position, synthèse, etc.

- **Evaluation**

Contrôle continu (50%): tests réguliers en cours de semestre ; note sanctionnant la participation en cours.

Examen écrit (50%).

UE – Sciences humaines

Stéphanie Gallaire

EC – Quitus de langue française

Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Pour les élèves dont le français n'est pas la langue maternelle : validation à 100% du niveau 2 à la fin du semestre 6.

Pour les élèves de langue maternelle française : validation à 100% du niveau 3 à la fin du semestre 6.

- **Compétences acquises**

Amélioration de la langue française avec obtention d'un niveau précis (2 ou 3 en fonction de la langue maternelle).

Possibilité d'aller au-delà de l'objectif imposé, jusqu'à 100% du niveau 4.

Diminution, voire disparition des fautes commises par l'élève en grammaire et en orthographe.

Entraînement de la capacité à travailler en autonomie et avec régularité, à raison d'une heure hebdomadaire.

- **Prérequis**

Avoir un niveau A2 en français si le français n'est pas la langue maternelle.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Travail autonome sur la grammaire et l'orthographe françaises sur la plateforme e-learning Orthodidacte.

Évaluation diagnostique réalisée par chaque élève en début d'année sur la plateforme.

Sur la base de cette évaluation, un parcours personnalisé est établi.

Révision des règles et éradication progressive des erreurs en suivant la progression établie par la plateforme.

Progression continue jusqu'à l'atteinte de l'objectif fixé, voire au-delà.

- **Evaluation**

Quitus de langue française indexé à l'obtention de 100% du niveau 2 ou 3, selon la langue maternelle.

Quitus semestriel qui conditionne l'obtention de l'UE Sciences humaines.

UE – formation générale 1

Benjamin Remy

EC – Connaissance de l'entreprise

Nathalie Charpentier

• **Objectifs**

Comprendre ce qu'est une entreprise ainsi que son mode de fonctionnement. Donner aux étudiants les outils pour savoir créer leur propre entreprise en s'appuyant sur une bonne connaissance du milieu économique.

• **Compétences acquises**

A l'issue de cet EC, les étudiants seront capables d'identifier le type de structure d'entreprise et d'en dégager ses caractéristiques. Ils seront capables de qualifier juridiquement un contrat et d'en apprécier les conditions de validité dans une situation donnée.

• **Prérequis**

Aucun

• **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 06** **TP : 00**

Typologie des entreprises

- Classification économique (chiffre d'affaires, valeur ajoutée...)
- Classification juridique (statuts)

La diversité des structures de l'entreprise

- Les différents types de structure et leurs principales caractéristiques
- Les configurations structurelles

La culture d'entreprise

- Les caractéristiques de la culture
- Performance de l'entreprise et culture

L'éthique dans l'entreprise

- Les attentes à l'égard des entreprises
- L'éthique des affaires et responsabilité sociétale des entreprises (RSE)

Le télétravail

- Le télétravail : enjeux et perspectives
- Les centres d'affaires, les bureaux satellites, le travail à domicile
- Les avantages et les inconvénients du télétravail
- Les interrogations juridiques sur le télétravail

Droit des contrats

- Définition du contrat Classification des contrats La formation et l'exécution du contrat

TD : Mise en application des concepts

• **Evaluation**

Examen :

QCM et cas pratique

UE – Formation Générale

Benjamin Rémy

EC – Innovation et entrepreneuriat

Stéphanie Gallaire

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC en collaboration avec le Peel est de sensibiliser les étudiants Ensem pendant 2 jours à la culture entrepreneuriale en leur permettant de concevoir un scénario en lien avec l'entrepreneuriat et d'évaluer sa cohérence.

- **Compétences acquises**

Transformer une idée en une opportunité d'affaire
Travailler et mobiliser des notions concernant la propriété intellectuelle, la comptabilité et les statuts juridiques, le marketing de projet
Prise de parole en public

- **Prérequis**

L'outil de formation Peel IDéO© utilisé vise le public étudiant dans son ensemble – pas de prérequis demandés.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 12** **TP : 00**

Après une formation initiale, les étudiants sont répartis en groupes de projet
Tout au long des 3 premières demi-journées ils assisteront en groupe à des ateliers thématiques (méthode IDéO©, analyse financière, marketing de projet) et construiront un scénario entrepreneurial à partir d'une idée innovante. Lors de la dernière demi-journée ils prépareront le pitch de leur projet (5mns/projet) qu'ils présenteront devant un jury et un public qui éliront le meilleur pitch.

- **Evaluation**

Les étudiants seront évalués sur leur participation et travail sur les différents ateliers ainsi que sur la qualité de leur pitch final.

UE – formation générale 1

Benjamin Remy

EC – Habilitation électrique et santé au travail

Thierry Boileau

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est de valider la partie pratique de l'habilitation au niveau "BE Essai"

- **Compétences acquises**

Avoir un comportement approprié en présence de tension électrique.

Savoir prendre les mesures nécessaires afin d'éviter de se mettre en danger en présence de tension électrique.

Réagir de façon adaptée en cas d'accident d'origine électrique.

Savoir mettre en oeuvre les compétences théorique acquise lors de la partie théorique du module habilitation électrique.

- **Prérequis**

Cours théorique d'Habilitation du S5

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 0,5**

TP Evaluation pratique pour l'habilitation "BE Essai", réalisation d'une manipulation d'ordre électrique donnée par un cahier des charges

- **Evaluation**

Evaluation individuelle, par vérification de la bonne mise en oeuvre des consignes de sécurité adaptées lors de la réalisation du TP proposé

UE – UE Formation générale 2

B. Rémy

EC – Egalité Diversité et inclusion

Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif est de sensibiliser les étudiants aux thématiques du vivre-ensemble dans le respect mutuel et l'acceptation des différences, ainsi qu'à la lutte contre les violences sexistes et sexuelles et toutes les formes de discriminations. Ces thématiques sont regroupées sous un tryptique égalité - diversité - inclusion, et l'objectif du cours est de découvrir les différentes problématiques qui y sont associées et les leviers d'actions permettant de les prévenir.

- **Compétences acquises**

Comprendre le concept de diversité et d'inclusion et ses implications
 Apprécier la diversité culturelle et le respect des différences
 Identifier des pratiques discriminatoires et des comportements non inclusifs
 Connaître les dispositifs d'alerte et savoir réagir

- **Prérequis**

Sans prérequis
 Toutefois les prérequis intéressants sont de l'ordre des qualités personnelles sur l'ouverture d'esprit !

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 00**

Théâtre Forum de sensibilisation aux violences sexuelles et sexistes (VSS) par la troupe synergie
 Le principe : une courte scène traitant du sexisme, du cyberharcèlement et d'une agression dans un environnement étudiant est jouée par les acteurs. La scène est ensuite rejouée en mettant cette fois-ci les étudiants à contribution. L'idée est de leur permettre de jouer le rôle de la protagoniste principale et de réagir aux outrages dont elle est victime. Ce théâtre d'improvisation débouche ensuite sur une réflexion collective sur les différences entre outrage sexiste, harcèlement sexuel et la notion de consentement, souvent méconnues des étudiants Rappel de la loi.
 Conférence prévention des conduites à risques, notamment en suite aux différentes formes d'addictions
 Témoignage d'étudiant sur une agression sexiste et sexuelle
 Formation asynchrone sous forme de vidéos de sensibilisation et d'information
 Quiz sur l'inclusion et l'exclusion
 Quiz sur la diversité

- **Evaluation**

La participation au Théâtre Forum et aux différentes conférences, ainsi que la participation aux quizzes en ligne, constituent un quitus obligatoire au sein du syllabus.

UE – formation générale 1

Benjamin Remy

EC – Communication

Annick Thimon

• **Objectifs**

Prise de parole devant un groupe .
Etablir un support visuel et un poster
La gestuelle , placer sa voix....
Soutenance de stage ouvrier.

• **Compétences acquises**

- Acquérir une aisance verbale pour présenter un exposé , faire une soutenance de stage.
- Savoir faire un support visuel et un poster efficace .
- Marketing de projet.
- Savoir présenter une soutenance de stage ouvrier en 10 minutes et répondre de façon concise à des questions.

• **Prérequis**

Maîtrise correcte de la langue française.

• **Programme pédagogique** **CM : 2** **TD : 10** **TP : 00**

- Techniques d'expression orale, notamment préparation à la soutenance de projet et du stage ouvrier..
- Importance de la gestuelle, de l'intonation, de l'utilisation de l'espace.
- Structuration de l'exposé (techniques de l'introduction, de la conclusion, différents types de plan....)
- Marketing de projet. .
- Organisation et structuration d'un poster.
- Préparation à la soutenance du stage ouvrier..

• **Evaluation**

Evaluation orale 50% , évaluation écrite 50%.

UE – formation générale 1	Benjamin Remy
EC – projet de 1ere année	Jean-Christophe Marpeau

- **Objectifs**

Au travers d'une étude de grande ampleur de type ingénierie de conception, il s'agit d'entrevoir la multiplicité des savoir-faire requis pour mener à bien un projet d'ingénierie s'inscrivant dans le profil ingénieur ENSEM.

- **Compétences acquises**

Gestion de projet, aptitude au travail collectif dans un projet pluri-disciplinaire

- **Prérequis**

Compétences scientifiques et techniques de niveau CPGE, du bon sens, de l'ouverture d'esprit et une aptitude à travailler en équipe et de manière autonome.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 20**

Le sujet posé par les enseignants, traite d'un problème d'ingénierie de large ampleur, de nature pluridisciplinaire de préférence et possédant une teinte d'innovation.

Il offre des possibilités d'études multiples : étude scientifique (modélisation, simulation), étude technique (capteurs, actionneurs, matériaux, dimensionnement), étude des coûts, etc. Il s'agit pour l'élève d'en étudier la faisabilité globale et d'explorer en détails quelques-uns de ses aspects spécifiques.

Certaines études peuvent aboutir à une réalisation technique mais cela ne constitue pas l'objectif essentiel. Des problèmes industriels en liaison avec des entreprises sont aussi proposés, à condition de respecter l'esprit du projet et de régler les aspects de confidentialité.

Les groupes projets travaillent en totale autonomie (sous la responsabilité d'un tuteur qui assure le rôle de client).

Un suivi régulier de l'avancement du projet est fourni par le groupe à travers la fourniture de compte-rendus réguliers mais aussi de différents documents :

- Rapport d'avant-projet
- Rapport à mi-parcours
- Rapport final

- **Evaluation**

Évaluation sur la base de la fourniture d'un rapport à mi-parcours et d'un rapport final du projet (qualité du livrable, respect du cahier des charges, éléments de gestion du projet)

Présentation de l'ensemble des travaux dans la cadre d'une soutenance (soutenance, structuration des documents, motivation,)

Unité d'Enseignement (UE) Eléments Constitutifs (EC)	Responsable	Section CNU de l'EC
---	-------------	---------------------------

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
----	----	----	-------------------	--------	------	-------------

ENSEM DIPLÔME ENERGIE 2A- Semestre 7

UE Outils Mathématiques 3

X. Antoine

Distributions	X. Antoine	26
EDP	X. Antoine	26

9	6	0	15	1,5	3	10
9	6	0	15	1,5		

UE Conversion de l'énergie

A. Labergue

Conversion électro-mécanique de l'énergie	A. Labergue	60,62,63
Bureau d'étude 'Chaîne de conversion d'énergie'	M. Urbain	63
Matériaux pour l'NRJ	G. Pernot	12,14, 09

8	0	12	20	2	5	10
6	0	20	26	2		
8	12	0	20	1		

UE Mécanique

S. Didierjean

Initiation aux transferts thermiques	S. Didierjean	62
Mécanique des machines tournantes	M. Bordron	60

8	12	10	30	2,5	5	10
18	8	4	30	2,5		

UE Génie électrique

S. Pierfederici

Electronique de Puissance	S. Pierfederici	63
Machines Electriques	N. Takorabet	63

16	6	8	30	2,5	5	10
10	8	12	30	2,5		

UE Sciences de l'information 3

A. Lahmadi

Traitement du Signal	D. Wolf	61
Réseaux de capteurs	A. Lahmadi	27

18	8	4	30	2,5	5	10
10	5	15	30	2,5		

UE Formation Générale 3

S. Gallaire

Développement Durable & Responsabilité Sociétale	B. Remy	11
Egalité - Diversité - Inclusion	V. Louis-Dorr	
Communication et insertion professionnelle	F. Edelson	71
Gestion comptable	J. Binet	6
Anglais	C. Corringer	11
Langue vivante 2	C. Cuisinier	12,14, 09

20	0	0	20	Quitus	7	10
4	0	0	4	Quitus		
6	8	0	14	1		
8	12	0	20	2		
0	24	0	24	2		
0	24	0	24	2		

EC Mutualisés avec le diplôme ISN

TOTAL

382		30
-----	--	----

UE - Outils Mathématiques 3

X. ANTOINE

EC - Distributions et applications

X. ANTOINE

• Objectifs

L'objectif de ce cours est d'introduire dans un premier temps la notion de distribution qui généralise celle de fonction, et qui trouve de nombreuses applications dans divers domaines de l'ingénierie comme par exemple les équations aux dérivées partielles ou encore le traitement du signal. Une fois ces définitions de base introduites, les différentes notions standard intervenant dans le calcul fonctionnel seront développées par extension pour les distributions : dérivation, limite, convolution, résolution d'équations différentielles à second membre distribution, transformée de Fourier. Les exercices de TD permettront de maîtriser ces nouvelles notions et les règles de calcul associées.

• Compétences acquises

Notion de distribution

Règles de calculs pour les distributions : dérivation, limite, convolution, résolution d'équations différentielles, transformée de Fourier

• Prérequis

Bases de l'analyse des fonctions ; transformée de Fourier des fonctions ; calcul intégral

• Programme pédagogique CM : 09 TD : 06 TP : 00

Le cours est structuré selon les chapitres suivants :

- Distributions
- Dérivation et limite des distributions
- Convolution des distributions et applications
- Transformée de Fourier des distributions tempérées

• Evaluation

Valider les compétences par une épreuve écrite.

UE - Outils Mathématiques 3

X. ANTOINE

EC - Distributions et applications

X. ANTOINE

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de donner les principaux éléments qui permettent de comprendre la théorie des équations aux dérivées partielles (EDP) ainsi que leur résolution numérique. On commencera par introduire quelques modèles d'EDP intervenant dans le domaine des sciences de l'ingénieur. Nous aborderons ensuite la notion de formulation variationnelle des EDP et la théorie de Lax-Milgram associée. Une seconde partie du cours sera orientée vers la résolution numérique des EDP par éléments finis, puis par différences finies. Les séances de TD permettront de comprendre les principales notions du cours et de mettre en œuvre les méthodes numériques pour les EDP.

- **Compétences acquises**

Éléments de base de la théorie des EDP
 Ecriture et propriétés d'une formulation faible pour un problème aux limites donné
 Résolution numérique des EDP

- **Prérequis**

Propriétés et règles de calculs pour les fonctions – analyse numérique de base (interpolation de Lagrange, résolution numérique des systèmes linéaires, dérivation numérique, intégration numérique) - Matlab

- **Programme pédagogique** **CM : 09** **TD : 06** **TP : 00**

Le programme est le suivant

- Introduction aux modèles d'EDP
- Formulation faible et théorie de Lax-Milgram
- Approximation numérique des EDP par éléments finis
- Approximation numérique des EDP par différences finies

- **Evaluation**

Evaluation par une preuve écrite

UE – Conversion de l'énergie

Alexandre LABERGUE

EC – Conversion électromécanique de l'énergie

Alexandre LABERGUE

- **Objectifs**

Ce cours est une introduction à la production d'électricité à partir d'énergie renouvelable et en particulier en utilisant l'énergie hydraulique (turbines hydrauliques) et aérolique (éolienne). Même si les machines électriques, élément indispensable pour la conversion électromécanique de l'énergie, l'accent est mis sur la production d'énergie mécanique par l'intermédiaire d'une roue tournante. On vise alors à mettre en place une approche globale d'identification et de modélisation des flux d'énergie et des pertes mis en jeu permettant ainsi d'évaluer les performances de la machine.

- **Compétences acquises**

- Connaissances des familles de turbomachines et d'éoliennes ainsi que leurs caractéristiques de fonctionnement
- Concevoir une turbine hydraulique et une éolienne pour produire de l'énergie mécanique
- Modéliser les pertes mécaniques et évaluer les performances d'une turbine hydraulique ou d'une éolienne

- **Prérequis**

Mécanique des fluides et applications S6

- **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 4** **TP : 12**

CM: 4 séances de 2 heures durant lesquelles seront abordés les points suivants

- Théorie générales des machines tournantes: classification, bilans globaux, triangle des vitesses, théorème d'Euler, similitude et analyse adimensionnelle,
- Turbopompes: classification, caractéristiques théoriques des pompes centrifuges, bilan et rendement
- Turbines hydrauliques: constitution, bilan et rendement, turbines à action et à réaction, diagramme de sélection d'une turbine
- Eoliennes: origine et caractérisation du vent, classification des éoliennes, constitution, théorie et limite de Betz

TD: 2 séances de 2 heures consacrées à la résolution d'exercices et problèmes concrets pour appliquer les notions vues en cours

TP: 3 séances de 4 heures.

Deux séances sont consacrées à l'étude pratique d'une génératrice (pompe centrifuge) et d'une réceptrice (turbine Pelton ou éolienne à axe horizontal)

La dernière séance consiste à une évaluation avec une mise en situation en salle de TP.

- **Evaluation**

Examen pour évaluer le niveau de connaissances en conversion électromécanique de l'énergie.

Evaluation des compétences pratiques acquises en séance de TP avec une mise en situation.

UE – Conversion de l'énergie

A. Labergue

EC – Bureau d'étude "chaîne de conversion d'énergie"

M. Urbain

- **Objectifs**

Cette étude est multidisciplinaire, elle implique des considérations dans différents domaines, à savoir les machines électriques, l'électronique analogique, l'automatique et l'électronique de puissance. L'objectif du projet est de réguler en vitesse et en courant une machine électrique à courant continu de 5kW. Les connaissances théoriques requises sont systématiquement délivrées à chaque étape essentielle de l'étude, puis elles sont directement appliquées en pratique par la réalisation de tests expérimentaux sur un banc d'essais et par validation du dimensionnement.

- **Compétences acquises**

Modélisation externes de l'ensemble {source + convertisseur + actionneur électrique}.
Régulation d'une chaîne de conversion électromécanique.
Mesures de paramètres statiques et dynamiques par protocoles expérimentaux.
Dimensionnement de correcteurs linéaires.
Réalisation de circuits électroniques.
Valider un dimensionnement par des essais sur un banc de tests expérimentaux.

- **Prérequis**

Conversion électromécanique, électronique de puissance, électronique analogique, automatique des semestres 5 et 6.

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 00** **TP : 20**

Modéliser, au sens des valeurs moyennes, le système non-linéaire {commande, convertisseur, machine à courant continu à excitation indépendante}.

Identifier les paramètres statiques et dynamiques du modèle par protocole expérimentaux.

Observer et analyser les formes d'ondes et les mesures par oscilloscope.

Dimensionner des correcteurs linéaires pour les asservissements de courant et de vitesse de la machine tournante.

Implanter les correcteurs sur des cartes électroniques analogiques, mettre en œuvre de montages à base d'AOP.

Tester la dynamique, la précision et la stabilité de la régulation sur banc d'essais.

Rédiger un rapport d'essai expérimental et un rapport de synthèse de projet.

- **Evaluation**

L'évaluation du module s'appuie intégralement sur le rapport de projet

UE – Conversion de l'énergie

A. Labergue

EC – Matériaux pour l'énergie

Gilles Pernot

- **Objectifs**

Dans ce module, une introduction à la science des matériaux sera exposée au travers des trois grands secteurs, relatifs aux problématiques actuelles de l'Energie et Energies renouvelables, abordés à l'ENSEM :

Matériaux pour la mécanique des systèmes

Matériaux pour la thermique dans les nano-systèmes et les énergies renouvelables

Matériaux magnétiques et semi-conducteurs .

- **Compétences acquises**

Connaître plusieurs classifications des matériaux

Reconnaitre les propriétés physiques : mécanique, thermique et magnétique des différentes classes de matériaux

Savoir lire un diagramme de phase binaire

Savoir dimensionner un aimant suivant le cahier des charges

Comprendre les mécanismes physiques influant sur les transferts de chaleur

Savoir choisir un matériau suivant les applications en énergétique visées : mécaniques, magnétiques ou thermiques

- **Prérequis**

Notions de base en MMC (volet matériaux pour la mécanique)

Notions de base en thermodynamique et transferts thermiques

Notions de magnétostatique

- **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 12** **TP : 00**

CM 1 (Chapeau)

Introduction sur les grandes classes de matériaux : métaux, semiconducteurs, céramiques et polymères ainsi qu'aux matériaux composites issus de ces différentes classes.

Plusieurs exemples d'exploitation et de méthodes de contrôle des propriétés physiques : mécanique, thermique, magnétique et électrique associés à chaque classe seront présentés en préliminaire aux 3 séances de CM spécialisés qui suivent,

CM 2: volet matériaux pour la mécanique

Introduction sur les relations « microstructure (échelles atomiques à microscopique) / propriétés mécaniques » dans le cas des matériaux cristallins (métaux et céramique) et amorphes (polymères et verres).

CM 3 : volet matériaux pour la thermique dans les nano-systèmes et les énergies renouvelables

Introduction aux concepts fondamentaux de transferts de chaleur aux échelles micro et nanoscopiques. La notion de contrôle et de manipulation des propriétés thermiques aux petites échelles sera abordée et mise en lien avec des applications dans le domaine porteur des énergies renouvelables.

CM 4: volet matériaux pour la supraconductivité et matériaux magnétiques

Introduction au milieu matériel magnétique et aux aimants, représentation microscopique et macroscopique de l'aimantation, loi de comportement et critère d'Evershed. Ouverture sur les supraconducteurs.

TD: Les séances de TD permettront d'approfondir les connaissances vues en cours au travers d'exemples concrets:

Apprentissage à la lecture des diagrammes de phase d'alliages binaires. Mise en œuvre de choix de tôles magnétiques.

Dimensionnement et choix d'aimants. Optimisation des propriétés d'un générateur thermoélectrique à effet Seebeck.

- **Evaluation**

L'évaluation prendra la forme d'un examen sur table de 2 heures reprenant les trois parties développées dans ce cours

UE –	Sophie DIDIERJEAN
EC – Initiation aux transferts thermiques	Sophie DIDIERJEAN

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de transmettre aux étudiants les concepts de base leur permettant d'aborder et de résoudre divers problèmes liés aux transferts de l'énergie thermique. Les 3 modes de transferts sont présentés et illustrés par des exemples.

- **Compétences acquises**

Les étudiants connaîtront la terminologie et les principales lois physiques des transferts d'énergie thermique. Ils sauront décrire et modéliser un problème de transfert de l'énergie thermique, et ils seront capables de le résoudre en utilisant les méthodes usuelles pour l'ingénieur.

- **Prérequis**

Thermodynamique – Bilan d'énergie S5
Bases de calcul différentiel
Bases de résolution des équations aux dérivées partielles

- **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 12** **TP : 10**

Cours magistraux (8h)
Description des trois modes de transfert de l'énergie thermique : Conduction, rayonnement, convection
Présentation des principales lois et des grandeurs impliquées
Description des interactions du système thermique avec son environnement
Principales méthodes de résolution

Travaux dirigés (12h)
Travaux dirigés de méthodologie c'est à dire de prise en main des concepts et des outils en transfert de l'énergie thermique par conduction et par rayonnement.
Etude des ailettes de refroidissement, Notion de résistances thermiques, échanges par rayonnement entre parois opaques, bilan radiatifs, ...

Travaux pratiques (10h)
Les TP ont pour objectif :
D'initier les étudiants à la métrologie des températures
D'observer expérimentalement les transferts d'énergie thermique par conduction, convection et rayonnement
D'analyser des données expérimentales, telles que des profils de température ou des variations temporelles de température pour en déduire des paramètres thermiques.

- **Evaluation**

Compte rendu des TP
Examen final

UE – Mécanique

S. Didierjean

EC – Mécanique des machines tournantes

M. Bordron

- **Objectifs**

Se familiariser avec les équations de la dynamique d'Euler-Lagrange.
 Appliquer ses équations à des systèmes dynamique, notamment des machines tournantes. Prédire ainsi le comportement de ces machines (mouvement, vitesse, raisonance).
 Affiner les modèles avec des phénomènes propres aux machines tournantes.

- **Compétences acquises**

Modélisation du comportement dynamique d'un système, et notamment d'une machine tournante.
 Modélisation des défauts des machines tournantes et identification des cas critiques de fonctionnement

- **Prérequis**

Cours de mécanique du solide
 Cours de MMC

- **Programme pédagogique** **CM : 18** **TD : 8** **TP : 4**

CM - Introduction aux équations de dynamique d'Euler-Lagrange et résolutions des équations
 TD - Application des équations d'Euler-Lagrange à cas simples de dynamique
 CM - Approche des équations pour les machines tournantes. Prise en compte des phénomènes propres aux machines tournantes : balourd statique/dynamique, flexion de l'arbre, paliers, force magnétique (moteur).
 TD - Application à une machine tournante.
 TP - Application numérique sur un système énergétique tournant. Résolution numérique d'un problème complet.
 TP - Application physique sur une machine tournante. Mesure et analyse des vibrations.

- **Evaluation**

TP évalués
 Examen final de 2h

UE – Génie Electrique

S. Pierfederici

EC – Electronique de Puissance

S. Pierfederici

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants d'acquérir les notions de base permettant de comprendre les principes de fonctionnement des principaux convertisseurs de puissance utilisés dans la conversion DC/DC avec et sans isolation galvanique, AC/DC et DC/AC. Seront traités leurs modélisations dynamiques instantanées et moyennes, leur architecture de contrôle et leur dimensionnement.
Les deux TD permettront d'aborder en détail deux structures de conversion (DC DC isolée et DC AC triphasée) très courantes dans l'industrie.

- **Compétences acquises**

Acquisition des éléments de connaissance requis pour l'étude des convertisseurs d'électronique de puissance DC/DC isolés, DC/AC et AC/DC. Connaissance de leurs comportements statique et dynamique ainsi que des stratégies de pilotage usuelles

- **Prérequis**

Electronique de puissance S6, automatique linéaire

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 8** **TP : 12**

2h- Rappel sur la méthodologie d'étude des convertisseurs statiques : applications aux hacheurs DC DC non isolés usuels
4h- Etude des convertisseurs DC/DC isolés : analyse de fonctionnement, modélisation instantanée et moyenne, convertisseurs étudiés Flyback Forward Push-Pull
4h- Modélisation statique et dynamique des hacheurs DC/DC - contrôle des hacheurs en mode de conduction continue et discontinue
2h- Onduleur/Redresseur monophasé à commutation forcé : principe de fonctionnement, stratégies de modulation, modélisation statique et dynamique, dimensionnement
4h- Onduleur/Redresseur triphasé à commutation forcé : principe de fonctionnement, stratégies de modulation, PLL, transformation de Concordia et de Park, modélisation dynamique et contrôle, évaluation des pertes (méthode de la moyenne glissante)
Travaux dirigés 6h TD
1 TD Etude et contrôle d'un convertisseur isolé Flyback fonctionnant en mode auto-oscillant
1 TD Etude d'un convertisseur Forward avec circuit de Clamping
1 TD modélisation et contrôle d'un redresseur commandé monophasé

Travaux pratiques 8h TP
1 TP de 4h sur les convertisseurs statiques isolés (Flyback, Forward)
1 TP de 4h sur la mise en œuvre d'un onduleur triphasé

- **Evaluation**

Note 1 = Note de TP
Note 2 = Note examen
Note finale = $0.4 \cdot \text{Note 1} + 0.6 \cdot \text{Note 2}$

UE – Génie Electrique

S. Pierfederici

EC – Electronique de Puissance

S. Pierfederici

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants d'acquérir les notions de base permettant de comprendre les principes de fonctionnement des principaux convertisseurs de puissance utilisés dans la conversion DC/DC avec et sans isolation galvanique, AC/DC et DC/AC. Seront traités leurs modélisations dynamiques instantanées et moyennes, leur architecture de contrôle et leur dimensionnement.
Les deux TD permettront d'aborder en détail deux structures de conversion (DC DC isolée et DC AC triphasée) très courantes dans l'industrie.

- **Compétences acquises**

Acquisition des éléments de connaissance requis pour l'étude des convertisseurs d'électronique de puissance DC/DC isolés, DC/AC et AC/DC. Connaissance de leurs comportements statique et dynamique ainsi que des stratégies de pilotage usuelles

- **Prérequis**

Electronique de puissance S6, automatique linéaire

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 8** **TP : 12**

2h- Rappel sur la méthodologie d'étude des convertisseurs statiques : applications aux hacheurs DC DC non isolés usuels
4h- Etude des convertisseurs DC/DC isolés : analyse de fonctionnement, modélisation instantanée et moyenne, convertisseurs étudiés Flyback Forward Push-Pull
4h- Modélisation statique et dynamique des hacheurs DC/DC - contrôle des hacheurs en mode de conduction continue et discontinue
2h- Onduleur/Redresseur monophasé à commutation forcé : principe de fonctionnement, stratégies de modulation, modélisation statique et dynamique, dimensionnement
4h- Onduleur/Redresseur triphasé à commutation forcé : principe de fonctionnement, stratégies de modulation, PLL, transformation de Concordia et de Park, modélisation dynamique et contrôle, évaluation des pertes (méthode de la moyenne glissante)
Travaux dirigés 6h TD
1 TD Etude et contrôle d'un convertisseur isolé Flyback fonctionnant en mode auto-oscillant
1 TD Etude d'un convertisseur Forward avec circuit de Clamping
1 TD modélisation et contrôle d'un redresseur commandé monophasé

Travaux pratiques 8h TP
1 TP de 4h sur les convertisseurs statiques isolés (Flyback, Forward)
1 TP de 4h sur la mise en œuvre d'un onduleur triphasé

- **Evaluation**

Note 1 = Note de TP
Note 2 = Note examen
Note finale = $0.4 \cdot \text{Note 1} + 0.6 \cdot \text{Note 2}$

UE – Génie Electriquec	Serge Pierfedericic
EC - Machines électriques	Noureddine TAKORABET

- **Objectifs**

Ce module vient à la suite du module de Machines Electriques de 1ère année, il a comme objectif d'étudier les machines électriques dans leur environnement. La phase de présentation des principes physiques, établissement de modèle et identification des paramètres étant faite en 1ère année, ce module s'intéresse à la mise en œuvre des machines électriques en moteur et en générateur dans différentes situations. L'entraînement à vitesse variable, la gestion de l'énergie électrique d'un alternateur ou le fonctionnement en génératrice asynchrone dans une éolienne sont des exemples de situations étudiée. Un accent fort sera mis sur l'exploitation des modèles des machines pour l'étude des bilans énergétiques.

- **Compétences acquises**

Les compétences acquises à la suite de ce module :

- 1-Exploitation des modèles externes des machines électrique pour l'étude de leur fonctionnement en régime permanent et l'établissement des bilans des puissances converties.
- 2- Mise en œuvre des machines électriques en moteur et en générateur (Machines synchrone connectées au réseau de distribution, Alternateur synchrone autonome, Entraînements électriques de la machine asynchrone a vitesse variable, Génératrice asynchrone connectée au réseau)

- **Prérequis**

Cours de machines électriques de 1ère année
Notions d'électromagnétisme
Circuits électriques et magnétiques

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 00**

Machine synchrone : Modèles non linéaires, étude de stabilité, Fonctionnement générateur (autonome ou connectée au réseau), Fonctionnement moteur avec convertisseur ou connecté au réseau. Machine synchrone à aimants permanents (introduction).
Machine asynchrone : Rappels sur l'établissement du modèle électrique. Fonctionnement moteur sur le réseau, Variation de vitesse, Fonctionnement en génératrice (MADA).
Travaux dirigés 8h TD
Contenu :4 TD de 2h :
Machine Synchrone 1 : Fonctionnement génératrice ou moteur autonome
Machine Synchrone 2 : Fonctionnement génératrice connecté au réseau
Machine Asynchrone 1 : Fonctionnement moteur (variation de vitesse)
Machine Asynchrone 2 : Fonctionnement génératrice connecté au réseau (MADA)
Travaux pratiques 12h TP
Contenu : 4 séances de 3h.
TP 1 : Machine synchrone : Identification des paramètres du modèle (Essais à vide, en CC). Essais en charge en génératrice autonome
TP2 : Machine synchrone accrochée sur le réseau (Moteur : courbe de Mordey). Générateur (gestion de la puissance active et réactive)
TP3 : Machine asynchrone entraînement à vitesse variable (via un variateur)
TP4 : Machine asynchrone en fonctionnement génératrice (autonome ou accrochée au réseau)

- **Evaluation**

Contrôle continu
Comptes-rendu de TP
Examen de fin de semestre

UE – Traitement du signal et de l'information 3

Abdelkader Lahmadi

EC – Traitement du signal

Didier Wolf

• **Objectifs**

Maîtriser les outils classiques de traitement du signal pour l'analyse des signaux continus et numériques sans bruit et avec bruit.

• **Compétences acquises**

Analyse spectrale sur ordinateur
Echantillonnage
Filtrage linéaire des signaux numériques
Caractérisation et analyse des signaux aléatoires

• **Prérequis**

Analyse fonctionnelle, notions de distribution, notions de signaux, transformée de Fourier, probabilités

• **Programme pédagogique** **CM : 18** **TD : 08** **TP : 04**

Signaux continus et analyse de Fourier :
Représentation fréquentielle des signaux
Convolution
Opérateurs de convolution en physique
Transformée de Fourier des fonctions
Transformée de Fourier des distributions tempérées
Echantillonnage et séries
Propriétés énergétiques et transformée de Fourier
Limites de l'analyse de Fourier
Signaux et traitements numériques :
Signaux numériques et convolution numérique
Transformée en z
Transmittance en z des filtres numériques
Analyse fréquentielle des filtres numériques
Synthèse des filtres sous la forme RII, synthèse des filtres sous la forme RIF
Signaux aléatoires :
Rappels sur les variables aléatoires
Description des processus aléatoires (densité de probabilité à l'ordre 1 et 2, moments)
Densités spectrales, fonctions de corrélation, représentations temporelle et fréquentielle
Définitions du rapport signal à bruit, du bruit blanc

• **Evaluation**

Examen de 2h, 2 tests, 1 compte-rendu de TP

UE – Sciences de l'information 3	A. Lahmadi
EC – Réseaux de capteurs	A. Lahmadi

- **Objectifs**

Les systèmes énergétiques utilisent des capteurs et des équipements fortement connectés via des réseaux informatiques distribués géographiquement et sur plusieurs sites. Les protocoles utilisés par ces réseaux permettent d'acheminer les données (par exemple issues d'une instrumentation d'un bâtiment ou d'une installation industrielle) vers des centres de traitement et de gestion. L'objectif de ce module est de présenter les concepts fondamentaux des réseaux de communication, leurs protocoles et les techniques de mise en œuvre pour construire un réseau de capteurs pour échanger et collecter des données.

- **Compétences acquises**

- Comprendre le fonctionnement des réseaux et des protocoles de communication
- Mettre en œuvre un réseau de capteurs et développer une simple application de collecte de données

- **Prérequis**

Algorithmes et programmation 1A

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 5** **TP : 15**

Cours :

- Principes généraux de fonctionnement des réseaux et protocoles de communication: modèle OSI et modèle TCP/IP
- Protocole CAN
- Protocoles de l'Internet des Objets : LoRa et LoRaWAN, IEEE 802.15.4
- Programmation des applications communicantes : Socket
- Introduction aux applications IoT et la sécurité des communications

Travaux dirigés :

- TD1 : analyse des traces réseau
- TD2 : Adressage IP et CRC
- TD3 et TD4 : Bus de communication CAN
- TD5 : sécurité des communications

Travaux pratiques :

- TP1 : Développement d'une application de collecte de données (application de surveillance)
- TP2 : Protocoles MQTT et applications IoT
- TP3 : Communication basse consommation : protocole Zigbee
- TP4 et TP5 : Protocole et applications LoRa

- **Evaluation**

- Savoir intégrer un réseau de capteurs dans un système pour collecter des données et faire des choix technologiques pour sa mise en œuvre

Modalités d'évaluation : contrôle continu (notes travaux pratiques), examen écrit

NRJ	S7	En
-----	----	----

UE – UE Formation générale 2	B. REMY
EC – Développement Durable & Responsabilité Sociétale	B. REMY

- **Objectifs**

L'objectif est de sensibiliser les étudiants aux thématiques du Développement Durable & Responsabilité Sociétale à travers une série de conférences et la Fresques du climat.

- **Compétences acquises**

Acquérir une sensibilité au :

- Développement Durable
- Responsabilité Sociétale
- Impact Carbone des activités humaines et industrielles
- Ethique

- **Prérequis**

Sans prérequis

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 00** **TP : 00**

Contenu du module DDRS

- 1) Les enjeux de la transition énergétique / l'anthropocène (Conf. Débat)
 - 2) Shift Project – Impact Carbone – Sobriété numérique
 - 3) Développement Durable – Solution (Sobriété, efficacité et acceptabilité) (ENEDIS)
 - 4) Rapport du GIEC / RTE – Mix Energétique (RTE). Le Mix énergétique et le futur énergétique.
 - 5) Argumenter les avantages et les inconvénients de la consommation d'énergie fossile et/ou nucléaire par rapport à la consommation d'énergie renouvelable
 - 6) ACV (Ressources) et Ecologie industrielle
 - 7) LE DDRS au sein de l'entreprise + Normes (Conseil de perfectionnement - Arcelor) - Table Ronde.
 - 8) Limites planétaires (Cycles de l'eau, phosphore, couche d'ozone, azote, ...)
 - 9) Évaluer l'impact des politiques énergétiques dans l'économie
 - 10) Ethique et acceptabilité (Philosophie) vs précarité énergétique
- + Fresque du Climat

- **Evaluation**

L'évaluation se fait via la participation à la Fresque du Climat et à un cycle de conférences scientifiques et sciences des humanités. Chaque conférence sera évaluée par un Quizz d'une dizaine de question sur la thématique abordée.

UE – UE Formation générale 2

B. Rémy

EC – Egalité Diversité et inclusion

Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif est de sensibiliser les étudiants aux thématiques du vivre-ensemble dans le respect mutuel et l'acceptation des différences, ainsi qu'à la lutte contre les violences sexistes et sexuelles et toutes les formes de discriminations. Ces thématiques sont regroupées sous un tryptique égalité - diversité - inclusion, et l'objectif du cours est de découvrir les différentes problématiques qui y sont associées et les leviers d'actions permettant de les prévenir.

- **Compétences acquises**

Comprendre le concept de diversité et d'inclusion et ses implications
 Apprécier la diversité culturelle et le respect des différences
 Identifier des pratiques discriminatoires et des comportements non inclusifs
 Connaître les dispositifs d'alerte et savoir réagir

- **Prérequis**

Sans prérequis
 Toutefois les prérequis intéressants sont de l'ordre des qualités personnelles sur l'ouverture d'esprit !

- **Programme pédagogique** **CM : 4** **TD : 00** **TP : 00**

Fresque de la diversité : La Fresque de la Diversité est un outil de sensibilisation qui permet de susciter efficacement des prises de conscience et questionnements sur les enjeux de discriminations et d'inclusion au sein des organisations. elle prend la forme d'un atelier d'intelligence collective réunissant une dizaine de personnes et un animateur ou une animatrice.
Théâtre Forum de sensibilisation aux violences sexuelles et sexistes (VSS) par la troupe synergie
 Le principe : une courte scène traitant du sexisme, du cyberharcèlement et d'une agression dans un environnement étudiant est jouée par les acteurs. La scène est ensuite rejouée en mettant cette fois-ci les étudiants à contribution. L'idée est de leur permettre de jouer le rôle de la protagoniste principale et de réagir aux outrages dont elle est victime. Ce théâtre d'improvisation débouche ensuite sur une réflexion collective sur les différences entre outrage sexiste, harcèlement sexuel et la notion de consentement, souvent méconnues des étudiants Rappel de la loi.
Conférence prévention des conduites à risques, notamment en suite aux différentes formes d'addictions
Témoignage d'étudiant sur une agression sexiste et sexuelle
Formation asynchrone sous forme de vidéos de sensibilisation et d'information
Quiz sur l'inclusion et l'exclusion
Quiz sur la diversité

- **Evaluation**

La participation au Théâtre Forum et aux différentes conférences, ainsi que la participation aux quizzes en ligne, constituent une sensibilisation aux problématiques sociétales EDI et constitue un quitus obligatoire au sein du syllabus.

UE – Formation générale 3

Stéphanie GALLAIRE

EC – Communication et insertion professionnelle

Frédéric EDELSON

- **Objectifs**

Donner aux étudiants les moyens et quelques pistes afin d'affiner leur projet professionnel en les obligeant à s'auto-analyser et à se comparer

- **Compétences acquises**

Les étudiants vont savoir comment établir leur propre bilan de compétences, et vont pouvoir s'orienter plus facilement pour la suite de leur parcours EnseM ainsi que dans leur futur métier

- **Prérequis**

Maîtriser les cours de communications de 1A.

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 08** **TP : 00**

Cours magistraux

CM1 : Intervention extérieur d'un ingénieur en production

CM2 : Intervention extérieur d'un ingénieur en RetD

CM3 : Intervention extérieur d'un ingénieur Chargé d'affaires

Travaux Dirigés

TD 1 : Rappels sur la soutenance de rapport de stage

TD 2 : 1. Définition d'un projet professionnel

 2. A quoi sert le projet professionnel

- TD 3 : Comment construire un projet professionnel

Faire le point sur vos acquis professionnels

Faire le point sur votre situation actuelle

Réfléchir à ses envies professionnelles

Réfléchir à la mise en œuvre de son projet professionnel

TD 4 : Bilan des présentations et auto-analyse

- **Evaluation**

- Rapport de stage 1A : Note sur 20, soutenance de rapport de stage 1A : Note sur 20. La moyenne de ces deux notes compte 75% de la note finale

- Interview d'un professionnel par l'intermédiaire d'une enquête métier à rendre, E-portfolio à rendre, projet pro autour des choix de blocs de compétences. Note sur 20. La moyenne de ses 3 notes compte pour 25% de la note finale.

UE – formation générale 3	Benjamin Remy
EC – Gestion comptable et financière	Julien Binet

- **Objectifs**

Comprendre les concepts, principes de réalisation et le contenu des documents de synthèse de la gestion d'une entreprise
 Appréhender les mécanismes financiers de fonctionnement des entreprises
 Etre sensibilisé aux conséquences financières des décisions de gestion des entreprises

- **Compétences acquises**

Etre sensibilisé aux aspects financiers de la gestion d'une entreprise
 Comprendre les conséquences financières des décisions pour gérer une entreprise
 Restructurer et réorganiser les états financiers pour comprendre de manière simplifiée les aspects financiers de gestion d'une entreprise (ou d'une équipe de travail). Comprendre comment comprendre et interpréter les états financiers d'une entreprise, voir comment corriger une situation qui nécessite une attention
 La simulation de gestion complète avec la mise en pratique des concepts

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 12** **TP : 00**

Présentation des documents de synthèse, contenu et compréhension du contenu de chacun des documents et lien avec l'entreprise et sa stratégie
 Processus de construction des documents
 Approche fonctionnelle du bilan
 Décomposition du compte de résultat au travers des soldes intermédiaires de gestion
 Approche synthétique de la rentabilité d'une entreprise au travers du compte de résultat différentiel

TD : mise en application concrète de chaque outil, avec l'interprétation

- **Evaluation**

Un contrôle écrit terminal

UE – Formation générale 3

S. Gallaire

EC – Anglais

C. Corringer

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est de préparer les étudiants à la certification externe correspondant à leur niveau et à leur besoins.

Les certifications préparées sont les suivantes :

-TOEIC score minimal à atteindre 785 (niveau B2)

-IELTS score minimal à atteindre 6 (B2)

-DET (Duolingo English Test) score minimal à atteindre 100 (B2)

Le IELTS et le DET sont des certifications demandées par les universités partenaires pour des double-diplômes à

- **Compétences acquises**

Compétences telles que définies par le CECRL en niveau B2 ou C1.

- **Prérequis**

Avoir consolidé son niveau B1.

Avoir suivi l'initiation au test TOEIC de S6.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Travail sur les stratégies, les formats à maîtriser et consolidation des bases grammaticales et lexicales afin d'être plus efficace aux tests TOEIC/IELTS/DET

TOEIC : Utilisation du manuel Preparation to the TOEIC test, Bruce Rogers. Exercices types, méthodologie, entraînement sur tests complets.

IELTS: Exercices types, méthodologie, entraînement sur tests complets.

DET : Exercices types, méthodologie

- **Evaluation**

Contrôle continu: évaluations diagnostiques, formatives et sommatives (vocabulaire, compréhension orale/écrite type TOEIC/IELTS/DET, productions écrites de type IELTS et/ou DET et oraux en continu ou en interaction) + Evaluation finale de type TOEIC ou IELTS en compréhension orale et écrite.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Stéphanie Gallaire
EC – Nom de l'Elément Constitutif	Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Pour les débutants: compétences telles que décrites par le CECRL en niveau A2 ou B1.
 Pour les non-débutants: compétences telles que décrites par le CECRL pour le niveau B1, B2, ou C1 selon le groupe de niveau.
 Savoir-être et savoir- faire professionnels. Entraînement à des certifications externes (les étudiants peuvent passer une certification s'ils le souhaitent). Développement de compétences professionnelles, y compris à travers des modules à visée scientifique et culturelle. Découverte ou approfondissement du vocabulaire de spécialité et la langue de l'ingénieur

- **Compétences acquises**

Développement de la capacité à communiquer, à échanger. Confiance en soi en langue étrangère.
 Compréhension de l'écrit et de l'oral, production écrite et orale (en continu et en interaction) en langue étrangère.
 Savoir se fixer des objectifs, apprendre à apprendre.

- **Prérequis**

Pour les non-débutants: avoir un niveau B1.
 Pour les débutants avoir un niveau A2.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

A chaque cours, travail des 5 compétences (compréhension écrite et orale, interaction orale, expression écrite et orale).
 Utilisation des ressources en ligne pour un travail intensif de la compréhension orale et de l'expression orale.
 Travail sur la langue et développement des compétences professionnelles à travers des modules à visée culturelle et scientifique.
 Entraînement systématique de la compréhension orale à travers documents audio et vidéo authentiques.
 Entraînement de la compréhension écrite à travers des articles de presse et autres textes.
 Production orale : débats, échanges, comptes rendus, jeux de rôle, présentations, entraînement de la prononciation, etc.
 Production écrite : productions écrites en rapport avec les points développés dans les autres compétences, rédaction de mail, prise de position, synthèse, etc.
 Module à visée scientifique: travail sur des thématiques et documents en lien avec le domaine de l'ingénierie. Le métier d'ingénieur, préparation à la rédaction de synthèses, de rapports, entraînement aux débats, simulation de réunions, étude de documents en lien avec les domaines phares de l'ingénierie ; savoir décrire le fonctionnement de machines, des procédés, etc...
 Préparation à des visites de laboratoires ou d'entreprises.
 Thèmes: le métier d'ingénieur, les procédés de fabrication, la mécanique, l'électricité, l'énergie, etc.
 Module culturel: travail sur des événements ou courants culturels marquants. L'accent sera placé sur la diversité des supports utilisés. Les étudiants seront amenés à travailler en groupe et par projet. Des intervenants extérieurs en lien avec les thématiques traitées pourront intervenir en cours (ex: étudiants en échange international à l'ENSEM, membres d'associations, etc.)
 Thèmes: traditions, interculturalité, monde des arts, cinéma, histoire, etc. Modulable en fonction des intérêts de chaque groupe.

- **Evaluation**

Contrôle continu (50%): tests réguliers en cours de semestre ; note sanctionnant la participation en cours.
 Examen écrit (50%).

UE – Formation générale 4

S. Gallaire

EC – Anglais

C. Corringer

- **Objectifs**

Semestre axé sur l'anglais oral. L'objectif est d'amener les étudiants à faire une présentation de projet, claire et structurée devant un public en utilisant efficacement des techniques de communication. Les étudiants travailleront régulièrement en groupe et seront amenés à analyser leurs prestations.

- **Compétences acquises**

Techniques de communication.
Utilisation optimisée de différents outils de présentation (PPT, PREZI)

- **Prérequis**

Avoir atteint un niveau B2.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

Préparation à la prise de parole en continu en public :

- exploitation de documents (écrits et audio) afin de travailler la structure, les expressions nécessaires au guidage (signposting)
- optimisation du contenu et de l'utilisation des slides sur powerpoint ou Prezi
- gestion du non-verbal.
- travail sur la prononciation, le rythme, le placement de voix
- travail sur les techniques de communication (impact techniques, rapport building)
- travail sur des techniques de marketing (elevator pitch, sales speech)

- **Evaluation**

Contrôle continu: évaluations orales régulières formatives et/ou sommatives (sous forme d'enregistrements et en public, individuelles et en groupe) et évaluation orale finale.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Stéphanie Gallaire
EC – Nom de l'Elément Constitutif	Claire Cuisinier

- **Objectifs**

Pour les débutants: compétences telles que décrites par le CECRL en niveau A2 ou B1.
 Pour les non-débutants: compétences telles que décrites par le CECRL pour le niveau B1, B2, ou C1 selon le groupe de niveau.
 Savoir-être et savoir- faire professionnels. Entraînement à des certifications externes (les étudiants peuvent passer une certification s'ils le souhaitent). Développement de compétences professionnelles, y compris à travers des modules à visée scientifique et culturelle. Découverte ou approfondissement du vocabulaire de spécialité et la langue de l'ingénieur

- **Compétences acquises**

Développement de la capacité à communiquer, à échanger. Confiance en soi en langue étrangère.
 Compréhension de l'écrit et de l'oral, production écrite et orale (en continu et en interaction) en langue étrangère.
 Savoir se fixer des objectifs, apprendre à apprendre.

- **Prérequis**

Pour les non-débutants: avoir un niveau B1.
 Pour les débutants avoir un niveau A2.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 24** **TP : 00**

A chaque cours, travail des 5 compétences (compréhension écrite et orale, interaction orale, expression écrite et orale).
 Utilisation des ressources en ligne pour un travail intensif de la compréhension orale et de l'expression orale.
 Travail sur la langue et développement des compétences professionnelles à travers des modules à visée culturelle et scientifique.
 Entraînement systématique de la compréhension orale à travers documents audio et vidéo authentiques.
 Entraînement de la compréhension écrite à travers des articles de presse et autres textes.
 Production orale : débats, échanges, comptes rendus, jeux de rôle, présentations, entraînement de la prononciation, etc.
 Production écrite : productions écrites en rapport avec les points développés dans les autres compétences, rédaction de mail, prise de position, synthèse, etc.
 Module à visée scientifique: travail sur des thématiques et documents en lien avec le domaine de l'ingénierie. Le métier d'ingénieur, préparation à la rédaction de synthèses, de rapports, entraînement aux débats, simulation de réunions, étude de documents en lien avec les domaines phares de l'ingénierie ; savoir décrire le fonctionnement de machines, des procédés, etc...
 Préparation à des visites de laboratoires ou d'entreprises.
 Thèmes: le métier d'ingénieur, les procédés de fabrication, la mécanique, l'électricité, l'énergie, etc.
 Module culturel: travail sur des événements ou courants culturels marquants. L'accent sera placé sur la diversité des supports utilisés. Les étudiants seront amenés à travailler en groupe et par projet. Des intervenants extérieurs en lien avec les thématiques traitées pourront intervenir en cours (ex: étudiants en échange international à l'ENSEM, membres d'associations, etc.)
 Thèmes: traditions, interculturalité, monde des arts, cinéma, histoire, etc. Modulable en fonction des intérêts de chaque groupe.

- **Evaluation**

Contrôle continu (50%): tests réguliers en cours de semestre ; note sanctionnant la participation en cours.
 Examen écrit (50%).

UE – UE Formation générale 2

B. Rémy

EC – Egalité Diversité et inclusion

Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif est de sensibiliser les étudiants aux thématiques du vivre-ensemble dans le respect mutuel et l'acceptation des différences, ainsi qu'à la lutte contre les violences sexistes et sexuelles et toutes les formes de discriminations. Ces thématiques sont regroupées sous un tryptique égalité - diversité - inclusion, et l'objectif du cours est de découvrir les différentes problématiques qui y sont associées et les leviers d'actions permettant de les prévenir.

- **Compétences acquises**

Comprendre le concept de diversité et d'inclusion et ses implications
 Apprécier la diversité culturelle et le respect des différences
 Identifier des pratiques discriminatoires et des comportements non inclusifs
 Connaître les dispositifs d'alerte et savoir réagir

- **Prérequis**

Sans prérequis
 Toutefois les prérequis intéressants sont de l'ordre des qualités personnelles sur l'ouverture d'esprit !

- **Programme pédagogique** **CM : 4** **TD : 00** **TP : 00**

Fresque de la diversité : La Fresque de la Diversité est un outil de sensibilisation qui permet de susciter efficacement des prises de conscience et questionnements sur les enjeux de discriminations et d'inclusion au sein des organisations. elle prend la forme d'un atelier d'intelligence collective réunissant une dizaine de personnes et un animateur ou une animatrice.
Théâtre Forum de sensibilisation aux violences sexuelles et sexistes (VSS) par la troupe synergie
 Le principe : une courte scène traitant du sexisme, du cyberharcèlement et d'une agression dans un environnement étudiant est jouée par les acteurs. La scène est ensuite rejouée en mettant cette fois-ci les étudiants à contribution. L'idée est de leur permettre de jouer le rôle de la protagoniste principale et de réagir aux outrages dont elle est victime. Ce théâtre d'improvisation débouche ensuite sur une réflexion collective sur les différences entre outrage sexiste, harcèlement sexuel et la notion de consentement, souvent méconnues des étudiants Rappel de la loi.
Conférence prévention des conduites à risques, notamment en suite aux différentes formes d'addictions
Témoignage d'étudiant sur une agression sexiste et sexuelle
Formation asynchrone sous forme de vidéos de sensibilisation et d'information
Quiz sur l'inclusion et l'exclusion
Quiz sur la diversité

- **Evaluation**

La participation au Théâtre Forum et aux différentes conférences, ainsi que la participation aux quizs en ligne, constituent une sensibilisation aux problématiques sociétales EDI et constitue un quitus obligatoire au sein du syllabus.

UE – formation générale 1

Stéphanie Gallaire

EC – Stratégie marketing et simulation d'entreprise

Jean-Christophe Marpeau

- **Objectifs**

Mettre les élèves en situation de gestion d'entreprise au travers d'une simulation de gestion d'entreprise (jeu d'entreprise) basée sur un scénario de marché compétitif. Application des notions apprises en gestion, en marketing, en finance, en production de biens et gestion de projets

- **Compétences acquises**

Capacité à s'intégrer dans une organisation d'entreprise et d'en comprendre les rouages.

- **Prérequis**

Cours 1A de connaissance de l'entreprise, stratégie et gestion de projets

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 12** **TP : 00**

CM :

- Bases de comptabilité et analyse financière
- Stratégie d'entreprise

TD : Sous la forme d'une simulation de gestion d'une entreprise

Fondé sur un travail de groupe, cette simulation de gestion d'une d'entreprise offre un moyen efficace pour appréhender concrètement l'imbrication des décisions commerciales, financières, humaines, techniques et les relations de l'entreprise avec son environnement. Il donne à chacun la possibilité de tester ses aptitudes à réagir aux aléas de la conjoncture, aux coups de boutoir de la concurrence, à partir d'informations imparfaites et en temps forcément limité.

- **Evaluation**

Evaluation sur la base des retours suite au TD de simulation de gestion d'une entreprise (Stratégie, finances et gestion de projet). Restitution des résultats sous la forme d'une présentation orale.

	Unité d'Enseignement (UE) Eléments Constitutifs (EC)	Responsable	Section CNU	CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
--	---	-------------	----------------	----	----	----	-------------------	--------	------	-------------

Semestre 8 Reforme NRJ

B8 - 01	<i>Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage (80h)</i>	<i>S. Dufour</i>							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Modélisation Réseaux électriques	S, Dufour	63	8	4	4	16	1,2		
	Intégration d'énergies renouvelables	J.P. Martin	63	10	2	4	16	1,2		
	Caractéristiques statique et dynamique des sources et des éléments de stockage de l'énergie	A. Labergue	62, 63	18	0	0	18	1,2		
	Réseaux de chaleur	B. Rémy	62	6	4	4	14	1,2		
	Etude de cas	M. Urbain	62, 63	0	0	16	16	1,2		

TOTAL 80

B8 - 02	<i>Modélisation dynamique et entraînement des machines électriques</i>	<i>N. Takorabet</i>							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Systèmes de motorisation et génération électriques : modélisation et mise en œuvre	F. Meibody-Tabar	63	20	12	8	40	3		
	Machines électriques connectées au réseau : défaillances et régimes transitoires	N. Takorabet	63	16	8	16	40	3		

TOTAL 80

B8 - 03	<i>Electronique de puissance avancée pour les applications stationnaires et embarquées</i>	<i>S. Pierfederici</i>							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Structures d'alimentation actuelles et émergentes	S. Pierfederici	63	20	8	12	40	3		
	Intégration numérique	J.P. Martin	63	16	0	24	40	3		

TOTAL 80

B8 - 04	<i>Transfert et conversion d'énergie</i>	<i>A. Labergue</i>							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Thermodynamique des systèmes énergétiques	S. Didierjean	62	10	20	10	40	4		
	Transferts de chaleur et de masse	A. Labergue	62	10	8	12	30	3		
	Conversion d'énergie fluide	O. Caballina	60	6	4	0	10	1		

TOTAL 80

B8 - 05	<i>Mécanique des fluides pour l'ingénieur</i>	<i>N. Louvet</i>							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Turbulence	O. Caballina	60	12	8	0	20	2		
	Aérodynamique	A. Perreira	60	12	8	0	20	2		
	Interaction fluide/structure	N. Louvet	60	12	8	0	20	2		
	Etude de cas	N. Louvet	60	2	0	18	20	2		

TOTAL 80

B8 - 06	<i>Ecoconception pour l'énergie et la mobilité</i>	M. Bordron							6	10
				CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.		
	Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	M. Bordron	60	0	0	20	20	1,5		
	Eco-conception: matériaux, coûts et cycle de vie	J. Boisse	60	14	6	0	20	1,5		
	Technologies et procédés innovants	M. Bordron	60	10	2	8	20	1,5		
	Etudes de cas de dimensionnement	JF. Schmit	60	2	0	18	20	1,5		

TOTAL 80

B8 - 07	<i>Sûreté et Cybersécurité</i>	<i>N. Brinzei</i>										
	Cryptographie, Cyber-sécurité des systèmes industriels	A. Lahmadi/ / J. Daafouz	61		8	4	8	20	1,5	6	10	
	Systèmes Distribués, Services web et Blockchain	V. Chevrier	61		8	0	12	20	1,5			
	Systèmes à Evénements Discrets	J.P. Petin	61		8	4	8	20	1,5			
	Sûreté de Fonctionnement	N. Brinzei	27, 61		10	4	6	20	1,5			
								TOTAL	80			

B8 -08	<i>Signaux, Données et Internet des objets</i>	<i>Y.Q. Song</i>										
	Traitement du signal et transmission de données	D. Wolf	61		16	6	8	30	3	6	10	
	Bases de données	Y.Q. Song	61		10	8	12	30	3			
	Mise en œuvre d'une application d'Internet des objets	A. Lahmadi	61		2	0	18	20	2			
								TOTAL	80			

B8 - 09	<i>Stabilité, Contrôle et Intégration numérique</i>	<i>J. Daafouz</i>										
	Commande numérique	J. Daafouz	61		10	10	0	20	1,5	6	10	
	Stabilité et stabilisation des systèmes	R. Postoyan	61		12	4	4	20	1,5			
	Intégration numérique avec microcontrôleurs	A. Lahmadi	61		8	0	12	20	1,5			
	Application smart grid	J. Daafouz	27, 61		4	4	12	20	1,5			
								TOTAL	80			

B8 - 10	<i>Intelligence artificielle, Analyse de données et Méthodes d'apprentissage</i>	<i>S. Le Cam</i>										
	Introduction à la reconnaissance de formes	R. Ranta / S. Le Cam	61		10	10	0	20	1,5	6	10	
	Méthode à noyaux : les séparateurs à vaste marge	D. Maquin	61		12	8	0	20	1,5			
	Réseaux de neurones	M. Kallas	61		8	8	0	16	1,5			
	Bureau d'études	S. Le Cam	27, 61		0	0	24	24	1,5			
								TOTAL	80			

B8 -11	<i>Modélisation & Simulation numérique en Génie Electrique</i>	<i>J. Fontchastagner</i>										
	EC1: Électromagnétisme BF analytique et numérique	J. Fontchastagner	63		16	8	16	40	3	6	10	
	EC2 : Simulations de dispositifs électromagnétiques	CH. Bonnard	63		4	0	36	40	3			
								TOTAL	80			

B8 - 12	<i>Modélisation & Simulation numérique en Thermique, Mécanique des Fluides et Solides</i>	<i>B. Remy</i>										
	Introduction à la simulation numérique en Mécanique & Thermique (Matlab/FlexPDE)	B. Remy	60, 62		8	0	20	28	2	6	10	
	Outils numériques pour la mécanique des fluides et thermique (Fluent/Comsol)	N. Rimbart	60, 62		6	0	20	26	2			
	Analyse par éléments finis des machines & des structures (Abaqus)	C. Laurent	60		6	0	20	26	2			
								TOTAL	80			

UE - Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage	S. DUFOUR
EC Modélisation Réseaux électriques	S. DUFOUR

- **Objectifs**

Ce cours est une introduction aux réseaux électriques de haute tension, de distribution et de transport. Il donne des connaissances de base sur les matériels du réseau, sur la gestion du réseau, la répartition de puissances et le calcul des courants de court-circuit. Les objectifs sont d'appréhender la modélisation des lignes électriques en régime permanent, des transformateurs de réseau, de connaître les différents composants d'un poste électrique, de pouvoir utiliser un logiciel de calcul de répartition de puissances et de calcul de court-circuit en ayant une idée de son fonctionnement.

- **Compétences acquises**

Connaissance des constituants des réseaux (lignes, câbles, transformateurs, postes) et de leur modélisation. Maîtrise de la problématique de répartition de puissance. Notions de réglages de tension/fréquence. Méthodologie de calcul des courants de court-circuit.

- **Prérequis**

S5 – Electrotechnique générale, S5 – Outils pour l'Electronique et l'électricité, S6 – Analyse numérique 2

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 04** **TP : 04**

CM1 (2h) – Lignes électriques HT (aériennes-souterraines). Constitution, Modèle électrique équivalent.

CM2 (2h) – Transformateurs (Régulateurs en charge, déphaseurs, à trois enroulements) – Postes électriques (structure type, matériel) – Réglages tension/fréquence.

TD1 (2h) – Lignes électriques : exploitation du modèle en Pi

CM3 (2h) – Répartition de puissances. Introduction du problème. Méthodes de résolution. Cas tests. Analyse de sensibilité. Analyse de contingence.

TP1 (4h) – Répartition de puissances. Prise en main d'un logiciel de répartition de puissances sur un cas test. Exemple d'étude sur un réseau plus étendu.

CM4 (2h) – Courants de court-circuit. Court-circuits triphasés et dissymétriques. Présentation de la méthodologie de calcul. Notions sur la norme CEI 60909.

TD2 (2h) – Calcul de courants de court-circuit sur un réseau simplifié.

- **Evaluation**

Epreuve écrite

UE – Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage

S. Dufour

EC – Intégration des EnR sur le réseau électrique

J-P. MARTIN

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est d'introduire les modèles électriques des panneaux photovoltaïques et des différentes génératrices éoliennes (génération synchrone et asynchrone), les architectures spécifiques d'électroniques de puissance mises en œuvre pour transférer l'énergie des sources renouvelables (EnR) vers les réseaux de distributions ainsi que les lois de commande associées, tout en considérant les contraintes spécifiques du réseau électrique.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser, dimensionner et mettre en œuvre une chaîne complète de conversion permettant l'intégration d'énergies renouvelables de type photovoltaïque et éolienne sur un réseau électrique, tout en considérant les contraintes réseau.

- **Prérequis**

Electrotechnique générale S5, Outils pour l'électricité et l'électronique S5, Machines électriques S6, Electronique de Puissance S6, Automatique – Dynamique et Contrôle des systèmes S6, Conversion électromécanique de l'énergie S7, Electronique de Puissance S7, Machines Electriques S7.

- **Programme pédagogique** **CM : 10h** **TD : 2h** **TP : 4h**

Les différents points abordés sont (CM 10h) :

- Modèles des panneaux solaires et mise en œuvre

Les différents modèles électriques usuels des cellules photovoltaïques sont présentés. La fonction W de Lambert pour modéliser les panneaux solaires est introduite pour la simulation dans des conditions de fonctionnements homogènes et hétérogènes. Les algorithmes usuels de recherche de point de puissance maximum (MPPT) sont présentés (Perturbation & Observation, conductance incrémentale) et implémentés sur des convertisseurs statiques.

- Injection d'énergie photovoltaïque et éolienne sur le réseau électrique

Une introduction sur l'injection de l'énergie photovoltaïque et éolienne sur un réseau électrique est présentée. Les architectures spécifiques de la chaîne de conversion avec les lois de pilotage usuelles et leurs dimensionnements sont introduites et mises en œuvre pour l'injection d'énergie sur un réseau monophasé et triphasé.

Les contraintes relatives aux variations de fréquence et de tension du réseau seront présentées et mises en œuvre dans le pilotage de la chaîne de conversion lors d'un TD (2h) via les lois $P(f)$ et $Q(U)$ standards.

Une chaîne éolienne complète prenant en compte la génératrice électrique, les convertisseurs statiques, les lois de commandes et le réseau électrique sera développée en simulation par les étudiants. (TP 4h).

- **Evaluation**

Etude de cas autour de l'injection d'énergie photovoltaïque et éolienne sur un réseau électrique (2 rapports de projet).

UE – Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage

Stéphane DUFOUR

EC – Caractéristiques statique et dynamique des sources et des éléments de stockage de l'énergie

Alexandre LABERGUE

• Objectifs

Le nombre croissant de sources d'énergies renouvelable connectées aux réseaux électriques constitue un vrai challenge technique. En effet, du caractère intermittent des énergies renouvelables, les réseaux peuvent être soumis à de fortes chutes de tension ou de fréquence électrique. Ainsi, l'intégration de grandes capacités de stockage est une solution pour garantir la stabilité des réseaux. Ce cours présentera et caractérisera alors les principaux procédés de stockage de l'énergie capables de stocker de grandes quantités d'énergie : stockage gravitaire, air comprimé, les volants d'inertie, accumulateurs électrochimiques (batteries) et supercapacités

• Compétences acquises

Savoir sélectionner et dimensionner une technologie de stockage d'énergie approprié selon un cahier des charges (énergie à stocker, puissance à fournir, temps de charge/décharge ou temps de réponse, etc...)

• Prérequis

Thermodynamique S5
Mécanique des fluides et applications S6
Conversion électro-mécanique de l'énergie S7

• Programme pédagogique **CM : 18 TD : 0 TP : 0**

CM: 9 séances de 2 heures durant lesquelles seront abordés les points suivants

- 6 heures consacrées aux procédés de stockage de l'énergie basé sur des concepts mécaniques:

- * Stockage gravitaire
- * stockage par air comprimé
- * stockage par volants d'inertie

- 8 heures sur les accumulateurs électrochimiques et supercapacités

*Vocabulaire et technologie :

grandeurs caractéristiques nominales d'une cellule (tension, capacité (Ah), énergie), diagramme de Ragone, influence de la température et du courant sur les performances en décharge, distinction entre énergie installée et énergie accessible, analyse de fiches techniques et dimensionnement d'un dispositif de stockage, contraintes de mise en œuvre des supercondensateurs

* Considérations théoriques et modélisation :

cinétique électrochimique et schéma de Randles, modèle électrique équivalent vu des bornes extérieures, implantation et paramétrage sur Matlab / Simulink.

- 4 heures données par une industrielle sur les flow batterie redox

• Evaluation

Examen pour évaluer le niveau de connaissances acquises sur les techniques de stockage de l'énergie mécanique et par accumulateurs électrochimiques ou supercapacités

UE – Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage	S. DUFOUR
EC – Réseaux de chaleur	B. REMY

- **Objectifs**

Savoir modéliser et dimensionner un réseau de chaleur en y intégrant des composants et utilités.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser et dimensionner un réseau de chaleur en y intégrant des composants et utilités.

- **Prérequis**

Cours de Thermodynamique S5 et de Thermique S7.

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 04** **TP : 04**

- Évaluer le potentiel d'un réseau de chaleur à partir de l'inventaire des sources chaudes et froides (analyse Pinch). Apport d'une source chaude et/ou froide pour en assurer le fonctionnement.

- Définir les caractéristiques des utilités à intégrer dans la réseau pour répondre à un cahier des charges prédéfini (réseau de chaleur au niveau d'un site industriel, d'une ville, d'un quartier ou d'habitations collectives) : production d'eau chaude, de vapeur, d'électricité et chauffage.

- Optimiser l'efficacité du réseau par le choix de composants et leur pilotage en y intégrant la charge dans le modèle.

- Mise en oeuvre et intégration des modèles sous Matlab Simulink (Simscape)

Mots clés/contenu : intégration de composants de conversion, stockage et production dans un réseau de chaleur par des approches statiques et dynamiques.

- **Evaluation**

Mise en œuvre sous la forme d'un TP de l'analyse par pincement dans un cas académique simple.

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – UE Réseaux d'énergie B1	Stéphane Dufour
EC – Etudes de cas	Matthieu Urbain

- **Objectifs**

Ce projet est pluridisciplinaire, l'objectif est de mettre en œuvre les connaissances acquises au cours des différents modules constitutifs du bloc "réseaux d'énergie" et de les appliquer à un problème concret de recherche et développement en ingénierie.

- **Compétences acquises**

Approfondissement et mise en œuvre des connaissances et des outils présentés dans les domaines abordés dans le bloc "réseaux d'énergie".

Développer ses facultés d'initiative, de synthèse et de réflexion personnelle vis-à-vis de problèmes concrets de recherche et développement en ingénierie.

- **Prérequis**

Enseignements des EC du bloc "réseaux d'énergie".

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 16**

Le sujet est proposé par un enseignant ou une équipe d'enseignants de la formation et les élèves travailleront en individuel ou en groupe en fonction du sujet et du travail nécessaire pour répondre au cahier des charges de l'étude. Le projet implique des considérations scientifiques, techniques et technologiques. Il peut aborder simultanément différents domaines (électricité, thermique, mécanique, EnR, stockage...). L'étude théorique pourra éventuellement être complétée par des essais expérimentaux sur maquette pour valider l'idée de principe. Les élèves développeront ainsi leurs facultés d'initiative, de synthèse et de réflexion personnelle.

L'enseignant ayant proposé le sujet d'étude accompagnera l'étudiant dans ces démarches de recherche et d'analyse. En plus de ces heures encadrées destinées à orienter et conseiller l'élève à mesure de sa progression dans la résolution, un travail personnel supplémentaire et régulier sera nécessaire pour mener à bien l'étude.

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – A2 Modélisation dynamique et entraînement des machines électriques Nom de l'Unité d'Enseignement ou B loc	N. Takorabet
EC1 – Systèmes de Motorisation et génération électriques : Modélisation et mise en œuvre.	F. Meibody-Tabar

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est la modélisation et la mise en œuvre des entraînements électriques à vitesse variable. Il s'agit de présenter et justifier les outils et les transformations nécessaires à la modélisation dynamique des machines électriques. Etablir les modèles dynamiques en vue de la simulation et de la commande des machines électriques synchrones et asynchrones alimentées via des onduleurs de tension. Etudier différentes stratégies de contrôle du couple de machines électriques synchrones et asynchrones. Les applications en TD et en TP sont la mise en œuvre des entraînements électriques à vitesse variable des machines synchrones et asynchrones.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser et étudier le comportement des machines synchrones et asynchrones alimentées via les onduleurs de tensions. Mettre en œuvre le contrôle du couple et de la vitesse de ces machines, intégrées dans les chaînes de conversion électromécanique d'énergie.

- **Prérequis**

- Machines électriques en S6 et en S7
- Electronique de puissance en S6 et en S7

- **Programme pédagogique** **CM : 20h** **TD : 12h** **TP : 8h**

- Cours (20h) :

- ** Transformations et outils de modélisation des systèmes triphasés.
- ** Modélisation dynamique de différents types de machines synchrones et asynchrones à F.M.M. sinusoïdale, alimentées via des onduleurs de tension commandés en MLI, en vue de la simulation et de la commande des chaînes de conversion électromécanique d'énergie.
- ** Contrôle de couple des machines synchrones et asynchrones alimentées par onduleurs de tension
- ** Stratégies de contrôle du couple des machines synchrones, conditions d'autopilotage.
- ** Principe de contrôle du couple des machines asynchrones en orientant le flux rotorique ou le flux statorique suivant l'axe direct (contrôle vectoriel des machines synchrones et asynchrones).

- Travaux dirigés (3*4h en salle informatique)

- ** TD1 (2*4h) : Modélisation sous MATLAB/SIMULINK d'une machine synchrone à aimants permanents alimentée par un onduleur de tension commandé en MLI ; étude par simulation du contrôle de son couple et de sa vitesse.
- ** TD2 (4h) : Modélisation sous MATLAB/SIMULINK d'une machine asynchrone à cage d'écureuil alimentée par un onduleur de tension commandé en MLI ; étude par simulation numérique du contrôle du couple et de la vitesse de la machine considérée en orientant le flux rotorique suivant l'axe direct.

- Travaux pratiques (2*4h en Salle Véhicule du futur)

- ** TP1 (4h) : Mise en œuvre de la commande en couple et en vitesse d'une machine synchrone à aimants permanents alimentée par onduleur de tension commandé en MLI.
- ** TP2 (4h) : Mise en œuvre de la commande en couple et en vitesse d'une machine asynchrone à cage d'écureuil alimentée par onduleur de tension commandé en MLI.

- **Evaluation**

L'évaluation est basée sur la moyenne de la note de l'examen théorique et celle de la partie pratique (TD et TP). La note pratique est la moyenne des notes des rapports sur les travaux réalisés lors des séances de TD et de TP.

Note finale = [(Note de l'examen théorique) + (Note moyenne des TD et TP)] * 0,5

UE – Modélisation dynamique et entraînement des machines électriques

Noureddine Takorabet

EC – Machines électriques : défaillances et régimes transitoires

Noureddine Takorabet

• Objectifs

Ce module vise à conforter les connaissances de base acquises sur les machines électriques triphasées étudiées en S6 et S7, permettant de les modéliser d'une manière plus fine et dans des fonctionnements inhabituels ou dégradés. Le focus se portera sur les régimes transitoires et déséquilibrés des machines synchrones et asynchrones.

• Compétences acquises

- Etudier et mettre en oeuvre les machines en utilisant des modèles de saturation évolués (Potier)
- Caractériser le fonctionnement des machines synchrones en régime transitoire
- Mettre en œuvre des procédures expérimentales d'identification des paramètres de la machine en régime transitoire
- Modéliser et caractériser les régimes transitoires et déséquilibrés des machines asynchrones
- Mettre en œuvre des procédures expérimentales de caractérisation et de mise en évidence des phénomènes

• Prérequis

Cours d'électricité de tronc-commun :

- Circuits électriques et électroniques, électrotechnique générale
- Machines électriques

• Programme pédagogique **CM : 16 TD : 08 TP : 16**

Partie 1 : Machine Synchrone :

CM (8h) Modèle de Potier - Régimes transitoires des machines synchrones - Machines synchrones spéciales (réductance variable)

TD (4h) : Modèle de Potier - Mise en œuvre du modèle numérique de machine synchrone en régime transitoire

TP (8h) : Essais de caractérisation en régime saturé et transitoire d'une machine synchrone à rotor bobiné

Partie 2 : Machine Asynchrone

CM (8h) Modélisation du moteur asynchrone à rotor bobiné - modèles de régime déséquilibrés - modélisation en régime transitoire - modélisation de la machine asynchrone monophasée

TD (4h) : Modélisation en régime permanent puis déséquilibré d'une machine asynchrone, puis rééquilibrage de la machine - modélisation de la machine asynchrone en régime transitoire

TP (8h) : Essais de caractérisation en régime transitoire et déséquilibré d'une machine asynchrone; Identification paramétriques par différents essais, comparaison. Fonctionnement de la machine en mode dégradé : évaluation des performances

• Evaluation

Mise en situation en travaux pratiques pour identifier et caractériser le comportement des machines électriques. Examen pour évaluer le niveau de connaissances acquis sur les machines électriques en fonctionnement transitoire ou déséquilibré.

UE – Electronique de puissance avancée pour les applications stationnaires et embarquées	S. Pierfederici
EC – Structures d'alimentation actuelles et émergentes	S. Pierfederici

- **Objectifs**

Les structures modernes de conversion présentes dans les applications aéronautiques, ferroviaires, navales et les réseaux électriques émergents permettent de réaliser, en outre, du transfert d'énergie sans contact, des transformateurs sans fer, des applications de forte puissance, la mise en œuvre d'éléments basse tension de forte puissance.

- **Compétences acquises**

L'objectif de cet EC est de permettre aux étudiants de maîtriser les outils méthodologiques et d'établir les modèles dynamiques en vue du dimensionnement, de la simulation et de la commande des structures avancées de convertisseurs statiques.

- **Prérequis**

Electronique de puissance S6 et S7, automatique linéaire

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 8** **TP : 12**

Part 1: - Hacheurs quasi-résonants et résonants / onduleurs à résonance (8h CM / 4h TD)
Mots clés : Commutations douces, transfert d'énergie sans contact, structures haute fréquence à forte densité de puissance.
- Structures de convertisseurs DC/DC avancées adaptées aux sources basse tension de forte puissance (6h CM / 2h TD)
Mots clés : convertisseurs quadratiques, multiplieur de tension, convertisseurs entrelacés, onduleurs impédants.

Part 2 : - multi-niveaux - stratégies de modulation. (6h CM / 2h TD)
Mots clés : onduleurs multi-niveaux, MLI vectorielle.

Travaux pratiques
TP1 (4h) : Mise en œuvre d'une structure de conversion basse tension fort courant sur la plateforme "Energie"
TP2 (4h) : Mise en œuvre de convertisseur résonant pour le transfert d'énergie sans contact
TP3 (4h) : Mise en œuvre d'un réseau HVDC à l'aide d'onduleur multi-niveaux sur la plateforme "Véhicule de Futur"

- **Evaluation**

Note de TP= (compte rendu TP1+compte-rendu TP2+compte-rendu TP3)/3;
Note d'examen = 0.7*note examen Part 1 + 0.3*note examen Part 2
Note finale = 0.4*(Notes de TP)+(Note d'examen)/0.6

UE – Electronique de puissance avancée pour les applications stationnaires et embarquées

S. Pierfederici

EC – intégration numérique

J-P. MARTIN

- **Objectifs**

Les systèmes électriques sont généralement construits autour de convertisseurs statiques dont la commande permet de contrôler les flux de puissance. Les lois de commande tendent à être de plus en plus intégrées dans les composants électroniques numériques et les systèmes informatiques embarqués.

- **Compétences acquises**

Acquérir les connaissances nécessaires pour intégrer les lois de commande des systèmes électriques dans des circuits numériques configurables et/ou programmés.

- **Prérequis**

Algorithmes et programmation S5, Modélisation des SED S5, Algorithmes et programmation S5, Electrotechnique générale S5, Outils pour l'électricité et l'électronique S5, Electronique de Puissance S6, Algorithmique et Programmation orientée objet S6, Electronique de Puissance S7.

- **Programme pédagogique** **CM : 16h** **TD : 0h** **TP : 24h**

Le module est divisé en deux parties principales :

- circuits numériques programmés (8 hrs CM (4x2 hrs))

Les éléments abordés seront : la prise en compte des contraintes temps réel, la synchronisation, l'ordonnancement multitâche, les interruptions, les horloges, les entrées/sorties, les approches synchrones et asynchrones, l'introduction au langage C (structures de données, gestion de la mémoire, threads), les structures de circuits numériques programmés, les microcontrôleurs, les DSP,

Projet (12 hrs) : Implémentation d'une loi de commande usuelle d'un convertisseur statique dans un microcontrôleur spécialisé dans le contrôle des systèmes électriques.

- Circuits numériques configurables (8h CM (4x2h))

Les éléments abordés seront : les architectures numériques en fonction des algorithmes à mettre en œuvre, la représentation et le choix du format des nombres, la logique combinatoire, les machines à états finis, l'introduction aux langages HDL, la structure des circuits numériques configurables, FPGA, ASIC, CPLD,

Projet (12 hrs) : Implémentation d'une loi de commande usuelle d'un convertisseur statique dans un circuit FPGA.

- **Evaluation**

Contrôle continu pendant les sessions pratiques et évaluation des rapports associés aux deux projets sur l'implémentation d'une loi de contrôle dans un microcontrôleur et dans un FPGA.

UE – Transfert et conversion d'énergie

Alexandre LABERGUE

EC – Thermodynamique des systèmes énergétiques

Sophie DIDIERJEAN

- **Objectifs**

Les connaissances fondamentales en thermodynamique, en transferts thermiques et en conversion d'énergie mécanique étant acquises, le module a pour objet leur application à des systèmes énergétiques. Les exemples traités concernent principalement les machines thermiques pour la production d'énergie électrique, et la production de froid. Il s'agit de présenter les outils de base nécessaires à l'évaluation de leur performance énergétique.

- **Compétences acquises**

Savoir décrire et connaître le principe de fonctionnement des principaux éléments qui composent un système énergétique. Etre capables de poser les hypothèses permettant de conduire une analyse énergétique et de calculer le rendement de systèmes typiques pour l'ingénieur.

- **Prérequis**

Thermodynamique S5
Initiation aux transferts thermiques S7

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 20** **TP : 10**

Cours magistraux (10h)

Présentation des outils et des méthodes qui seront appliqués en travaux dirigés.

Analyse énergétique des systèmes ouverts, propriétés des substances pures, changement de phase, diagrammes de phases, rappels de combustion, introduction à l'air humide.

Présentation des principales applications : cycles à turbines à gaz, moteurs, cycles à turbine à vapeur, pompe à chaleur et production de froid.

2 ou 3 conférences industrielles sont organisées - pendant les CM - pour illustrer les notions vues en CM et en TD avec des cas concrets - les problématiques associées sont également présentées.

Travaux dirigés (20h)

Applications à des systèmes concrets : Centrale thermique, Cycle combiné gaz-vapeur, Conditionnement d'air, production de froid, ... Influence de paramètres de fonctionnement sur les performances énergétiques.

Travaux pratiques (numériques) - 3 séances de 3h + exposés

Simulation numérique de systèmes énergétiques et influence des paramètres opératoires sur leurs performances. Etude de quelques solutions d'optimisation.

- **Evaluation**

Exposé (30 min) - Présentation au choix d'une étude détaillée réalisée à partir des outils mis en place en TD et/ou en TP.

On évalue les développements faits au-delà des exercices traités en séance, la qualité des diapositives et de l'oral.

UE – Transfert et conversion d'énergie

Alexandre LABERGUE

EC – Transfert de chaleur et de masse

Alexandre LABERGUE

- **Objectifs**

De nombreux phénomènes naturels et process industriels mettent en jeux des transferts de chaleur et de masse au niveau d'interfaces qu'elles soient de nature solide/fluide mais aussi liquide/gazeux: transport de particules dans des fluides, évaporation de gouttes, refroidissement de parois chaudes, etc... Ainsi, l'objectif principal de l'EC vise à fournir les méthodes et les outils qui permettent de caractériser ces transferts interfaciaux. L'accent sera mis sur l'identification de flux et l'établissement de bilans d'énergie mais également sur l'analogie de la structure des équations bilans (équilibre des phénomènes diffusifs et convectifs) et donc sur l'analogie de la modélisation des flux de masse et de chaleur.

- **Compétences acquises**

Savoir caractériser des transferts de chaleur et de masse en présence d'interfaces du type solide/fluide ou liquide/gazeux en identifiant et modélisant les flux mis en jeux.

- **Prérequis**

Thermodynamique S5
Mécanique des fluides et applications S6
Initiation transferts thermique S7

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 8** **TP : 12**

CM: 5 séances de 2 heures durant lesquelles seront abordés les points suivants

Généralité et rappels fondamentaux: notion de bilan et de volume de contrôle, équations de l'énergie interne, couplage des couches limites dynamique et thermique,
Transferts de chaleur par convection: nombre de Nusselt, corrélations usuelles pour les cas de figure fréquents (plaque plane, conduite forcée)

Transferts de masse: description phénoménologiques et analogie avec transfert de chaleur, propriétés des mélanges, loi de Fick, équation bilan de conservation des espèces,

TD: 4 séances de 2 heures consacrées à la résolution d'exercices et problèmes concrets pour appliquer les notions vues en cours

TP: 3 séances de 4 heures. Les séances sont organisées sous forme de projet où les groupes d'étudiants aborderont en détails un des trois sujets proposés autour des transferts de chaleur en régime transitoire. L'originalité de ces projets est qu'elle permet aux étudiants d'étudier les problèmes sous les aspects expérimental, théorique et simulation numérique. Au terme de ce projet, il est demandé aux étudiants de présenter leur résultat au cours d'une présentation d'une quinzaine de minutes.

- **Evaluation**

Examen pour évaluer le niveau de connaissances en modélisation des transferts de chaleur et de masse interfaciaux.

Evaluation des connaissances acquises sur les transferts de chaleur en transitoire par un exposé oral reposant sur un des trois sujets proposés

UE – Transfert et conversion d'énergie

Labergue Alexandre

EC – Conversion d'énergie fluide

Caballina Ophélie

- **Objectifs**

De nombreux systèmes de conversion d'énergie sont des machines tournantes (turbines, éoliennes, compresseurs centrifuges). L'objectif est de présenter les principes d'action du fluide sur le rotor et de savoir les modéliser. La finalité est d'être capable de faire le lien entre la géométrie du rotor et une optimisation de la conversion d'énergie.

- **Compétences acquises**

- Modéliser des actions fluides sur une pale ou une aube d'un rotor d'une machine tournante
- Prédire les caractéristiques de fonctionnement et les optimiser par l'aérodynamique
- Dimensionner une machine tournante en respectant un cahier des charges

- **Prérequis**

UE Fondements de la Mécanique (S5), UE de Mécanique appliquée (S6), UE de Conversion d'énergie (S7)

- **Programme pédagogique** **CM : 6h00** **TD : 4h00** **TP : 00**

1. Prise en compte de la géométrie du rotor dans l'estimation de la puissance convertie
2. Application à l'éolienne : théorie de l'élément de pale (prise en compte de l'effet de rotation et de la géométrie de la pale)
3. Application à un compresseur centrifuge

- **Evaluation**

Les compétences sur le dimensionnement d'un rotor en tenant compte d'un cahier des charges seront évaluées par un mini-projet de groupe.

UE – Mécanique des fluides pour l'ingénieur

Louvet Nicolas

EC – Turbulence

Caballina Ophélie

• **Objectifs**

La turbulence est un domaine de la mécanique des fluides incontournable pour l'ingénieur souhaitant modéliser des écoulements industriels. Elle est à l'origine, entre autre, de l'intensification des transferts thermique et massique. Les bases physiques des écoulements turbulents seront présentées aux étudiants afin de leur permettre d'estimer les propriétés essentielles de ce type d'écoulements. Nous présenterons également les modèles de description statistique sur lesquels s'appuient de nombreux codes de simulation numérique utilisés dans l'industrie. L'objectif est de permettre aux élèves-ingénieurs d'arrêter des choix judicieux pour la modélisation des écoulements turbulents.

• **Compétences acquises**

- Connaître les mécanismes physiques d'un écoulement turbulent (échelles de turbulence, cascade énergétique)
- Analyser et modéliser un écoulement turbulent grâce à une description statistique
- Appréhender des problèmes concrets, établir des modèles et les valider.
- Identifier et modéliser certains mécanismes d'intensification.

• **Prérequis**

UE Fondements de la Mécanique (S5), UE de Mécanique appliquée (S6)

• **Programme pédagogique** **CM : 12h00** **TD : 8h00** **TP : 00**

Le programme détaillé envisagé est le suivant :

- Physique de la turbulence (échelle de la turbulence, cascade de Kolmogorov, dissipation turbulente)
- Description statistique de la turbulence (décomposition de Reynolds, équations moyennées de la turbulence)
- Modèles de fermeture du premier ordre (à 0, une ou deux équations)
- Couche limite turbulente

Nous nous attacherons dans les TD à illustrer les notions fondamentales sur des applications concrètes (écoulement de jet, couche de mélange, etc).

• **Evaluation**

Nous nous attacherons à évaluer la compréhension des mécanismes fondamentaux, la capacité à analyser et à modéliser un écoulement turbulent.

Cette évaluation se fera à la fois par la participation en TD et lors de l'évaluation finale (examen).

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – Mécanique des fluides pour l'ingénieur	Nicolas Louvet
EC – Aérodynamique	Antonio Pereira

- **Objectifs**

Cet EC présente et développe les notions fondamentales de mécanique des fluides en lien avec les écoulements autour d'objets solides.

- **Compétences acquises**

Calcul et analyse d'écoulements autour d'objets solides.
Calcul des forces exercées par un écoulement sur un objet.

- **Prérequis**

UE Fondements de la mécanique (S5) et UE Mécanique appliquée (S6).

- **Programme pédagogique** **CM : 12h** **TD : 08h** **TP : 00h**

Cet EC abordera les thèmes suivants :
notions d'aérodynamique ;
modèles d'écoulement ;
couche limite dynamique ;
écoulements potentiels et vorticité.

Des séances de travaux dirigés viendront compléter le cours ainsi que des séances de travaux pratiques de l'EC « Etude de cas ».

- **Evaluation**

Examen sur les notions vues en cours et sur l'analyse d'un cas pratique d'écoulement.

UE – Mécanique des fluides pour l'ingénieur

Louvet Nicolas

EC – Interactions Fluide - Structure

Louvet Nicolas

- **Objectifs**

L'objectif est de familiariser les étudiants aux mécanismes physiques qui couplent les mouvements simultanés des fluides et des solides. Nous baserons nos études sur l'analyse dimensionnelle qui permettra de faire ressortir les différentes natures de couplages. Les notions vues en cours permettront aux élèves ingénieurs d'appréhender des problématiques concrètes issues d'applications diverses : aéronautique, biomécanique, transport ou encore domaine de l'énergie (nucléaire, marine, éolienne...).

- **Compétences acquises**

- Connaître les notions de couplages entre la mécanique des fluides et la mécanique des structures.
- Identifier les mécanismes physiques couplés.
- Appréhender des problèmes concrets, établir des modèles et les valider.

- **Prérequis**

UE Fondements de la Mécanique (S5), UE de Mécanique appliquée (S6)

- **Programme pédagogique** **CM : 12h00** **TD : 8h00** **TP : 00**

Le programme envisagé devrait permettre de couvrir un large panel d'effets en interactions fluide - structure qui couplent les mouvements simultanés des fluides et des solides. Un effort particulier sera porté sur les couplages faibles permettant une immersion plus aisée dans cet enseignement. Le programme détaillé est le suivant :

- Rappels des équations de la mécanique des fluides, des solides et des conditions aux limites.
- Analyse dimensionnelle des équations et mise en évidence paramètres de couplage (TD).
- Couplage faible dominé par le solide : masse ajoutée, raideur ajoutée, ballonnement (TD).
- Couplage faible dominé par le fluide : aéroélasticité, instabilité statique et dynamique d'une aile (TD).
- Couplage pseudo-statique : flottement, gallop (TD)
- introduction au couplage fort : effet de la turbulence, sillage.

Les TDs porteront sur la mise en pratique du cours sur des cas concrets.

- **Evaluation**

L'évaluation consistera en un examen écrit final.

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – Mécanique des fluides pour l'ingénieur	Louvet Nicolas
EC – Etude de cas	Louvet Nicolas

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est de confronter les élèves ingénieurs aux problématiques des EC du bloc par des approches expérimentales et numériques. Pour chaque thème, deux TP (un numérique, un expérimental) seront proposés. Un des points importants est de permettre une confrontation poussée entre les concepts vus en cours, les données expérimentales et numériques. Il s'agira également d'approfondir les méthodes numériques et expérimentales associées à la mécanique des fluides.

- **Compétences acquises**

- acquisition de données.
- modélisation et comparaison expériences / modèles,
- restitution orale et écrite.
- Approfondissement des méthodes numériques.
- Approfondissement des méthodes expérimentales.

- **Prérequis**

UE Fondements de la Mécanique (S5), UE de Mécanique appliquée (S6)

- **Programme pédagogique** **CM : 2h00** **TD : 00** **TP : 20h00**

L'EC comporte une conférence de deux heures d'un industriel dans un des domaines de l'EC. Les heures restantes (18h00) permettront de réaliser le programme suivant permettant la mise en pratique des concepts vus dans les EC du bloc :

- 1) Aérodynamique incompressible :
 - Simulation d'écoulement autour d'un profil d'aile. Calcul des coefficients aérodynamiques. (3h00).
 - Essais en soufflerie sur une aile d'avion et mesure des coefficients aérodynamiques (3h00).
- 2) Turbulence :
 - Description statistique d'un jet plan turbulent (3h00)
 - Caractérisation expérimentale d'un jet plan turbulent (3h00).
- 3) Interaction fluide - structure :
 - Simulation numérique d'un problème d'aéroélasticité (3h00).
 - Caractérisation expérimentale d'instabilité aéroélastique en soufflerie (3h00).
- 4) Conférence industrielle sur un thème du bloc (2h00)

- **Evaluation**

L'évaluation consiste en la rédaction de compte-rendus de séances. Les étudiants seront également évalués sur leur capacité d'analyse en cours de séance.

UE – Ecoconception pour l'énergie et la mobilité	Bordron Matthias
EC – Conception Assistée par ordinateur (CAO)	Bordron Matthias

- **Objectifs**

Transmettre aux étudiants les concepts de base de la conception mécanique et les rendre familiers des outils numériques de la conception au travers du logiciel CATIA.
 Présentation des règles de base en conception et des bons réflexes en CAO.
 Lier la conception et le moyen de production afin de rattacher la conception à une réalité physique pleine de contraintes.
 Utiliser l'outil numérique CATIA, tout d'abord de manière guidée, puis en autonomie sous forme d'un mini-projet.
 Conception de pièces mécaniques simples et complexes, assemblage de pièces.

- **Compétences acquises**

Concevoir une pièce, un assemblage de pièce en 3D sur un outil de conception assistée par ordinateur.
 Concevoir une pièce à partir d'un schéma, d'un plan 2D et/ou d'un cahier des charges.
 Prendre en compte les contraintes de production/réalisation de ces pièces dans leur conception.
 Intégrer le principe d'éco-conception à la conception de pièces.
 Travailler en collaboration sur la conception d'un système.

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique CM : 00 TD : 00 TP : 20**

TP1 (4h) : Lecture/réalisation d'un plan 2D, présentation de l'outil CATIA et première prise en main.
 Conception d'une pièce à partir d'un plan.

TP2 (4h) : Conception d'une pièce à partir d'un cahier des charges. Respect des bonnes habitudes de conception et utilisation d'un squelette.

TP3 (4h) : Conception d'une pièce usinée à partir d'un brut. Conception flexible et assemblage. Exploitation d'un squelette externe. Paramétrage et catalogue.

TP4 (4h) : Assemblage flexible d'un moteur 4 cylindres et animation du moteur.

TP5 (4h) : Projet collaboratif en groupe sur un système au choix, en respectant les règles de conception apprises durant les autres TP.

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – Ecoconception pour l'énergie et la mobilité	Matthias Bordron
EC – Eco-conception : matériaux, coûts et cycle de vie	Julien BOISSE

- **Objectifs**

Ce module a pour objectif de présenter aux élèves les enjeux historiques et actuels concernant la production, l'utilisation et le recyclage intelligent des matériaux concernant l'extraction, la production, l'acheminement, l'utilisation et le recyclage intelligent des matériaux impliqués dans les systèmes et procédés récents
L'approche « cycle de vie » sur plusieurs exemples de matériaux et produit pourra être abordée au travers de plusieurs points de vue : Leurs performances techniques, Leur coût économique, Leur coût environnemental, Leur coût sociétal ; et de différents secteurs : Energie, TIC, Bâtiment / construction, transport, transformation

- **Compétences acquises**

Calculer un Indice de performance ; Savoir comment effectuer un choix de matériaux pour un produit donné ou un sous-système assurant une fonction dans un système plus complexe, Savoir sélectionner une solution technologique faisant le compromis de plusieurs exigences contradictoires ; Appréhender le Bilan environnemental (ex. bilan carbone) d'un produit / sous-produit ; Aborder la Criticité des matières premières, et certains indicateurs géopolitiques ; Concevoir un produit en mettant l'accent sur sa durée de vie en son vieillissement en sélectionnant des pièces d'usure de façon éclairée

- **Prérequis**

Propriétés de base des matériaux (Tronc Commun : matériaux pour l'énergie)
Critères de dimensionnement et étude des contraintes (Tronc Commun)

- **Programme pédagogique** **CM : 14h** **TD : 6h** **TP : 00**

1/ Présentation générale des enjeux de l'écoconception
Exemples parlants / efficaces de produits Eco-conçus ; Exemples pièges : effets rebond, cout environnemental des transports non pris en compte etc. ; Exemples "faut faire le calcul" : bénéfices de performances et environnementaux pas clairs au premier coup d'œil, compromis difficiles.

2/ Introduction sur le calcul d'un indice de performance dans le cadre du choix des matériaux ; diagrammes d'Ashby
I - Étudier l'information autour d'un nouveau produit ; II - Définir les caractéristiques/exigences de conception d'un produit ; III - Faire le choix des matériaux viables ; IV - Évaluer les procédés possibles

3/ Situation et tendances des matières premières
Etat des lieux des prélèvements, des tendances sous l'aspect géologique : disponibilité ; Épuisement des ressources naturelles ; Les matériaux « critiques » ; L'exemple des métaux : mines de minerais métallifères, recyclage des métaux, dépenses énergétiques d'extraction et d'affinage

4/ Approfondissement sur un ou plusieurs secteurs
Introduction aux indicateurs, unités servant de mesure commune aux divers impacts dans différents secteurs à l'échelle mondiale ; Présentation de différents type d'effets rebonds (historiques et actuels) ; Les Organismes d'observation et points de vue d'actualité (En séance TD/ échange)

CM1 : Cours d'ouverture; CM2 : composites ; CM3 : matériaux de construction ; CM4 : alliages métalliques ; CM5 : plastiques ; CM6 : biomasse ; CM7 : céramique/verre

- **Evaluation**

Les étudiants seront évalués sur la présentation d'un cas d'étude de leur choix, qu'ils auront étudié sous forme de projet pendant les séances de TD. Ils devront mettre l'accent sur certains aspect du cycle de vie d'un produit : Sélection des pièces d'usure ; Calcul de durée de vie ; Fiabilité des systèmes mécaniques ; Tenue à la corrosion ; Protection et traitement de surface des matériaux

UE – Ecoconception pour l'énergie et la mobilité	Bordron Matthias
EC – Technologie et procédés	Bordron Matthias

- **Objectifs**

Fournir aux étudiants une base culturelle sur des solutions techniques et des procédés de mise en forme essentiels dans le processus de réflexion de la conception d'un système.
 Amener les étudiants à choisir un procédé ou une solution technique.
 S'exercer sur le dimensionnement de solutions techniques en contexte.

- **Compétences acquises**

Reconnaitre ou choisir un procédé pour une situation donnée, parmi les procédés de mise en forme des matériaux (par fusion, par enlèvement ou par déformation de la matière).
 Comparer des procédés de mise en forme pour une même situation.
 Reconnaitre/identifier différentes solutions techniques des mécanismes.
 Dimensionner une solution technique de transmission d'un mouvement.

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique CM : 10 TD : 02 TP : 08**

CM1 (2h) : Vocabulaire technique et pièces de transmission. Introduction à la production de pièces. Les procédés de mise en forme par déformation de matière.

CM2 (2h) : Les procédés de mise en forme par enlèvement et fusion de la matière.

CM3 (2h) : Les procédés de traitement de la matière.

CM4 (2h) : Amélioration des procédés existants et procédés récents.

TD (2h) : Coût de l'usinage d'une pièce, étude de rentabilité.

BE1 (4h) : Réducteur à 2 étages. Retro-engineering, dimensionnement d'arbre, de clavette, de dents.

BE2 (4h) : Attelage de véhicule agricole. Dimensionnement d'une transmission par cardans et cannelure. Etude et ajout d'un étage de réduction pour la prise de force du véhicule.

B8 - Eco-conception pour l'énergie et la mobilité

M. BORDRON

EC4 – Etude de cas de dimensionnement**JF SCHMITT**

- **Objectifs**

Ce module est dédié à la mise en pratique des connaissances théoriques acquises à travers l'étude d'un problème de mécanique des solides, en imaginant et en développant plusieurs approches expérimentales, théoriques et numériques. Il s'agit d'établir un plan de travail et d'imaginer le protocole expérimental en utilisant les outils de métrologies des solides. L'ensemble du plateau technique du département et les ressources numériques nécessaires sont mis à la disposition des étudiants.

- **Compétences acquises**

A l'issue de ce module, les élèves auront appris à mener à bien une étude de cas par groupe à partir d'un plan de travail clairement établi en s'efforçant de confronter l'expérimentation à la modélisation.

- **Prérequis**

Cours de mécanique des solides et des structures des semestres S5, S6 et S7.

- **Programme pédagogique** **CM : 02** **TD : 00** **TP : 18**

Etude de cas se déroulant sur 4 séances de 4 heures. Le travail est mené en binôme ou trinôme et donne lieu à une présentation orale, suivie de questions et discussions. L'évaluation prend en compte le travail réalisé au cours des séances et la présentation finale.

UE – Sûreté et Cybersécurité	N. Brinzei
EC – Cryptographie, Cyber-sécurité des systèmes industriels	A. Lahmadi/ J. Daafouz

- **Objectifs**

Les systèmes industriels sont devenus une cible privilégiée des cyber attaques à cause de leur criticité et dans plusieurs situations, ces systèmes ne sont pas suffisamment protégés contre des attaques informatiques.

Dans cet EC, nous identifions les risques en termes d'attaque cyber d'un système industriel en vue d'identifier et de mettre en place des barrières de protection en utilisant les méthodes cryptographique et les outils de la cyber-sécurité (détection et défense).

- **Compétences acquises**

- Appliquer un système cryptographique pour protéger des données et de l'information
- Analyser les risques des attaques cyber sur une système industriel
- Mettre en œuvre des barrières de défense (périmériques et en profondeur)

- **Prérequis**

Programmation Python, Réseaux de communication, réseaux de capteurs/IoT

- **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 4** **TP : 8**

Cours :

- Système cryptographique : chiffrement symétrique, asymétrique, et fonctions de hachage
- Analyse du risque cyber dans les systèmes industriels (norme IEC 62443) : attaques et menace
- Système de protection : détection d'intrusion, pare-feu (firewall)

Travaux dirigés :

- Etude des systèmes cryptographique

Travaux pratiques :

- Mise en situation avec un cas applicatif industriel (plate-forme valise Cyber de l'ENSEM) pour identifier et réparer les attaques sur la commande d'un système industriel (SCADA et automates de commande)

- **Evaluation**

- Savoir appliquer et choisir un système cryptographique pour protéger des données et de l'information
- Savoir analyser et identifier les risques d'attaques cyber et mettre en œuvre les barrières de défense dans un cas applicatif industriel.

Modalités d'évaluation : 50% examen écrit + 50% notes travaux pratiques

Sûreté et Cybersécurité

Nicolae Brinzei

Systemes Distribués, Services web et Blockchain

Vincent Chevrier

- **Objectifs**

Ce cours propose une vision système/globale d'une architecture numérique à partir de composants embarqués ou capteurs, de moyens de transmission d'information via un réseau.
Ce cours aborde les concepts fondamentaux relatifs des systèmes distribués (exclusion, synchronisation, coordination) et différentes solutions (technologique ou conceptuelle) à ceux-ci. Les applications en TP portent sur la construction d'une chaîne complète de traitement de l'information par un système distribué basé sur les technologies web services et blockchains : acquisition, transmission, stockage et analyse.

- **Compétences acquises**

Identifier les grandes classe des algorithmes des systèmes distribués
Mettre en œuvre les solutions et les algorithmes dans un cadre intégratif

- **Prérequis**

Algorithmique et programmation, Architecture de machines, réseau de capteur/IoT, système embarqué

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 00** **TP : 12**

Cours (8h= 4x 2)
Énoncé des problèmes (exclusion, synchronisation du temps, système distribué)
Outils pour les systèmes distribués (sémaphore, moniteur,..)
Technologies de Blockchain (structures et composants, mécanisme de consensus)
Services web

TP intégratif : 12 (4 séances) H

Thème : Faire une chaîne d'acquisition d'information à partir de capteur, transmission, stockage, puis analyse.

L'objectif est de réaliser une application distribuée de surveillance d'un système électrique. L'application permet d'accéder à un système physique pour récupérer des données, de répartir et partager des tâches de calcul entre plusieurs participants, de synthétiser ces calculs et finalement publier les valeurs moyennes de grandeur mesurées dans un blockchain sous forme "sécurisé et traçable".

Nous disposons d'un système électrique avec plusieurs charges sur lequel il faut effectuer des mesures, et les mettre à disposition via un service web.

Séquencement

TP 1: préparation et partage des calculs dans une architecture maître-esclaves.

TP 2 : accès au système électrique pour collecter les données,

TP 3 : mise en oeuvre d'un web service

TP4 : publication de données dans un Blockchain simplifié

Mots-clés :

Architecture distribuée, blockchain, service web, chaîne d'acquisition numérique

Evaluation: contrôle continu à l'issue de chaque séance de TP

B6 – Contrôle, surveillance, sûreté

N. Brinzei

EC3 – Systèmes à Evénements Discrets

J.F Pétin

- **Objectifs**

Le comportement dynamique des systèmes (SED) à événements discrets se caractérise par variables d'états discrètes et des évolutions provoquées par des stimuli externes. Ils sont donc présents dans de nombreuses applications industrielles telles que les systèmes de transport, les systèmes de production, les systèmes informatiques, les systèmes de communication, ... Cet EC donne les bases scientifiques pour la modélisation et l'analyse des SED.

- **Compétences acquises**

À l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables :

- de modéliser tout système se caractérisant par un comportant de type SED,
- d'analyser ses propriétés, notamment celles ayant trait à la sûreté ou à la vivacité
- de concevoir la commande d'un SED et d'analyser ses performances

- **Prérequis**

Cet EC vient en complément des fondements théoriques acquis en tronc commun ENSEM de 1A (Algèbre de Boole, Théorie des Langages, Automates à états finis).

- **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 4** **TP : 8**

- Réseaux de Petri Généralisés : syntaxe et sémantique, analyse de propriétés (vivacité, blocage, invariants de marquage et de franchissement), graphe des marquages, arbre et graphe de couverture,
- RdP colorés
- Réseaux de Petri non-autonomes : RdP temporisés (formalisme, régime stationnaire, fréquence moyenne de franchissement, marquage moyen), Réseaux de Petri interprétés
- Evaluation des performances des SED modélisés par des réseaux de Petri colorés (RdPC) - logiciel CPN Tools.

- **Evaluation**

- Ecrit (connaissances théoriques sur l'analyse des RdP et compétences en modélisation des SED)
- Mise en situation au travers de la modélisation et de l'analyse d'un cas d'étude (soutenance orale du travail réalisé en TP).

Sûreté et Cybersécurité	Nicolae Brinzei
Sûreté de fonctionnement	Nicolae Brinzei

- **Objectifs**

Les systèmes utilisés dans les domaines de l'énergie et des mobilités (systèmes de production et de transport de l'énergie électrique, de stockage de l'énergie sous ses différentes formes, les systèmes de transports) doivent répondre à des exigences de fiabilité et/ou disponibilité afin d'être sûrs dans leur fonctionnement. Cet EC introduit les concepts fondamentaux de la Sûreté de Fonctionnement (SdF) et montre à tout ingénieur que la défaillance d'un système n'est pas une fatalité et qu'il est possible de déterminer les causes de défaillances, d'en évaluer leur impact sur les performances. L'EC aborde la modélisation et l'analyse de la SdF des systèmes à l'aide des différents formalismes en soulignant leur complémentarité.

- **Compétences acquises**

A l'issue de cet EC, les élèves seront capables :

- d'analyser du point de vue dysfonctionnel un système
- d'évaluer la fiabilité des composants
- de modéliser des systèmes afin d'évaluer de manière probabiliste leur sûreté de fonctionnement

- **Prérequis**

- connaissance des systèmes physiques mécaniques, électriques, automatisés et de leurs principes de fonctionnement, tels qu'ils sont enseignés dans les EC de tronc commun de 1ère et 2ème années
- EC « Modélisation des Systèmes à Evénements Discrets (SED) », 1ère année, S5
- EC « Probabilités et statistiques », 1ère année, S6

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 4** **TP : 6**

Cours magistraux (5CM*2h) :

- Concepts et définitions : fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité (RAMS), MTTF, MTBF, MTTR
- Fiabilité de composants
- Approches combinatoires pour la modélisation et l'évaluation de la SdF des systèmes :
 - bloc-diagrammes de fiabilité (RBD)
 - arbres des défaillances (AdD)
- Approches états-transitions pour la modélisation et l'évaluation de la SdF des systèmes :
 - chaînes de Markov (CdM) : modèles de fiabilité, de disponibilité ou de maintenabilité, distribution des probabilités d'état, évaluation des indicateurs de SdF

Travaux dirigés (2TD*2h) :

- modélisation et analyse des systèmes non-réparables par RBD et AdD
- modélisation et analyse des systèmes réparables par CdM

Travaux pratiques (2TP*3h) :

- évaluation probabiliste des systèmes non-réparables par RBD et AdD (logiciel Grif)
- évaluation probabiliste des systèmes réparables/reconfigurables par CdM (logiciel Grif)

UE – Signaux, Données et Internet des objets	Ye-Qiong SONG
EC – Traitement du signal et transmission de données	Didier WOLF

- **Objectifs**

Les télécommunications numériques sont en expansion croissante et les moyens technologiques toujours plus performants pour rendre les services attendus. Cet enseignement vise à décrire les techniques de transmission de l'information (en particulier celles qui font appel à la modulation numérique), de quantification et codage de l'information, et les méthodes de compression.

- **Compétences acquises**

- Codage et compression de l'information des signaux avec et sans perte.
- Principes de la chaîne de transmission en bande base et par porteuse transposée

- **Prérequis**

Cours de traitement du signal de l'ENSEM

- **Programme pédagogique CM : 16 TD : 6 TP : 8**

Cours

1. Théorie de l'information au sens de Shannon
2. Codage source et canal
3. Notions de codes à détection et correction d'erreur
4. Principe des algorithmes de compression : application aux images
5. Retour sur les outils mathématiques sous-jacents : DCT, ondelettes
6. Notion de quantification
7. Modélisation de la transmission de données en bande de base et bande transposée
8. Modulation numérique à porteuse unique :ASK, FSK, PSK, en quadrature à M états MQAM, à grand nombre de porteuses OFDM
9. Modélisation de partage du canal : FDMA, TDMA, CDMA
10. Structure générale d'un dispositif de communication numérique : applications 5G, WIFI, TNT

Travaux dirigés

1. Calcul d'entropie, codage, algorithmes de Shannon-Fano et Huffman
2. Compression : JPEG et JPEG 2000 (sur machine)

Travaux Pratiques

1. Transmission en bande base, filtrage

Mots-clés : Techniques de modulation, théorie de l'information, compression des signaux.

UE – Signaux, Données et Internet des objets	Ye-Qiong SONG
EC – Bases de données	Ye-Qiong SONG

- **Objectifs**

L'internet des objets génère de plus en plus de données dont le stockage et l'exploitation nécessitent d'un système de gestion efficace. Ce cours couvre la conception et l'exploitation des bases de données relationnelles, ainsi que l'interrogation par SQL via les interfaces dédiées ou des connecteurs avec d'autres langages informatiques pour une exploitation plus flexible (e.g. Python). Il introduit aussi l'utilisation des documents structurés en XML. Enfin il donne une ouverture vers les bases de données noSQL pour la gestion de Big Data.

- **Compétences acquises**

- Capable de concevoir, mettre en place et exploiter une base de données relationnelle (SQL)
- Maîtrise des techniques d'interfaçage entre une base de données et un langage de haut niveau
- Connaissance en format XML
- Connaissance en bases de données NoSQL et Big Data

- **Prérequis**

Algorithmique et programmation (Python)

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 8** **TP : 12**

Cours:

1. Introduction aux Systèmes d'informations d'entreprises, Données, Bases de données et Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD).
2. Le modèle Entité/Association : Entités, attributs et identifiants. Associations binaires. Associations généralisées. Description UML.
3. Le modèle relationnel : Définition d'un schéma relationnel. Passage d'un schéma E/A à un schéma relationnel.
4. L'algèbre relationnelle : Les opérateurs de l'algèbre relationnelle. Expression de requêtes avec l'algèbre.
5. Le langage SQL : Requêtes simples, requêtes sur plusieurs tables, requêtes imbriquées. Agrégation. Mise à jour.
6. Interfaçage avec les langages de haut niveau via connecteurs (e.g., Python).
7. XML et applications Web
8. Big Data et Bases de données NoSQL (e.g. MongoDB)

Travaux dirigés:

1. Modèle conceptuel de données (MCD), Modèle logique de données (MLD) et Algèbre relationnelle
2. Requêtes SQL
3. XML
4. NoSQL

Travaux Pratiques:

1. Conception, mise en œuvre et interrogation d'une base de donnée MySQL
2. Interrogation d'une base de données MySQL via le connecteur Python
3. Mise en œuvre de données XML: structurer, parser et présenter des documents
4. Bases de données NoSQL (MongoDB)

Mots-clés : Base de données, modèle Entité/association, modèle relationnel, SQL, XML, big data, NoSQL.

UE – Signaux, Données et Internet des objets

Y.Q. Song

EC – Mise en œuvre d'une application d'Internet des objets

A. Lahmadi

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'acquies des compétences par la pratique au travers de la mise en œuvre d'une solution complète de type « collecte-transmission-stockage-exploitation » des données de télémétrie en utilisant les techniques de l'Internet des objets et les réseaux de de communication informatique appliquées à un système énergétique.

- **Compétences acquises**

- Intégrer une solution technique de collecte-transmission-stockage-exploitation des données de télémétrie
- Modéliser et structurer des données de télémétrie
- Exposer et exploiter les données collectées pour dériver des indicateurs

- **Prérequis**

Algorithmique et programmation (1A), Traitement du signal (2A), Réseaux de capteurs (2A)

- **Programme pédagogique** **CM : 2** **TD : 00** **TP : 18**

Cet EC est réalisé sous forme d'un bureau d'étude pour construire d'une manière incrémentale et intégrative la solution envisagée sur un cas d'étude choisi par les étudiants (microgrid, Internet des énergies, bâtiment intelligent, véhicule connecté) :

- Acquisition de données via des capteurs et leurs protocoles associés (Zigbee, WiFi, LoRa)
- Compression et protection des données
- Transmission de données par un réseau de capteurs sans fil
- Structuration et stockage de données dans une base de données (SQL/NoSQL)
- Distribution de données (e.g. MQTT)
- Analyse et pré-traitement des données/signaux

- **Evaluation**

- Savoir développer et intégrer dans un système une application de télémétrie basée sur les technologies de l'Internet des objets

Modalités d'évaluation : compte rendu et soutenances des projets réalisés

UE – Stabilité, Contrôle et Intégration numérique	J. Daafouz
EC – Commande numérique	J. Daafouz

- **Objectifs**

La prolifération des dispositifs de calcul embarqué a joué un rôle décisif dans la généralisation de l'implémentation numérique des systèmes de contrôle au niveau industriel et scientifique. L'objectif de ce cours est d'introduire les notions de base permettant l'analyse et la conception de lois de commande numériques. Une attention particulière sera accordée à la prise en compte des données échantillonnées et à l'analyse de phénomènes spécifiques à la commande numérique. Les applications en TD/TP mettent l'accent sur les problèmes pratiques d'interfaces numérique / analogique et d'asservissement numérique.

- **Compétences acquises**

Maîtriser les notions de base de la régulation numérique. Comprendre les phénomènes spécifiques à la commande numérique. Savoir concevoir une régulation numérique et analyser ses performances.

- **Prérequis**

Cours d'automatique de première année, notions de base de traitement du signal (échantillonnage, transformée en z) et mathématiques, en particulier l'algèbre linéaire.

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 10** **TP : 0**

Introduction à la commande numérique
Conversion analogique numérique et numérique analogique

Approche fréquentielle :

Fonction de transfert en z
Analyse de stabilité
Discretisation de correcteurs analogiques
Synthèse de correcteurs numériques

Approche espace d'état :

Discretisation exacte.
Stabilité, contrôlabilité, observabilité.
Synthèse de lois de commande par retour d'état.

Phénomènes spécifiques à la commande numérique
Effet de la période d'échantillonnage sur les propriétés structurelles
Quantification, Filtre anti-repliement

Références :

K. J. Astrom, B. Wittenmark, Computer-Controlled Systems: Theory and Design, Prentice Hall.
Katsuhiko Ogata, Discrete-time control systems, Prentice Hall.

UE – Contrôle, surveillance, sûreté	P. Riedinger
EC – Stabilité et stabilisation des systèmes	R. Postoyan

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est de fournir les compétences pour analyser la stabilité de systèmes dynamiques, propriété fondamentale de l'automatique, qui assure la convergence des variables du système vers des valeurs désirées tout en garantissant la robustesse. Sont également présentées des méthodes de synthèse de lois de commande.

- **Compétences acquises**

Analyse de stabilité
Synthèse de contrôleurs
Théorie de Lyapunov
Simulations sous Matlab-Simulink

- **Prérequis**

Mathématiques du niveau 1^{er} cycle scientifique ou classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques. Cours d'automatique de première année.

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 4** **TP : 4**

Introduction
Représentation des systèmes dynamiques
Stabilité et analyse
Stabilisation
TP : Commande distribuée d'une flotte de voitures autonomes sous Matlab-Simulink

UE – Stabilité, Contrôle et Intégration numérique

J. Daafouz

EC – Intégration numérique avec microcontrôleurs

A. Lahmadi

• **Objectifs**

Les infrastructures industrielles emploient massivement des systèmes contraints par le temps pour contrôler et commander leurs procédés associés. Ces systèmes sont basés sur des applications embarquées et temps réel pour réaliser leurs opérations de contrôle et commande. L'objectif de cet EC est d'identifier et de mettre en œuvre des solutions techniques basées sur les microcontrôleurs pour développer ses applications.

• **Compétences acquises**

- Identifier les contraintes temporelles d'une application et modéliser l'ordonnancement de ses tâches
- Mettre en œuvre et intégrer une application temps réel et embarquée sur une cible matérielle

• **Prérequis**

Algorithmes et programmation (1A)

• **Programme pédagogique** **CM : 8** **TD : 00** **TP : 12**

Cours (8h)

- Introduction à la programmation C
- Systèmes temps réel et algorithmes d'ordonnancement
- Interruptions, gestions des entrées/sorties, les signaux PWM et les timers
- Exécutifs temps réel : FreeRTOS, Xenomai

Travaux pratiques (12h)

- Programmation C sur des microcontrôleurs
- Analyse par simulation de l'ordonnancement des tâches d'une application temps réel
- Intégration et mise en œuvre d'une application sur cible matérielle (Arduino, FreeRTOS)

• **Evaluation**

- Savoir étudier et analyser les contraintes temporelles d'une application temps réel
- Savoir mettre en œuvre et intégrer une application temps réel

Modalités d'évaluation : Notes de travaux pratiques (50 %), Examen écrit sur table (50%)

UE – Stabilité, Contrôle et Intégration numérique	J. Daafouz
EC – Systèmes Interconnectés et Smart-Grids	J. Daafouz

- **Objectifs**

Les systèmes dynamiques interconnectés comme les smart-grids ou les systèmes multi-agents qu'ils soient sociaux ou techniques posent des défis de contrôle et d'optimisation liés à leur nature couplée, distribuée et grande échelle associée à des capacités limitées de communication et de calcul. L'objectif de ce cours est de sensibiliser les futurs ingénieurs aux problèmes de contrôle et d'optimisation des systèmes dynamiques interconnectés dans le cadre d'une application aux smart-grids.

- **Compétences acquises**

Modélisation, analyse et contrôle des systèmes dynamiques interconnectés.

- **Prérequis**

Les notions de bases en automatique, optimisation, circuits électriques et électronique de puissance.

- **Programme pédagogique** **CM : 4** **TD : 4** **TP : 12**

Introduction
Modélisation des systèmes interconnectés et des systèmes multi-agents
Stabilité des systèmes interconnectés
Synthèse de lois de contrôle distribués

TP : Application des algorithmes de consensus au pilotage des microgrids DC et optimisation de charge de véhicules électriques.

Références:
F. Bullo. Lectures on Network Systems, Kindle Direct Publishing, 2022.

UE – Intelligence Artificielle, Analyse de Données et Méthodes d'Apprentissage	Steven Le Cam
EC – Introduction à la reconnaissance de formes	Radu Ranta

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est d'introduire les techniques de base en analyse de données multivariées et reconnaissance de formes. Après avoir introduit les notions de d'individu et de caractéristiques, la première partie présente des méthodes permettant de représenter des données multidimensionnelles dans des espaces de dimensions réduites (Analyse en Composantes Principales). La deuxième partie du module introduira la théorie de la décision, et des méthodes de classification supervisées ou non-supervisées basées sur une modélisation probabiliste des données seront présentées.

- **Compétences acquises**

- Capacité à analyser et interpréter des données de grande dimension.
- Savoir-faire sur la mise en œuvre d'algorithmes de classification en présence ou en l'absence de données labellisées.

- **Prérequis**

- Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A :
- Notions de base d'algèbre linéaire (calcul matriciel , espace propre, projection) (S5)
 - Notions de base d'optimisation (S6)
 - Éléments de base de probabilité et de statistiques (S5)

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 10** **TP : 00**

- Cours magistraux
- Introduction à l'analyse en composantes principales pour la représentation de données. Variables et individus, cercles de corrélation.
 - Classification non-supervisée 1. Distances et méthodes d'agrégation, dendrogramme, coefficient d'inconsistance. Algorithme des k-moyennes.
 - Théorie de la décision, Analyse discriminante linéaire et quadratique.
 - Classification supervisée. Estimation de densités de probabilité non paramétrées et paramétrées.
 - Classification non-supervisée 2. Mélange de Gaussiennes, retour sur les k-moyennes.

Travaux dirigés sur machine informatique à l'aide de Matlab

- Mini-projet de 10 heures. L'objectif est de prendre en main un jeu de données réaliste et d'appliquer les différentes approches présentées, ainsi que de préparer l'EC4 de ce bloc de compétences (Bureau d'études).

- **Evaluation**

Evaluation sur compte-rendu

Intelligence artificielle, Analyse de données et Méthodes d'apprentissage	Steven Le Cam
EC – Méthodes à noyau : séparateurs à vaste marge et régression	Didier Maquin

- **Objectifs**

L'EC est consacré à la présentation des méthodes à noyaux. Celles-ci permettent de convertir la plupart des méthodes d'apprentissage linéaires en méthodes adaptées à la recherche de régularités non linéaires en conservant en grande partie les avantages des méthodes linéaires : facilité de mise en œuvre et bons fondements théoriques. Un focus particulier sera effectué à travers la méthode de classification SVM (Support Vector Machine) qui est l'une des plus utilisée.

- **Compétences acquises**

- Capacité à manipuler de vastes ensembles de données et en extraire une information pertinente
- Maîtrise de l'implémentation des techniques de base
- Maîtrise du paramétrage et de l'utilisation d'un sous-ensemble de fonctions d'analyse de données de la boîte à outils «Statistics and Machine Learning » de Matlab®

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A :
- Notions de base d'algèbre linéaire (calcul matriciel , espace propre, projection) (S5)
- Notions de base d'optimisation (S6)
- Éléments de base de probabilité et de statistiques (S7)

- **Programme pédagogique CM : 12 TD : 8 TP : 0**

Cours magistraux
- Présentation de la méthode SVM dans le cas de données séparables linéairement
- Introduction des variables ressorts pour traiter le cas de données non séparables linéairement
- Notion de noyau et propriétés afférentes
- Transposition du cas linéaire au cas non linéaire par l' « astuce du noyau »
- Rappels sur la régression linéaire et la régression ridge
- Utilisation des noyaux en régression
- Réglage des hyperparamètres et limite des méthodes

Travaux dirigés sur machine informatique à l'aide de Matlab
- Programmation complète de la méthode dans le cas linéaire (en s'appuyant cependant sur la boîte à outils « Optimization » de Matlab® – application à des exemples jouets
- Programmation des SVM à noyaux avec fonctions Matlab partiellement fournies
- Analyse et mise en œuvre de certaines fonctions Matlab® de la boîte à outils « Statistics and Machine Learning »

UE – Intelligence artificielle, Analyse de données et Méthodes d'apprentissage	Steven LE CAM
EC – Réseaux de neurones	Maya KALLAS

- **Objectifs**

Cet EC est une introduction aux réseaux de neurones. Après avoir introduit la similitude avec les neurones biologiques, une présentation du perceptron est faite pour une sortie binaire simple. Une extension pour des cas plus compliqués est présentée avec le perceptron multi-couches (Multi-Layer Perceptron MLP). Dans un second temps, le réseau de neurones convolutif utilisé pour la classification des images est introduit. Pour le contexte non supervisé, on introduit les autoencodeurs et les cartes de Kohonen. Ces réseaux de neurones peuvent être utilisés pour la classification, la reconnaissance de formes, l'extraction de caractéristiques....

- Capacité à manipuler des algorithmes ainsi qu'à les paramétrer correctement

- **Compétences acquises**

- Capacité à manipuler des algorithmes ainsi qu'à les paramétrer correctement
 - Capacité à classifier des données de grande dimension.
 - Capacité à distinguer et à différencier les différents types de réseaux de neurones et à les utiliser dans les cas d'apprentissage supervisé et non supervisé

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A :

- Notions de base d'algèbre linéaire (calcul matriciel , espace propre, projection) (S5)
 - Notions de base d'optimisation (S6)
 - Éléments de base de probabilité et de statistiques (S7)

- **Programme pédagogique CM : 8 TD : 8 TP : 00**

Cours magistraux

- Introduction au perceptron, et extension au perceptron multi-couches avec la mise en œuvre de l'algorithme de la rétro propagation
 - Introduction au réseau de neurones convolutifs utilisé dans le cas de traitement d'images
 - Classification non supervisée : introduction des autoencodeurs avec les deux parties : codeurs et décodeurs avec les algorithmes nécessaires pour créer la suite codeurs-décodeurs
 - Introduction de la carte de Kohonen utilisée pour produire une faible dimension pour la représentation discrétisée de l'espace d'entrée des échantillons d'apprentissage

Travaux dirigés sur machine informatique

- Mini-projet de 8 heures. L'objectif est de prendre en main des jeux de données réalistes et d'appliquer les différentes approches présentées, ainsi que de préparer l'EC4 de ce bloc de compétences (Bureau d'études).

- **Evaluation**

Compte rendu détaillé sur les différents travaux dirigés réalisés avec une analyse sur les résultats.

UE – Intelligence Artificielle, Analyse de Données et Méthodes d'Apprentissage

Steven Le Cam

EC – Bureau d'étude

Steven Le Cam

- **Objectifs**

L'objectif de ce bureau d'études est d'appliquer, évaluer et comparer les différentes techniques d'analyse de données présentées dans ce bloc de compétences. L'application visée est la détection de piétons dans des images, problématique actuelle du véhicule autonome. Une base de données d'images mise à disposition par l'INRIA est exploitée, et contient des images avec présence et absence de piétons pour l'apprentissage et le test des modèles vus en cours.

- **Compétences acquises**

- Capacité de formaliser et traiter un problème sur données réelles, de l'extraction de caractéristiques à la classification
- Capacité d'évaluer différentes méthodes de traitement, de choisir et d'argumenter son choix
- Capacité de prototyper une chaîne de traitement (sous Matlab)

- **Prérequis**

Les connaissances acquises dans les trois autres EC du bloc de compétences, langage Matlab

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 24**

Travaux pratiques sur Machine

- Extraction de caractéristiques
- Réduction de données et analyse discriminante
- SVM
- Réseaux de neurones

- **Evaluation**

Evaluation sur compte-rendu

UE – Modélisation & Simulation en Électromagnétisme Basse Fréquence	Julien Fontchastagner
EC – Électromagnétisme BF analytique et numérique	Julien Fontchastagner

- **Objectifs**

Le but de cet EC est d'étudier les aspects théoriques des problèmes de l'électromagnétisme en basse fréquence. Après avoir vu comment modéliser et résoudre des problèmes de manière analytique, nous étudierons les outils permettant de résoudre numériquement des problèmes plus complexes en présentant les particularités de la méthode des éléments finis appliquée aux problèmes de l'électromagnétisme basse fréquence. Les applications étudiées en TD et TP seront un grand nombre de dispositifs : composants passifs (condensateurs, inducteurs, etc.), chauffage par induction, accouplements magnétiques, frein par courants de Foucault...

- **Compétences acquises**

Pouvoir appréhender des problèmes d'électromagnétisme basse fréquence et résoudre analytiquement des cas académiques classiques. Connaître les formulations fortes de l'électromagnétisme dans l'approximation des régimes quasi stationnaires et savoir en déduire les formes faibles associées. Maîtriser les particularités du domaine : conditions aux limites correspondant au traitement de frontières lointaines, types d'éléments (mixtes = éléments nodaux / d'arêtes / de facettes), conditions de jauge particulières, formulations en potentiels. Savoir interpréter, adapter et modifier un modèle développé avec l'interface logicielle libre ONELAB (Gmsh et GetDP).

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 08** **TP : 16**

* Cours : (8 x 2h) (<http://cours.jufont.net/ensem/mef-emag>)

Partie I : Électromagnétisme

CM1 : Champs EM, Lois de comportement, Équations de Maxwell

CM2 : ARQS, Potentiels, Lois globales

CM3 : Conditions d'interfaces et aux limites, Grandeurs globales : énergies

CM4 : Grandeurs globales : flux et forces

CM5 : Magnétoharmonique, Formulations fortes en électromagnétisme BF

Partie II : MEF

CM6 : Modèle continu, Modèle discret, Méthode de Galerkin, Maillage

CM7 : Fonctions de base nodales, Résolution, Éléments de Whitney

CM8 : Formulations faibles en électromagnétisme BF

* TD : (4 x 2h)

TD1 : Exercices académiques classiques (condensateurs plan et cylindrique), fil infini, câble coaxial

TD2 : Electroaimant

TD3 : Encoche d'une MAS (inductance de fuite et résistance en fonction de la fréquence)

TD4 : Chauffage par induction d'un cylindre de laiton

* TP : (4 x 4h)

TP1 : Tutos Gmsh/GetDP où on simulera les exemples des TD

TP2 : Couplage thermique du TD4 & Accouplement à aimant

TP3&4 : Microprojet

- **Evaluation**

Microprojet permettant de résoudre un problème concret d'ingénieur en utilisant un code numérique adapté.

UE – Modélisation et Simulation en Électromagnétisme Basse Fréquence

Julien Fontchastagner

EC – Simulations de dispositifs électromagnétiques

Charles-Henri Bonnard

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'apprendre à maîtriser deux logiciels de calcul par éléments finis "orientés métier" en électromagnétisme basse fréquence. Les applications étudiées en TP sont des dispositifs classiques du Génie Électrique : électroaimants, câbles de transport, transformateurs, inducteurs de chauffage par induction et machines électriques.

- **Compétences acquises**

Savoir poser un problème d'électromagnétisme dans l'approximation des régimes quasi stationnaires et l'implanter dans les deux codes de calcul par éléments finis de référence : FEMM (freeware) et Altair® FLUX® (commercial). Connaître et maîtriser les particularités du domaine. Savoir piloter FEMM via Matlab / GNU Octave ou Python pour résoudre des problèmes 2D en magnéto-statique et magnéto-harmonique. Savoir définir des problèmes complets plus évolués dans Altair Flux (2D/3D, magnéto-statique / harmonique / transitoire, couplages avec des équations de circuit ou thermique).

- **Prérequis**

Aucun.

- **Programme pédagogique** **CM : 04** **TD : 00** **TP : 36**

* Cours : (2 x 2h)

CM1 : Comment bien définir un problème dans un logiciel « métier » : choix de formulation, maillage, conditions aux limites, prise en compte des symétries et périodicités.

CM2 : Présentation de Altair® FLUX® (par un représentant d'Altair, ancien de l'école).

* TP : (9 x 4h)

Partie I : FEMM (4 x 4h) (<https://cours.jufont.net/ensem/tp-femm/>)

TP1 : Tutos de prise en main (Bobine, Aimant)

TP2 : Ventouse magnétique

TP3 : Chauffage par induction

TP4 : MSAP

Partie II : Altair Flux (5 x 4h)

TP1&2 : Transformateur monophasé : 2D/3D, statique / harmonique / transitoire, Couplage circuit, essais caractéristiques (identification des paramètres)

TP3&4 : Câble sous-marin triphasé : Couplage circuit, couplage thermique, notions de blindage et d'isolation

TP5 : Coupleur à aimant : potentiel scalaire magnétique, 2D/3D, réduction du domaine d'étude

- **Evaluation**

Etude de cas et mise en situation pour étudier et dimensionner des dispositifs électromécaniques.

NRJ	S8	En
-----	----	----

UE – Modélisation & Simulation numérique en Thermique, Mécanique des Fluides et Solides	B. REMY
EC – Introduction à la simulation numérique en Mécanique & Thermique (Matlab/FlexPDE)	B. REMY

- **Objectifs**

Le but de cet enseignement est de comprendre et mettre en œuvre les méthodes et schémas numériques de type Volumes Finis (utilisées sous Fluent ou Openfoam) et Elements Finis (utilisés sous Abaqus, Comsol Multiphysics ou FlexPDE) pour la résolution de problème en Mécanique : Thermique, fluide et mécanique du solide.

- **Compétences acquises**

Modéliser un problème physique par des EDP, savoir les discrétiser par les méthodes VF et EF pour les mettre sous forme matricielle en vue de leur résolution. Choisir les méthodes les plus adaptées à la résolution d'un problème donné en terme de stabilité et de précision. Savoir résoudre un problème écrit sous forme d'EDP dans un code commercial multi-physique.

- **Prérequis**

Cours d'analyse numérique de base 1A, cours de Mathématiques appliquées (Distributions, Analyse variationnelle, EDP, ...) et les cours de Tronc Commun en Thermique, Mécanique des Fluides et Solides.

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 00** **TP : 20**

Volumes finis (2H CM) :

- Formulation et discrétisation des flux conductif et convectif (linéaire, Upwind et Quick)
- Résolution d'un problème de type conducto-convectif (chaleur ou masse).

Eléments finis (4H CM) :

- Formulation Variationnelle Faible
- Mise sous forme discrète et matricielle du problème
- Résolution d'un problème de type écoulement visqueux ou élasticité (contraintes et déformations)

FlexPDE (2H CM) :

- Présentation du logiciel d'éléments finis multiphysique FlexPDE.

20 H TP (Mise en place des schémas – Volumes & Eléments finis 2D sur 2 problèmes physiques concrets et utilisation du code commercial FlexPDE).

3 TP de 4 heures = 12 TP sur Matlab.
2 TP de 4 heures = 8 TP sur FlexPDE.

Les Cours permettent de préparer les schémas numériques qui seront mis en œuvre sous Matlab et les problèmes physiques avec leur modélisation sous forme d'EDP pour les TP FlexPDE. Les TP porteront sur la mise en œuvre des problèmes vus en Cours : 3 TP sur Matlab et 2 TP sur FlexPDE. Les exemples traités concernent la thermique (2D), la mécanique des fluides (écoulements de Poiseuille et de Couette) et/ou la mécanique du solide élastique (2D).

- **Evaluation**

Série de TPs pour valider la mise en œuvre des schémas numériques vus en cours. Savoir résoudre numériquement des EDP en Thermique, Mécanique des Fluides et des Solides par des méthodes de type VF & EF sous Matlab et FlexPDE.

UE – B7

B. Rémy

EC3b2 Outils numériques CAO - Mécanique des Fluides – Thermique

N. Rimbart

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours est d'intégrer trois disciplines utiles à un ingénieur de bureau d'étude dans le domaine de la mécanique des fluides et de la thermique appliquée en milieu industriel : la conception assistée par ordinateur, la mécanique des fluides et la thermique numérique.

- **Compétences acquises**

Les étudiants sauront utiliser les logiciels CATIA, ANSYS WORKBENCH et FLUENT de façon intégrée. Ils comprendront les enjeux d'une simulation numérique en mécanique des fluides et en thermique en bureau d'étude (difficultés, délais, résultats attendus). Ils auront l'occasion de développer un regard critique sur le choix de leur modèle et de leurs résultats.

- **Prérequis**

Mécanique des fluides, transfert thermique, notions de CAO

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 00** **TP : 20**

Cours magistraux (6hCM)

CM1 : Rappel sur les équations aux dérivées partielles et leur méthode de résolution. Méthode des volumes finis appliquée à la mécanique des fluides : couplage pression-vitesse.

CM2 : Technique de maillage d'une pièce industrielle, qualité et cahier des charges « maillage ».

CM3 : présentation par un intervenant extérieur de l'utilisation de la CFD en milieu industriel.

L'essentiel du module se déroule via un mini-projet en bureau d'étude, il s'agit d'effectuer la simulation simplifiée d'un procédé industriel qui intègre la conception assistée par ordinateur (CATIA) et la simulation numérique en mécanique des fluides et en thermique (ANSYS WORKBENCH/FLUENT). Les étudiants, en binôme devront développer une simulation autour de l'une des thématiques suivantes, inspirée d'études industrielles effectuées par des acteurs locaux :

- 1) Ligne d'échappement automobile (Faurecia)
- 2) Répartiteur de coulée continue (ArcelorMittal)
- 3) Four verrier (Saint-Gobain)
- 4) Autre (au choix des étudiants en accord avec leur encadrant).

Travaux Pratiques (20h TP)

TP 1 : Choix du mini-projet, début de la conception

TP 2 : Fin de la conception, début du maillage

TP 3 : Fin du maillage, début de la simulation

TP 4 : Dépouillement et analyse du résultat, choix des modèles.

TP 5 : Synthèse, importance du couplage vitesse-température

- **Evaluation**

Evaluation sur compte-rendu de projet (env. 20 pages)

NRJ	S8	Fr
-----	----	----

UE – Modélisation & Simulation numérique en Thermique, Mécanique des Fluides et Solides	B. Remy
EC – Analyse par éléments finis des machines et des structures	C. Laurent

• **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'étudier les spécificités de la méthode des éléments finis appliquée à la mécanique des solides, en l'utilisant pour analyser le comportement de machines et de structures dans le but d'en réaliser le dimensionnement.

Malgré la variété des solutions commerciales existantes, le code de calcul ABAQUS sera utilisé comme outil pour illustrer les possibilités offertes par cette méthode de résolution pour les machines et les structures. Les applications concerneront les thématiques de production/stockage d'énergie ainsi que le domaine du transport.

• **Compétences acquises**

Les différentes compétences associées à cet EC seront :

- 1) La mise en place d'un jeu de données permettant l'étude des contraintes, des déformations et du comportement vibratoire de machines et de structures
- 2) La compréhension des différents aspects critiques de la modélisation influant sur la qualité de la solution
- 3) L'analyse critique des résultats de ces simulations au regard des hypothèses formulées
- 4) L'application de la démarche pour le dimensionnement de machines et de structures

• **Prérequis**

Les notions issues des EC de mécanique des milieux continus (S5) et de mécanique pour l'ingénieur (S6) seront utilisées et considérées comme acquises. Les schémas classiques de résolution vus en analyse numérique seront aussi un atout pour appréhender la partie théorique de ce cours. NB : les aspects liés à la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) seront traités un bloc annexe « Eco-conception pour l'énergie et la mobilité ».

• **Programme pédagogique** **CM : 6** **TD : 00** **TP : 20**

A l'exception d'une introduction aux spécificités de la méthode des éléments finis dans son application à la mécanique des solides sous forme de cours magistraux, l'EC sera principalement constitué de travaux pratiques sur ordinateur. En accord avec les enjeux industriels et sociétaux actuels, l'ensemble des cas applicatifs concerneront le stockage et la production d'énergie ou le transport.

Sous format de 6h de cours magistral, les différents points suivants seront abordés :

- Présentation de la méthode et domaines d'application
- Exemple de résolution directe pour un treillis plan
- Etendue au cas général et tridimensionnel pour la résolution d'un problème linéaire
- Choix du type d'éléments et manuel de bonnes pratiques
- Introduction aux sources de non-linéarités et résolution de problèmes concrets

Les 20h de travaux pratiques qui s'en suivront seront découpés comme suit :

- TP1 : étude d'un treillis (hypothèses de modélisation, qualité de la solution approchée, dimensionnement)
- TP2 : étude d'un barrage hydroélectrique (convergence au maillage, analyse quantitative, 2D vs 3D)
- TP3 : étude d'un volant d'inertie (géométries de révolution, anisotropie, concentration de contraintes)
- TP4 : étude du contact pneu/route (modélisation du contact, assemblages, séquence de chargements)
- TP5 (évalué): sujet variable d'une année à l'autre

Les sujets des travaux pratiques seront déposés sur la plateforme ARCHE au fur et à mesure de l'avancement du cours, ainsi qu'un document de cours complet concernant l'analyse par éléments finis des machines et des structures.

• **Evaluation**

L'évaluation du cours porte sur une note de calcul à rendre à l'issue du dernier TP de l'EC.

UE – Bureau d'étude transverse

Valérie Louis Dorr

EC – Bureau d'étude transverse

Valérie Louis Dorr

- **Objectifs**

L'objectif de cette activité pédagogique est de conduire l'étude d'un système sous la forme d'un bureau d'étude multidisciplinaire en autonomie par groupe . Deux applications sont proposées. La première est la plate forme Urbanloop. Chaque année le sujet évolue en fonction de l'évolution technique et technologique du circuit expérimental ENEDIS Urbanloop et de ses capsules. La seconde est la plate-forme micro-réseau d'énergie. Chaque année le sujet évolue en fonction des systèmes de production et de consommation d'énergie disponibles et interconnectables

- **Compétences acquises**

Etre capable de mettre en œuvre un projet de conception et développement d'un système complexe, et de mettre en œuvre des compétences pluridisciplinaires dans le cadre de la gestion d'un projet collaboratif.

- **Prérequis**

Cours de génie électrique de 1A et 2A, de commande de système émergent de 2A, d'automatique de 1A et 2A de mécanique du solide de 1A, de mécanique des fluides de 2A

- **Programme pédagogique** **A** **TD : 00** **TP : 40h**

Définition des objectifs du projet
 Spécifications et livrables: Définition du Cahier des charges et résultats attendus
 Spécifications fonctionnelles et techniques
 Conception et simulation unitaire des différentes parties
 Développement et tests unitaires
 Validations croisées
 Bilan à mi parcours
 Prototypage Intégration techniques des processus
 Présentation
 Démonstration

- **Evaluation**

Nous évaluons l'aptitude à collaborer dans un contexte pluridisciplinaire, restituer un travail effectué en autonomie, Exposer une démarche scientifique constituée de plusieurs phases :modélisation , de développement, de contrôle et de tests

UE – Formation générale 5

S. Gallaire

EC – Banque anglais

C. Corringer

- **Objectifs**

Cette EC est constituée de 2 modules à visée professionnelle: Interacting Professionally et Scientific Communication. L'objectif de l'EC est de donner aux étudiants des compétences en anglais des affaires et en anglais scientifique.

OU Soutien B2 : ce module est destiné aux étudiants en difficulté n'ayant pas encore validé le niveau B2. L'objectif est de leur permettre d'atteindre un score minimal de 785 au test TOEIC ou de 100 au DET.

- **Compétences acquises**

-Compétences en expression et compréhension écrite et orale en relation avec la carrière d'ingénieur
 -Ouverture internationale et culturelle
 -Travail en équipe

OU Soutien B2 : compréhension orale et écrite, identifier ses points forts/faibles, savoir se fixer des objectifs, apprendre à apprendre

- **Prérequis**

Avoir atteint un niveau B2

OU Soutien B2 : avoir passé une certification externe et ne pas avoir validé le niveau B2

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 30** **TP : 00**

Un premier module de 7 séances de 2h : Interacting Professionally OU soutien B2
 Un deuxième module de 8 séances de 2h : Scientific Communication OU soutien B2

Le module Interacting Professionally a pour but de préparer les étudiants à postuler en anglais à des offres d'emploi (personal branding, CV, job interview), au travail avec des partenaires étrangers (sensibilisation à la notion de communication inter-culturelle) et à la communication professionnelle en langue anglaise (gestion de réunion, présentation de projets, négociation).

Pour le module Scientific Communication le focus est sur la communication scientifique à l'écrit (report writing, abstract writing, concise technical English) et à l'oral (describing processes, simplifying / rephrasing technical concepts, 3MT, etc.)

Pour le Soutien B2, les étudiants travaillent à l'identification de leurs points forts et de leurs points faibles. Ils établissent un plan de travail afin d'atteindre un score de 785 au TOEIC ou de 100 au DET. Ils cherchent des ressources pertinentes leur permettant de combler les lacunes identifiées. L'enseignant aide les étudiants dans leur travail, les conseille et répond à leurs questions. Des exercices et tests réguliers permettent aux étudiants de structurer et d'évaluer leur progression.

- **Evaluation**

Contrôle continu (travaux écrits, participation orale) et évaluation finale pour chaque module.

UE – Formation générale 5

Stéphanie GALLAIRE

EC – Insertion professionnelle

Frédéric EDELSON

- **Objectifs**

Pendant une semaine en début d'année les étudiants sont préparés à leur recherche de stage par des RH, des industriels, et des professionnels de la communication. Ils bénéficient des témoignages et des conseils d'alumni.

L'objectif de ce cours est d'amener les étudiants à gérer efficacement une recherche de stage, et d'emploi à travers des ateliers, des conférences et des simulations

- **Compétences acquises**

S'adapter aux différentes situations d'entretiens d'embauche

Etre capable de s'exprimer sur différents supports (oral, numérique, écrit,..)

Etre capable de créer, utiliser et renforcer son réseau professionnel

Mettre en oeuvre une recherche efficace d'emploi

Connaître et savoir utiliser différents outils pour la recherche de stage et d'emploi

- **Prérequis**

Avoir défini un projet professionnel

Maîtrise avancée de la langue française à l'écrit comme à l'oral

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 20** **TP : 00**

Jour 1 : Présentation de la semaine et intervention de DRH de différents partenaires de l'ENSEM

Jour 2 : Le CV, la lettre de motivation et l'entretien de motivation réalisé par des professionnels du recrutement

Jour 3 : Simulation d'entretiens en visio.

Jour 4 : Simulation d'entretiens physiques.

Jour 5 : Comment se mettre en avant sur les réseaux sociaux, et témoignage des alumni et réflexion autour du projet professionnel.

être capable de se présenter efficacement

rédaction de CV

décryptage d'offres de stage/emploi, travail sur les mots clés

Gestion de l'entretien d'embauche (en face à face, par téléphone, par visioconférence)

gestion de son réseau professionnel

utilisation des réseaux sociaux pour la recherche d'emploi et les erreurs à ne pas commettre

prise de parole en public

- **Evaluation**

Investissement et CV 10 points et entretiens visio et physique 10 points. Une note sur 20 points

UE – Formation générale 5

Stéphanie GALLAIRE

EC – Conférences industrielles**B. REMY**

- **Objectifs**

Appréhender la réalité du métier d'ingénieur et savoir projeter les connaissances acquises en formation dans un cadre métier.

- **Compétences acquises**

Connaissances de l'entreprise et plus généralement du monde du travail (entreprise, R&D, ...) au travers de cas réels et témoignage.

- **Prérequis**

Formation en ingénierie

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 00** **TP : 00**

Intervention de professionnels du monde industriel et de la R&D.

- **Evaluation**

Contrôle continu - Participation aux Conférences

Semestre 9 Reforme NRJ

	Unité d'Enseignement (UE) Eléments Constitutifs (EC)	Responsable	Section CNU de l'EC
B9 - 01	<i>Diagnostic, Analyse de risques, Surveillance</i>	<i>N. Brinzei</i>	
	Analyse de risques et Sécurité Fonctionnelle	N. Brinzei	27, 61
	Surveillance et Diagnostic	S. Maza	61

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
18	4	8	30	2,5	5	10
20	10	0	30	2,5		

60

B9 - 02	<i>Problèmes inverses et identification des systèmes dynamiques</i>	<i>R. Ranta</i>	
	Problèmes inverses, Décompositions, Parcimonie	R. Ranta	61
	Identification et réduction de modèles - Jamal Daafouz	J. Daafouz	61
	Bureaux d'études - Jamal Daafouz, Radu Ranta	J. Daafouz / R. Ranta	61

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
10	10	0	20	1,66	5	10
12	8	0	20	1,66		
0	0	20	20	1,66		

60

B9 - 03	<i>Modélisation et co-simulation des systèmes multiphysiques</i>	<i>V. Chevrier</i>	
	EC 1 : Modèles dynamiques & Systèmes multiphysiques couplés (co-modélisation)	D. Netter	27, 60, 61, 62, 63
	EC 2 : De la co-modélisation à la co-simulation	V. Chevrier	27, 60, 61, 62, 63

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
0	0	30	30	2,5	5	10
0	0	30	30	2,5		

60

B9 - 04	<i>Simulation des systèmes continus et discrets</i>	<i>J.F. Pétin</i>	
	EC 1 : Simulation appliquée à la commande de systèmes continus	J. Kreiss	61
	EC 2 : Simulation numérique des SED	J.F. Petin	61

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
0	30	0	30	2,5	5	10
0	6	24	30	2,5		

60

B9 - 05	<i>Réseaux électriques autonomes et embarqués</i>	<i>S. Pierfederici</i>	
	Qualité énergie électrique / Stabilité statique et dynamique	S. Pierfederici	63
	Gestion de l'énergie dans les microgrids	J.P. Martin	63

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
14	0	16	30	2,5	5	10
16	2	12	30	2,5		

60

B9 - 06	<i>Machines Électriques</i>	<i>D. Netter</i>	
	Modélisation analytique et optimisation des machines électriques	D. Netter	63
	Optimisation et conception des machines électriques	N. Takorabet	63

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
0	0	30	30	1,5	5	10
16	2	12	30	1,5		

60

B9 - 07	<i>Conversion électromécanique à haute disponibilité</i>	<i>T. Boileau</i>	
	Partie 1 : Conversion électromécanique à haute disponibilité (applications au transport et à la production d'énergie)	F. Meibody	63
	Partie 2 : Conversion électromécanique à haute disponibilité (applications au transport et à la production d'énergie)	T. Boileau	63

CM	TD	TP	Volume horaire	Coeff.	ECTS	Barre UE
CM	TD	TP	Total			
22	0	8	30	1,5	5	10
14	0	16	30	1,5		

60

B9 - 08	Composants ETNP dans leur environnement	I. Rasoanarivo	
	Composants semiconducteurs de puissance	S. Raël	63
	Compatibilité électromagnétique (CEM)	I. Rasoanarivo	63

CM	TD	TP	Total			
22	0	8	30	1,5	5	10
14	0	16	30	1,5		

60

B9 - 09	Systèmes de stockage électrique	M. Hinaje	
	Stockage électrochimique de l'énergie électrique	M. Hinaje	63
	Convertisseurs d'électronique de puissance d'interface	S. Pierfederici	63

CM	TD	TP	Total			
18	0	12	30	1,5	5	10
14	0	16	30	1,5		

60

B9 - 10	« Power-Hardware-In-The-Loop » (P-HIL)	C.H. Bonnard	
	P-HIL : outils et techniques	E. Jamshidpour	63
	Projet P-HIL	C.H. Bonnard	63

CM	TD	TP	Total			
10	0	20	30	1,5	5	10
0	10	20	30	1,5		

60

B9 - 11	Réseaux d'énergie	N. Rimbert	
	Echangeurs de chaleurs et récupération de la chaleur fatale	N. Rimbert	60, 62
	Hydrogène : production et usages énergétiques	G. Sdanghi	60, 62
	Internet de l'énergie thermique	B. Rémy	60, 62

CM	TD	TP	Total			
20	0	4	24	1,66	5	10
20	0	0	20	1,66		
8	0	8	16	1,66		

60

B9 - 12	Écoulements à haute vitesse, conversion de l'énergie par combustion	F. Lemoine	
	Écoulements à haute vitesse	F. Lemoine	60
	Conversion de l'énergie par combustion	F. Lemoine	60, 62

CM	TD	TP	Total			
12	10	0	22	2	5	10
32	0	6	38	3		

60

B9 - 13	Méthodes expérimentales pour la caractérisation des transferts	J.C. Perrin	
	Métrologies avancées des transferts	J.C. Perrin	60, 62
	Etudes expérimentales avancées de phénomènes de transferts	O. Caballina	60, 62

CM	TD	TP	Total			
40	0	0	40	3,34	5	10
0	0	20	20	1,66		

60

B9 - 14	Transfert aux interfaces pour des procédés industriels efficaces	O. Caballina	
	Écoulements multiphasiques et interfaces	N. Rimbert	60, 62
	Gouttes, interfaces, et changement de phase	O. Caballina	60, 62
	Modélisation des transferts dans des systèmes et procédés industriels	B. Rémy	62, 62

CM	TD	TP	Total			
14	0	6	20	1,66	5	10
12	0	8	20	1,66		
12	0	8	20	1,66		

60

B9 - 15	Intensification des transferts	N. Louvet	
	Modélisation de la turbulence	O. Caballina	60
	Écoulements et transferts en milieux complexes	N. Louvet	60, 62
	Simulation numérique et applications	N. Rimbert	60, 62

CM	TD	TP	Total			
10	0	0	10	1	5	10
30	0	0	30	3		
2	0	18	20	2		

60

B9 - 16	<i>Ecoconception : durée de vie et optimisation</i>	<i>C. Laurent</i>	
	Durée de vie des matériaux et structures	M. Bordron	60
	De la conception à la conception optimale	C. Laurent	60

CM	TD	TP	Total			
12	10	8	30	2,5	5	10
2	0	28	30	2,5		

60

B9 - 17	<i>Ingénierie des matériaux</i>	<i>J. Boisse</i>	
	Science des matériaux	J. Boisse	60
	Matériaux composites	J.F. Schmitt	60

CM	TD	TP	Total			
12	10	8	30	2,5	5	10
14	4	12	30	2,5		

60

Analyse de risques et Sécurité Fonctionnelle

Nicolae Brinzei

Diagnostic, Analyse de risques, Surveillance

Nicolae Brinzei

- **Objectifs**

Ce module donne les connaissances nécessaires pour analyser, modéliser et évaluer les risques auxquels sont soumis les systèmes critiques, ainsi que les moyens de prévention ou de protection qui doivent être mis en œuvre. Les systèmes cibles sont les systèmes de contrôle-commande et de sécurité du domaine de l'énergie (systèmes de production d'énergie : centrales nucléaires, hydrauliques, plateforme offshore d'extraction du pétrole ou de distribution d'énergie : réseaux de transports d'énergie électrique, oléoducs, gazoducs) ou du domaine du transport (automobile, ferroviaire).

- **Compétences acquises**

A l'issue de cet EC, les élèves seront capables :

- Savoir analyser et modéliser des architectures de contrôle-commande et les risques associés
- Savoir analyser et évaluer des systèmes instrumentés de sécurité (SIS) conformément aux normes et standards en vigueur

- **Prérequis**

- EC « Sûreté de fonctionnement » (S8)
- EC « Systèmes à événements discrets » (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 18** **TD : 4** **TP : 8**

1. Analyse des risques (12h CM)
 - Approches qualitatives : APR (Analyse préliminaire des risques), AMDEC, HAZOP
 - Principes de conception des systèmes sûrs (séparation, indépendance, défense en profondeur, ...)
 - Conception d'architectures de contrôle-commande et de sécurité
 - Analyse des risques et sûreté de fonctionnement des systèmes programmés
2. Sécurité fonctionnelle (2h CM et 4h TP)
 - Systèmes instrumentés de sécurité (SIS - Safety Instrumented Systems) mis en œuvre pour la réduction du risque
 - Norme IEC 61508 (niveau SIL, PFD, PFH, ...) et évaluation probabiliste des SIS
3. Approches de modélisation et d'évaluation des systèmes multi-états reconfigurables (4h CM, 4h TD et 4h TP)
 - Approche analytique : réseaux de Petri stochastiques (RdPS) : règles de comportement, processus stochastiques markoviens équivalents, évaluation des indicateurs de risques (PFD, PFH)
 - Approche par simulation : Stochastic Activity Networks (SAN)

- **Evaluation**

- contrôle continu: études de cas et mise en situation pour modéliser, évaluer et analyser des systèmes instrumentés de sécurité en vue de leur qualification suivant la norme IEC 61508

BLOC 9 – Diagnostic, Analyse de risques, Surveillance

Nom responsable UE ou Bloc

EC – Surveillance et Diagnostic**Samia MAZA**

- **Objectifs**

Un système dynamique est susceptible d'évoluer selon des modes de fonctionnement normaux ou défectueux. Un mode de fonctionnement défectueux est atteint suite à l'occurrence d'un défaut.

Le diagnostic est défini comme l'opération permettant de détecter un défaut et de localiser son origine.

L'objectif du module est de présenter des méthodes permettant de détecter, de localiser et de caractériser des dysfonctionnements de capteurs, d'actionneurs ou du processus lui-même que ce dernier soit décrit par un modèle algébrique, différentiel ou par un modèle à événements discrets

- **Compétences acquises**

-A partir d'un ensemble de mesures être capable de détecter leur cohérence/incohérence et y remédier si nécessaire.

-Etre capable de mettre en œuvre des schémas de diagnostic pour surveiller le fonctionnement d'un système industriel.

-Dans le cas d'un système à dynamique discrète : analyser son comportement à travers les séquences d'événements qu'il produit pour diagnostiquer l'occurrence de défauts et plus généralement l'occurrence d'événements non observables.

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A :

- Eléments de base d'algèbre linéaire, calcul matriciel, éléments de base de probabilité et de statistiques
- Eléments de base de SED (Les langages et automates d'états, les graphes et/ou réseaux de Petri).

- **Programme pédagogique** **CM : 20h** **TD : 10h** **TP : 0h**

La partie 1 (20 h - assurée par D. Maquin) concerne les systèmes continus modélisés par des équations algébriques ou différentielles. On y abordera :

- La surveillance à base de modèles,
- La notion de redondance (matérielle, analytique, méthode de vote),
- L'approche de l'espace de parité (cas statique et dynamique linéaire).
- La génération de résidus à l'aide d'observateurs, structuration des résidus.

La partie 2 (10h - assurée par S. Maza) est axée sur l'étude des systèmes à événement discrets (SED). On y verra :

- Les notions d'événements non observables, séquences observées et séquences diagnosticables.
- Estimateur d'état d'un SED décrit par un automate.
- Diagnostic d'événements non observables (par automates, templates, résidus, G7 et RdPs).

Des cas d'études seront abordés en TD, dont certains en salle machine (Matlab, Supremica, etc.).

- **Evaluation**

- 1- Partie 1: Sur un cas d'étude avec un compte rendu.
- 2- Partie 2: Evaluation individuelle par examen écrit.

UE – Problèmes inverses et identification des systèmes dynamiques

R. RANTA

EC - Identification et réduction de modèles

J. DAAFOUZ

- **Objectifs**

Ce module vise à présenter les moyens théoriques et les méthodologies les plus adaptées pour traiter et analyser de manière efficace les mesures acquises sur des processus physiques. Il s'agit plus précisément de techniques d'inversion de modèle, de décomposition et reconstruction partielle (et donc d'extraction des informations pertinentes) à partir de ces mesures.

- **Compétences acquises**

- Capacité à formaliser une mesure sous forme de problème direct / problème inverse
- Savoir-faire sur la mise en œuvre d'algorithmes d'inversion et sur l'interprétation des résultats

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A :

- Notions de base d'algèbre linéaire (calcul matriciel , espace propre, projection) (S5)
- Notions de base d'optimisation (S6)
- Éléments de base de probabilité et de statistiques (S7)

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 10** **TP : 00**

Trois approches dédiées aux systèmes linéaires seront présentées : une première intègre les connaissances sur la physique du phénomène mesuré sous forme d'un modèle, l'objectif étant d'inverser ce modèle afin de retrouver les causes (sources) à l'origine de la mesure. Une deuxième approche propose d'extraire les informations pertinentes directement des données, soit en retrouvant un modèle générique reliant les sources aux mesures (filtre optimal / Wiener / RLS), soit en exploitant leur redondance (ACP, blanchiment, séparation de sources).

Cours magistraux :

- Décomposition sur modèle physique (problèmes inverses)
- Régularisation, norme minimale ...
- Reconstruction parcimonieuse, régression itérative
- Décompositions issues des données
- Filtrage de Wiener, filtrage adaptatif
- Éléments de Séparation de sources

Mots-clés : problèmes inverses, algorithmes gloutons, filtrage de Wiener, séparation de sources

- **Evaluation**

Travaux dirigés sur machine informatique à l'aide de Matlab.

UE – Problèmes inverses et identification des systèmes dynamiques

R. RANTA

EC - Identification et réduction de modèles

J. DAAFOUZ

- **Objectifs**

Ce cours est dédié aux fondements de l'identification et de la réduction de modèles. Il comprend également une introduction au contrôle basé données. Le recours aux modèles dynamiques issus de la physique pour décrire le comportement des systèmes d'une manière suffisamment précise n'est pas toujours possible, d'où la nécessité d'utiliser des approches basées données. Les modèles basés données sont obtenus à partir des observations et des mesures du système réel et ne nécessitent qu'un minimum de connaissances préalables.

- **Compétences acquises**

Acquisition des méthodes de base pour l'identification des systèmes linéaires.
Maîtrise des méthodes de base de réduction de modèles.

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A : Cours d'Automatique de première année, Mathématiques de première année.

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 08** **TP : 00**

Sous des hypothèses liées aux conditions de fonctionnement, un modèle linéaire peut suffire. Un modèle d'ordre réduit sera privilégié à la fois pour faciliter les étapes de simulation, d'analyse et de synthèse de lois de commande. Le but de ce cours est d'introduire les notions de bases d'identification et de réduction de modèles et de sensibiliser les étudiants à l'identification des systèmes non linéaires et au contrôle basé données

Identification des systèmes linéaires :

- Méthodes non paramétriques
- Méthodes paramétriques (régression linéaire, méthode des variables instrumentales, méthode d'erreur de prédiction, et méthodes statistiques y compris le maximum de vraisemblance)
- Méthodes des moindres carrés,
- Estimation récursive,
- Validation de modèles.
- Identification en boucle fermée

Réduction de modèles :

méthodes classiques de réduction (projection, troncature équilibrée, perturbations singulières),
méthodes basées optimisation

Identification des systèmes non linéaires (NARMAX, SINDY)

Introduction au contrôle basé données.

Les séances de TD sont organisées autour d'exemples pédagogiques afin d'illustrer les notions introduites dans ce cours et bien comprendre les avantages et les limites des méthodes présentées.

Bibliographie :

L. Ljung System Identification - Theory for the user Prentice Hall, 1999.

T. Soderstrom and P Stoica, System Identification (<http://user.it.uu.se/~ts/sysidbook.pdf>)

Mots-clés : systèmes dynamiques, identification, estimation, réduction de modèle, optimisation.

- **Evaluation**

Evaluation des compétences acquises via des applications pratiques

UE – Simulation des systèmes continus et discrets

R. RANTA

EC - Bureaux d'études**J. DAAFOUZ**

- **Objectifs**

Ce cours est dédié à l'application des méthodes d'identification et de réduction de modèles sur des exemples inspirés d'applications concrètes. Le thème général est la modélisation des systèmes dynamique et le contrôle basés données. L'objectif est de mettre les étudiants dans les conditions réelles d'identification et d'être capable de décrire les principes généraux et d'identifier les systèmes de manière satisfaisante. Cela comprend une analyse du choix des signaux d'excitation, de la structure du modèle et de l'algorithme d'estimation ainsi que l'utilisation appropriée de la validation du modèle.

- **Compétences acquises**

Maîtrise des méthodes d'identification des systèmes et de réduction de modèles.

- **Prérequis**

Les connaissances acquises en formation de tronc commun ENSEM 1A et 2A : Cours d'Automatique de première année, Mathématiques de première année. Les cours problèmes inverses et identification des systèmes sont des prérequis indispensables pour suivre ce module.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 30** **TP : 00**

Le déroulement est prévu en 5 séances de 4h. Les trois premières séances seront dédiées à des cas d'études permettant d'appliquer les notions acquises en cours et TD sur l'identification et la réduction de modèle. Les deux dernières séances seront consacrées à un problème avec des données issus d'un processus réel avec un double objectif : identifier puis valider le modèle du système et proposer une stratégie de contrôle. Durant ces séances, la toolbox d'identification de Matlab sera utilisée.

Mots-clés : systèmes dynamiques, identification, estimation, réduction de modèle, optimisation.

- **Evaluation**

Evaluation sur des cas tests

UE – Modélisation et co-simulation des systèmes multiphysiques

V. CHEVRIER

EC – Modèles dynamiques & Systèmes multiphysiques couplés (co-modélisation)

D. NETTER

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours de mettre en place un processus de comodélisation s'appuyant sur des ensembles expérimentaux de l'ENSEM. L'exemple choisi est celui de la production d'eau chaude dans un immeuble. Il est constitué d'un ensemble de composants électriques, thermiques, fluides et de leur contrôle.

- **Compétences acquises**

Savoir analyser un système complexe, le décomposer en sous-systèmes mono disciplinaires et définir les interactions entre modèles.

Langage Modelica et ses bibliothèques métiers.

Intégration de modèles sous le langage modelica.

- **Prérequis**

Les cours du tronc commun

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 30**

L'idée directrice est de considérer un système cible nécessitant plusieurs champs disciplinaires pour sa modélisation. Ce système est décomposé en sous-systèmes faisant appel à différents champs disciplinaires et représenté à l'aide de bibliothèques métier. A partir des composants, il s'agit au fur et à mesure de construire le système dans son intégralité au sein du langage Modelica et d'un des logiciels associés.

Cet EC comprend 10 séances de TP de 3 heures.

Un groupe de TP est constitué de 3 ou 4 élèves.

Mots Clés : Modélica, systèmes multi-physique, comodélisation

- **Evaluation**

L'évaluation est un compte rendu rendu à la fin de la dernière séance.

UE – Modélisation et co-simulation des systèmes multiphysiques	V. CHEVRIER
EC – De la co-modélisation à la co-simulation	V. CHEVRIER

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours de comprendre et maîtriser un processus de cosimulation, c'est à dire, envisager la simulation d'un système à partir de plusieurs simulateurs.
L'idée directrice est de considérer un système nécessitant plusieurs champs disciplinaires pour sa modélisation. Ce système regroupe différents sous-systèmes faisant appels à différents champs disciplinaires et représenté à l'aide de bibliothèques métiers (composants électriques, thermiques, fluides et de leur contrôle).

- **Compétences acquises**

Comprendre la cosimulation d'un système complexe à partir d'une décomposition en sous-systèmes boîte noire (FMU), définir les schéma d'interactions entre composants en particulier les règles de causalité.

Le standard FMI et la cosimulation, algorithme maître

- **Prérequis**

Les cours du tronc commun

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 30**

A partir des composants logiciels (pouvant provenir du cours Comodélisation), il s'agit au fur et à mesure de simuler le système dans son intégralité à partir de ces briques logicielles.

Nous privilégierons le standard FMI et les bibliothèques du domaine public associées ainsi que le langage python.

Cet EC comprend 10 séances de TP de 3 heures.

- Qu'est-ce qu'un multi-modèle, la notion de composition, un composant boîte noire, un système dynamique ?
- Le standard FMI : prise en main de FMU en python, export et génération, causalité
- Le standard FMI et cosimulation : algorithme maître, import FMU dans des outils
- Le standard MI : mise en œuvre sur un cas concret
- Système événementiel et cosimulation : notion d'événement et synchronisation, les limites de l'export FMU
- Cosimulation de système hybride
- Projet

- **Evaluation**

L'évaluation est un compte rendu à la fin de la dernière séance. Un groupe de TP est constitué de 3 ou 4 élèves.

UE – Connaissances générales sur les réseaux, les sources et les éléments de stockage	S. DUFOUR
EC – Réseaux de chaleur	B. REMY

- **Objectifs**

Savoir modéliser et dimensionner un réseau de chaleur en y intégrant des composants et utilités.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser et dimensionner un réseau de chaleur en y intégrant des composants et utilités.

- **Prérequis**

Cours de Thermodynamique S5 et de Thermique S7.

- **Programme pédagogique** **CM : 06** **TD : 04** **TP : 04**

- Évaluer le potentiel d'un réseau de chaleur à partir de l'inventaire des sources chaudes et froides (analyse Pinch). Apport d'une source chaude et/ou froide pour en assurer le fonctionnement.

- Définir les caractéristiques des utilités à intégrer dans la réseau pour répondre à un cahier des charges prédéfini (réseau de chaleur au niveau d'un site industriel, d'une ville, d'un quartier ou d'habitations collectives) : production d'eau chaude, de vapeur, d'électricité et chauffage.

- Optimiser l'efficacité du réseau par le choix de composants et leur pilotage en y intégrant la charge dans le modèle.

- Mise en oeuvre et intégration des modèles sous Matlab Simulink (Simscape)

Mots clés/contenu : intégration de composants de conversion, stockage et production dans un réseau de chaleur par des approches statiques et dynamiques.

- **Evaluation**

Mise en œuvre sous la forme d'un TP de l'analyse par pincement dans un cas académique simple.

Simulation des systèmes continus et discrets

J.F. Pétin

EC – Simulation numérique des Systèmes à Evénements Discrets**J.F Pétin**

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est de présenter quelques outils de simulation numérique de vérification formelle des SED. L'apprentissage est réalisé autour de cas d'études : pilotage d'une cellule flexible de production pour l'outil ControlBuild (Dassault System), contrôle-commande nucléaire pour l'outil SCADE (ANSYS). Un outil de vérification formelle complète les apprentissages avec comme objectif de montrer la complémentarité entre simulation et vérification pour l'analyse des propriétés de sécurité des SED.

- **Compétences acquises**

À l'issue de cet enseignement, les élèves seront capables :

- d'appréhender tout type d'outil de simulation numérique des SED et de vérification formelle
- de modéliser et simuler un système se caractérisant par un comportant de type SED,
- concevoir et simuler la commande d'un SED
- d'analyser et de vérifier formellement ses propriétés, notamment celles ayant trait à la sûreté

- **Prérequis**

Cet EC vient en complément des fondements théoriques acquis dans l'EC Modélisation des Systèmes à Evénements Discrets de 2A.

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 8** **TP : 16**

- Outil ControlBuild : modélisation de type "Component Based Automation", langages de la norme IEC1131-3, modélisation de partie opérative, simulation numérique et campagne de test. Cas d'étude : pilotage d'une cellule flexible de production.
- Outil SCADE : modélisation en langages synchrones LUSTRE, blocs fonctionnels et Statecharts, simulation numérique et vérification formelle de propriétés de sécurité. Cas d'étude : contrôle-commande nucléaire (2 systèmes élémentaires d'une centrale "légo" fourni par EDF).
- Outil UPPAAL : modélisation en automates temporisés, écriture des propriétés de sécurité en logique temporelle, simulation numérique et vérification formelle de propriétés.

- **Evaluation**

- Examen de travaux pratiques sur machines : mise en situation sur un cas d'étude proposé pour la séance d'examen
- Rapports de travaux pratiques

UE – Réseaux électriques autonomes et embarqués

S. Pierfederici

EC – Qualité réseau et stabilité

S. Pierfederici

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est d'une part, d'apprendre à modéliser, contrôler et dimensionner les principales structures de puissance permettant d'améliorer la qualité des microgrids d'énergie électrique alternatifs (THD tension et courant, plan de tension, fréquence, déséquilibre de charge, déséquilibre de tension) à l'aide de convertisseurs d'électronique de puissance (STACOM, FACTS, filtres actifs série parallèle). D'autre part ce cours permettra d'analyser la stabilité dynamique des microgrids DC et AC. Après avoir détaillé la modélisation de ce type de système, deux outils seront mis en œuvre à savoir la spectroscopie d'impédance et l'approche d'état pour l'analyse de la stabilité et la stabilisation active des microgrids

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser, dimensionner et mettre en œuvre les systèmes électriques permettant d'améliorer la qualité réseau et de garantir leur stabilité dynamique.

- **Prérequis**

Electronique de puissance B4, réseau B1

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 00** **TP : 16**

Les différents points abordés sont :

Filtrage actifs dans les microgrids AC (4h CM, 4h TP1).
FACTS-STACOM (2h CM, 4TP2)
Stabilité – Stabilisation des microgrids (8h CM, 8h TP3&4)

TP1 : mise en œuvre expérimentale d'un filtre actif sur un microgrid AC triphasé
TP2 : Contrôle du plan de tension sur les microgrids AC.
TP3&4 : Etude par simulation numérique d'un microgrid DC : analyse de stabilité et stabilisation, puis validation expérimentale.

- **Evaluation**

Note 1 = Note des TP1&2 - filtrage actif
Note 2 = Note des TP2&3s - stabilité
Note 3 = Note examen (ou projet)
Note finale = 0.3*Note 1 + 0.2*Note 2 + 0.5* Note 3

UE – Réseaux électriques autonomes et embarqués

S. Pierfederici

EC – Gestion de l'énergie dans les microgrids

J-P. MARTIN

- **Objectifs**

L'objectif de ce module est de modéliser, dimensionner et mettre en œuvre des architectures de micro-réseaux électrique usuelles associées à des algorithmes de gestion d'énergie de différentes natures. Les contraintes des différentes sources et éléments de stockage sont prises en compte pour limiter le vieillissement du système. Pour les micro-réseaux distribués, l'approche hiérarchique comprenant les niveaux de contrôle primaire, secondaire et tertiaire est introduite.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser, dimensionner et mettre en œuvre des microgrids AC et DC avec leur système de gestion énergétique (EMS : Energy management System).

- **Prérequis**

Tronc commun + modules B4 « Structures d'électronique de puissance avancée pour les applications stationnaires et embarquées » et B1 « Réseaux d'énergie » du semestre 8.

- **Programme pédagogique** **CM : 16h** **TD : 2h** **TP : 12h**

Les différents points abordés sont :

1. Gestion centralisée des microgrids (10h CM, 2h TD).

Afin d'obtenir des sources d'énergie électrique distribuées, réversibles, associant une forte autonomie à un haut niveau de puissance, l'association de sources électriques et d'éléments de stockage de natures différentes est nécessaire. La gestion de l'énergie entre ces différents éléments fait appel à des algorithmes de nature généralement centralisée prenant en compte les contraintes des différentes sources. Elles alimentent localement un ensemble de charges et peuvent inclure si nécessaire un dispositif de raccordement à un autre réseau électrique DC ou AC.

2. Gestion décentralisée et distribuée des microgrids (6h CM, 4h TP)

L'association de différents générateurs distribués via un réseau électrique AC ou DC constitue un micro-réseau distribué. La gestion de l'énergie entre les différents générateurs distribués utilise des algorithmes généralement décentralisés ou distribués par nature, et sont contrôlés à l'aide de données locales ou d'échanges de données grâce à un réseau de communication à bas débit. Les stratégies de contrôle hiérarchique et les méthodes de filtrage de fréquence sont également détaillées. Pour les micro-réseaux distribués, l'approche hiérarchique comprenant les niveaux de contrôle primaire, secondaire et tertiaire est introduite.

Projet (8h) : Mise en œuvre expérimentale d'un microgrid DC pour les applications avioniques

TP (4h) : Etude par simulation numérique de la Gestion centralisée et distribuée des microgrids AC.

- **Evaluation**

Examen théorique et évaluation des rapports associés au projet et TP.

UE - Machines Électriques	D. NETTER
EC - Modélisation analytique et optimisation des machines électriques	D. NETTER

- **Objectifs**

Ce module a pour objectif de proposer une méthodologie de dimensionnement analytique d'une machine électrique. Une fois le modèle construit, il sera complété par un processus d'optimisation qui permettra de répondre à un cahier des charges de conception (par exemple, trouver les dimensions de la machine permettant de minimiser la masse pour un point de fonctionnement donné). Nous mettrons en place une pédagogie par projet où le travail en équipe et en autonomie sera fortement valorisé.

- **Compétences acquises**

Les compétences acquises à la suite de ce module :

- Savoir analyser des documents techniques pour le calcul des paramètres du schéma électrique équivalent de la machine asynchrone.
- Savoir construire un outil de dimensionnement (Matlab ou Python) à partir de formules analytiques et concevoir une interface graphique conviviale.
- Poser un problème d'optimisation pour trouver une configuration de machine répondant à un cahier des charges.

- **Prérequis**

Machines électriques S6 et S7, Électrotechnique générale S5.

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 30**

Travaux pratiques 30h TP

21 h de TP pour l'établissement du modèle analytique.
9 h de TP pour l'optimisation de la machine.

- **Evaluation**

Pas d'examen final. Il sera demandé des livrables (programme de dimensionnement, manuel d'utilisation, documentation technique et 1 devis). Les pages des documents seront nominatifs afin d'individualiser l'évaluation.

UE - Machines Électriques	D. NETTER
EC - Modélisation numérique et conception des machines électriques	N. TAKORABET

- **Objectifs**

Ce module est consacré à la modélisation et conception des machines électriques avec un accent mis sur les techniques numériques basées sur la méthode des éléments finis. Une part importante est dédiée aux techniques de bobinages des machines à courants alternatif. Un travail en mode projet est mis en place sous forme d'un projet de dimensionnement et conception d'une machine électrique (bureau d'étude).

- **Compétences acquises**

Les compétences acquises à la suite de ce module :

- Bobinage des machines à courant alternatif
- Prédimensionnement et conception des machines
- Modélisation numérique par éléments finis – Logiciel libre et logiciel commercial

- **Prérequis**

Machines électriques S6 et S7, Électrotechnique générale S5

- **Programme pédagogique** **CM : 16** **TD : 02** **TP : 12**

Cours 16h

Bobinage des machines à courant alternatif
Techniques de modélisation numériques des machines (Synchrone et Asynchrone)
Prédimensionnement et conception des machines à aimants permanents
Initiation à un logiciel commercial (FluxMotor)

Travaux dirigés 2h TD

Contenu : 1 TD de 2h : Conception et simulation des bobinages

Travaux pratiques 12h TP

Contenu: 4 séances de 3h.

TP 1 et 2 : FEMM : Machine synchrone à aimants permanents

TP 3 et 4 : FluxMotor : Machine synchrone à aimants permanents et machine asynchrone

- **Evaluation**

- Examen écrit
- Travail en mode projet : Rapport de dimensionnement de machine pour un cahier des charges individuel

UE – B15- Conversion électromécanique à haute disponibilité

Thierry Boileau

EC – Conversion électromécanique à haute disponibilité (partie 2)

Farid Meibody-Tabar

- **Objectifs**

L'objectif du module est d'étudier des structures d'association machines électriques, électronique de puissance à hautes disponibilités. Il s'agit de structures fiables et / ou tolérantes aux défauts.

Les modèles de ces systèmes en mode de fonctionnement normal et dégradé (en présence défauts) sont présentés.

On retrouve ces structures notamment dans les gouvernails d'avion, dans les éoliennes offshore, dans les pompes immergées (subsea), véhicule hybride, les moteurs de Navire, les moteurs de Sous-Marins

- **Compétences acquises**

Connaître les structures et les architectures d'alimentation des machines polyphasées et multi-étoiles selon leurs applications dans les systèmes embarqués et dans les systèmes de génération d'énergie électrique.

Etudier le contrôle de couple et des courants de ces machines en mode normal et en modes dégradés suite à un défaut.

Comprendre le fonctionnement des structures de conversion électromécanique tolérantes aux défauts dans leur mode de fonctionnement en mode normal et en mode de défaut.

Quelques sociétés mettant en œuvre ces compétences : SAFRAN, GE, Valéo, Garrett, IFP Energies Nouvelles, Naval Group....

- **Prérequis**

Machines électriques en S6 et en S7 ; Electronique de puissance en S6 et en S7 et UE A2 du S8

- **Programme pédagogique** **CM : 22** **TD : 00** **Projet :08**

CM

Commande « 120° »

Etude et modélisation des machines électriques polyphasées et multi-étoile

Structure d'alimentation et de commande des machines polyphasées et multi-étoile

Stratégie de contrôle des entraînements électriques tolérants aux défauts en modes normal et dégradés (en présence défauts de machines électriques et d'électronique de puissance)

Projet

Mise en œuvre d'un système de conversion électromécanique polyphasé tolérant aux défauts en mode normal et mode de défaut (mode dégradé).

- **Evaluation**

Evaluation de compte rendu de projet et examen

UE – B15- Conversion électromécanique à haute disponibilité	Thierry Boileau
EC – Conversion électromécanique à haute disponibilité (partie 2)	Thierry Boileau

- **Objectifs**

L'objectif du module est d'étudier les conséquences des principaux défauts que peuvent subir les systèmes de conversion électromécanique (électronique de puissance et machines électriques), ainsi que les méthodes qui permettent de les détecter (et d'assurer le passage en mode de fonctionnement dégradé).

On retrouve ces méthodes de détection notamment dans les gouvernails d'avion, les éoliennes offshore, les pompes immergées (subsea), les moteurs de Navire...

- **Compétences acquises**

Connaissance des modèles des machines et des convertisseurs d'électronique de puissance en présence de défaut.
Connaissance des différentes signatures de défaut des machines électriques alternatives et application au passage en mode de fonctionnement dégradé.

Mise en œuvre d'une commande en cas de panne du capteur mécanique.

Quelques sociétés mettant en œuvre ces compétences : SAFRAN, GE, Garrett, IFP Energies Nouvelles, Naval Group

- **Prérequis**

Machines électriques en S6 et en S7 ; Electronique de puissance en S6 et en S7 et UE A2 du S8

- **Programme pédagogique CM : 14 TD : 12 TP : 08 Projet : 08**

<p>CM</p> <p>Etude et modélisation et détection des machines électriques en présence de court-circuit inter-spires statoriques. Etude et modélisation et détection de défaut d'un onduleur triphasé. Etude et de la commande des Machines Synchrones à aimants permanents en cas d'absence ou de panne du capteur mécanique. Etude de cas industriel de mise en œuvre de détection de défaut de machines électriques</p> <p>TP</p> <p>Mise en œuvre de la commande des Machines Synchrones à aimants permanents en cas d'absence ou de panne du capteur mécanique.</p> <p>Projet</p> <p>Etude et mise en œuvre et détection de défaut d'une chaîne de conversion électromécanique, le projet pourra être couplé avec l'EC : Bloc B15-S9-1</p>

- **Evaluation**

Evaluation de compte rendu de TP et de projet et examen

UE - Composants ETNP dans leur environnement

I. RASONARIVO

EC - Composants semiconducteurs de puissance

S. RAEL

• **Objectifs**

La conversion statique de l'énergie électrique repose sur la mise en œuvre de composants électroniques de puissance, et relève donc d'une connaissance détaillée des principes de fonctionnement de ces dispositifs, de leurs contraintes, de leurs limites. L'objectif de cet EC est de transmettre aux étudiants cette connaissance nécessaire à la conception et au dimensionnement des convertisseurs statiques, d'appréhender les technologies actuelles (à base de silicium), et les technologies du futur (matériaux semiconducteurs à grand gap, SiC et GaN notamment).

• **Compétences acquises**

- Eléments de connaissance requis pour la conception d'un convertisseur d'électronique de puissance
- Connaissance des comportements statique et dynamique des principaux interrupteurs semiconducteurs de puissance
- Evaluation des contraintes électriques et des pertes des composants d'un système de puissance
- Mise en œuvre des composants semiconducteurs de puissance, en particulier des transistors à grille

• **Prérequis**

- Outils pour l'électricité et l'électronique (S5)
- Electronique de puissance (S6 et S7)

• **Programme pédagogique** **CM : 22** **TD : 00** **TP : 08**

Cours : 22 heures

- Physique des semiconducteurs : à l'équilibre thermodynamique, hors équilibre thermodynamique
- Fonctions semiconductrices de base : tenue en tension, modulation de résistivité, commande par la grille
- Principes de fonctionnement des principaux composants semiconducteurs de puissance : structure, schéma équivalent, caractéristique statique, comportement dynamique
- Environnement : encapsulation, cellule de commutation, commande, refroidissement.

Travaux pratiques : 8 heures

Etude expérimentale du fonctionnement d'un transistor de puissance (transistor MOS de puissance ou transistor bipolaire à grille isolée)

- Caractéristique statique, évaluation des pertes de conduction
- Formes d'onde en commutation : identification des phases de commutation, durées, pertes dynamiques
- Influence de la commande : sur la rapidité, les pertes, les surtensions, le recouvrement de la diode associée au transistor
- Influence du câblage, mesure de l'inductance parasite
- Simulation sous logiciel Saber

• **Evaluation**

- Examen écrit de deux heures sans documents - coefficient 1/2
- Compte-rendu de TP - coefficient 1/2

UE - Composants ETNP dans leur environnement

I. RASONARIVO

EC - Compatibilité électromagnétique (CEM)

I. RASONARIVO

- **Objectifs**

L'utilisation croissante des interrupteurs de puissance à commutation ultra rapide, avec des gradients de tension $dv/dt \approx 1 \text{ à } 10 \text{ V/ns}$ et de courant $di/dt \approx 1 \text{ à } 10 \text{ A/ns}$ relativement élevés, génèrent au sein des systèmes les incluant des perturbations oscillantes à haute fréquence, de l'ordre de 20MHz. Le module se décrit comme un bureau d'études qui met en exergue le pourquoi de ces phénomènes et propose des remèdes pour atténuer leurs influences pour disposer un comportement acceptable par les Normes restrictives en conséquence.

- **Compétences acquises**

Les compétences acquises à la suite de ce module sont :

- Connaissance maîtrisée de la commutation d'un interrupteur
- Influence temporelle, fréquentielle et énergétique de ces commutations pour le respect des intégrités des interrupteurs
- Phénomènes de perturbations à haute fréquence
- Utilisation du Logiciel SABER

- **Prérequis**

Convertisseurs de base en Electronique de Puissance, logiciels Matlab Simulink

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 00** **TP : 16**

Cours 16h

- Mise en évidence des phénomènes des modes conduits commun et différentiel ;
- Analyse synthétique des phénomènes de mode conduit : Méthode de mesure (RSIL), filtre de mode différentiel, filtre de mode commun (Shaffner), principe des bus barres laminaires ;
- Analyse des phénomènes de surtensions sur lignes longues alimenté par un convertisseur à découpage
- Etude comportemental d'un enroulement de machine électrique alimenté par un convertisseur à découpage avec SiC.

Travaux pratiques 16h

- TP1 : Mesure des courants de mode conduit d'un convertisseur (par PMM7000);
- TP2 : Mise en évidence de l'influence de filtre de mode différentiel et de filtre de mode commun sur le comportement d'un convertisseur ;
- TP3 : Mise en évidence des phénomènes de surtension pour les lignes longues soumises à des impulsions MLI et les remèdes appropriés pour atténuer ces surtensions ;
- TP4 : Identification expérimentale par diagramme de Bode du comportement fréquentiel de l'enroulement de machines électriques. Mise en évidence des phénomènes de surtension sur les enroulements des machines électriques soumis à des impulsions MLI des convertisseurs SiC et les remèdes appropriés pour ces surtensions.

- **Evaluation**

Deux projets individuels (par étudiant) sous forme de devoir à la maison font office d'examen final

UE - Systèmes de stockage électrique	M. HINAJE
EC - Stockage électrochimique de l'énergie électrique	M. HINAJE

- **Objectifs**

La production d'énergie électrique se diversifie, et s'oriente peu à peu vers des sources primaires renouvelables, dont le déploiement à grande échelle nécessitera de gérer l'intermittence de ces sources par des solutions de stockage de l'énergie électrique. Le domaine des transports, et notamment celui des véhicules particuliers, va vers une électrification croissante, avec là encore la nécessité de recourir au stockage de l'énergie électrique

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser, caractériser et dimensionner des systèmes de stockage électrochimique de l'électricité (supercondensateurs, batteries) et de dispositifs relevant du vecteur hydrogène (piles à combustible et électrolyseurs).

- **Prérequis**

Aucun

- **Programme pédagogique** **CM : 18** **TD : 00** **TP : 12**

L'objectif de cet EC est de transmettre aux étudiants les bases théoriques nécessaires et préalables à la conception, au dimensionnement et à la gestion des systèmes de stockage électrochimique de l'énergie électrique, dont la mise en œuvre est envisagée tant dans les réseaux électriques que pour le domaine de la mobilité.

L'accent sera mis sur les principes généraux de fonctionnement, la modélisation physique (pour la connaissance du fonctionnement intime et des limites associées) et la modélisation globale (pour la gestion énergétique et l'estimation in-situ) des batteries (technologies lithium-ion, notamment), des supercondensateurs, et des dispositifs relevant du vecteur hydrogène, piles à combustible et électrolyseurs.

- Notions de base en électrochimie : couche double électrique, réaction redox, potentiel d'électrode, cinétique électrochimique et surtensions d'électrodes, transport de charges et de matière, impédances de diffusion
- Accumulateurs électrochimiques : définitions, principes, technologies de batteries (acide plomb, alcalines, lithium-ion), batteries du futur
- Batterie lithium-ion : principes, technologies, modélisation physique, modélisation globale, état de charge, de santé, de fonction
- Pile à combustible et système pile : technologies de piles, pile PEM : principe de fonctionnement, constitution, comportement statique et dynamique, modélisation physico-chimique, modélisation externe
- Supercondensateurs : principe, technologies, modélisation physique, modélisation externe, applications et mise en œuvre

TP1 : Modélisation d'une batterie lithium-ion

TP2 : Caractérisation de supercapacités

TP3 : Caractérisation d'une source hybride pile à combustible-supercapacités.

Mots-clés : stockage électrochimique, batteries, supercapacités, hydrogène

- **Evaluation**

Compte-rendu de TP

UE – Systèmes de stockage électrique	M. Hinaje
EC – convertisseurs d'électronique de puissance d'interface	S. Pierfederici

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est de permettre aux étudiants de maîtriser les structures de conversion servant d'interface entre les systèmes de stockage et les réseaux d'énergie DC ou AC. La modélisation intégrera les éléments parasites comme les inductances dans les structures multi enroulements, la capacités parasites interspires, les résistances EsR, les pertes fer dans les circuits magnétiques, les commutations des semi-conducteurs.

- **Compétences acquises**

Savoir modéliser, dimensionner et mettre en œuvre des convertisseurs statiques en intégrant les éléments parasites

- **Prérequis**

Electronique de puissance S7

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 00** **TP : 16**

Seront étudiés dans ce module :

- la conversion AC/DC de forte puissance pour les applications faible tension - fort courant DC
- la conversion DC/DC isolée avec intégration des éléments parasites : seront notamment étudiées les structures isolées quasi-résonantes, les circuits de clamping passifs et actifs, les topologies Dual Active Bridge, multi ports, current fed isolated converter, ainsi que le principe des convertisseurs à puissance partielle et les structures de puissance permettant l'équilibrage des cellules de batteries (BMS)

Le plan du cours est le suivant :

1. Conversion AC/DC abaisseur de forte puissance (2h CM, 4h TP).
2. Convertisseurs isolés (12h CM, 12h de TP)

TP1 : Etude par simulation numérique d'un convertisseur triphasé AC DC abaisseur

TP2 : Dimensionnement et mise en œuvre d'une alimentation à découpage avec circuit de clamping actif

TP3 : Simulation numérique d'un convertisseur isolé de type current fed isolated DC DC converter

TP4 : Etude, dimensionnement et simulation numérique d'un convertisseur utilisé dans un BMS (Battery management System)

- **Evaluation**

Note 1 = Note des TP1&2&3&4

Note 2 = Note examen (ou projet)

Note finale = $0.4 \cdot \text{Note 1} + 0.6 \cdot \text{Note 2}$

UE – Power-Hardware-In-The-Loop" (P-HIL)

Responsable UE : C-H Bonnard

EC – Bloc B18-S9-1 - P-HIL : outils et techniques (10h CM, 20h TP)

Nom responsable de l'EC : Ehsan Jamshidpour

- **Objectifs**

Ce module a pour objectif de décrypter les éléments clés d'une simulation "Power Hardware-In-the-Loop" (P-HIL) avec la présentation d'outils de simulation qui permettent d'intégrer des dispositifs physiques (contrôle/commande et/ou actionneur) dans une boucle de simulation par l'intermédiaire de signaux faibles issus de capteurs (courant, tension, vitesse...). On insistera sur la mise en œuvre expérimentale et la compréhension de la méthodologie P-HIL au travers de TPs. Cet EC a pour objectif l'acquisition des notions essentielles qui peuvent être approfondies avec l'EC Projet P-HIL (B18-S9-2).

- **Compétences acquises**

Modélisation et exploitation de modèles des systèmes testés et/ou de leur environnement

Instrumentation et mesures

Planification et mise en place d'essais avec la méthode P-HIL visant à valider :

- Le bon fonctionnement des appareillages testés ou encore de leurs réglages et lois de commande.
- La vérification du comportement d'un modèle au travers une campagne de mesures ciblées.

- **Prérequis**

Aucun prérequis.

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 00** **TP : 20**

Aucun prérequis Cours 10h :

- Introduction aux outils et techniques de simulations existants (notamment dSPACE).
- Mise en place d'un outil de simulation P-HIL : Décryptage des étapes clés.

Travaux pratiques 20h TP :

- Contenu : 5 TP de 4h.
- TP1 : Introduction au P-HIL : Couplage simulation et dispositifs physiques simples.
- TP2 : Systèmes triphasés et mesure/acquisition/intégration de signaux analogiques.
- TP3 : Qualité de l'énergie électrique et analyse de puissance pour les réseaux électriques.
- TP4 : Appareillage de protection, choix, réglages et vérification.
- TP5 : Détection des défauts dans les convertisseurs, application énergies renouvelables.

- **Evaluation**

Modalité d'évaluation : Comptes rendus de TP individuels, pas d'examen final.

UE – Power-Hardware-In-The-Loop" (P-HIL)	Responsable UE : C-H Bonnard
EC – Bloc B18-S9-2 - Projet P-HIL (10h TD, 20hTP)	Nom responsable de l'EC : C-H Bonnard

- **Objectifs**

Ce module a pour objectif de mettre en application l'ensemble des éléments abordés dans l'EC1 (B18-29-1) avec la mise en place des outils de simulation "Power Hardware-In-the-Loop" (P-HIL) dans le cadre d'un projet tutoré (à réaliser en groupe). Les sujets sont évolutifs, semi-ouverts et sont à définir avec les enseignants du département de génie électrique en début de session. Ces derniers feront appel aux connaissances acquises par les élèves dans leurs cursus antérieurs. Il est attendu que les élèves mettent en place des méthodes et des outils de gestion de projet pour planifier et préparer au mieux leur projet, intègrent des modèles de simulations et procèdent à l'instrumentation des appareillages à tester, en vue de réaliser leurs essais avec la méthode P-HIL.

- **Compétences acquises**

Les compétences acquises à la suite de ce module viennent compléter celle de l'EC1:
 +Modélisation et exploitation de modèles des systèmes testés et/ou de leur environnement.
 +Instrumentation et mesures des appareillages.
 +Planification et mise en place d'essais avec la méthode P-HIL visant à valider :
 -Le bon fonctionnement des appareillages testés ou encore de leurs réglages et lois de commande
 -La vérification du comportement d'un modèle au travers une campagne de mesures ciblées et définies à l'avance.

- **Prérequis**

Aucun prérequis.

- **Programme pédagogique** **CM : 0** **TD : 10** **TP : 20**

TD 10h :
 • Préparation et analyse du projet (aspects techniques et pratiques)
 • Application des outils de gestion de projet
 Ces étapes permettent de prendre connaissance du projet, d'en assurer l'organisation dans le groupe, d'en garantir le suivi et la réorganisation selon son évolution.

Travaux pratiques 20h TP : Réalisation du projet.

- **Evaluation**

Modalité d'évaluation : Cahier des charges, compte-rendu de projet, évaluation individuelle par présentation orale de l'avant projet et du projet, pas d'examen final.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Nom responsable UE ou Bloc
EC – Echangeur de Chaleur et Recuperation de la Chaleur Fatale	Nicolas Rimbart

- **Objectifs**

L'objectif de ce cours consiste à donner aux ingénieurs ENSEM les compétences nécessaires pour connaître les techniques de récupération de la chaleur fatale développée à l'heure actuelle dans le milieu industriel. Un accent fort est mis sur les méthodes de dimensionnement des échangeurs de chaleur, omniprésents dans l'industrie. On parlera principalement des échangeurs monophasiques mais une brève extension des méthodes exposées aux cas importants des condenseurs et des évaporateurs conclura cette partie. La récupération de chaleur fatale sera abordée (contexte global, méthodologie et technologies).

- **Compétences acquises**

Dimensionner un échangeur de chaleur, choix de la méthode, ordre de grandeur.
Introduction aux échangeurs avec changement de phase (évaporateurs, condenseurs).
Connaissance des sources de chaleurs fatales, des technologies de récupération et des méthodologies de comparaison et d'évaluation.

- **Prérequis**

Mécanique des fluides (fondamentale, turbulence et couche limite...etc.).
Transferts thermiques (couche limite thermique, température de film...etc.)
Thermodynamique fondamentale

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 10** **TP : 04**

Le contenu de ce cours est divisé en deux parties:

Echangeur de chaleur (N. Rimbart)

- 1- Introduction aux échangeurs de chaleur
- 2- Dimensionnement des échangeurs co-courant et contre-courant par la méthode NUT et DTLM
- 3- Corrélations utiles en transfert de chaleur dans les échangeurs
- 4- Extension de la méthode NUT et DTLM aux autres configurations d'échangeur
- 5- Modélisation numérique d'un échangeur de chaleur avec Matlab
- 6- Cas des évaporateurs et des condenseurs

Récupération de la chaleur fatale (F. Lemoine)

- 1- Le vecteur chaleur dans le monde
- 2- Méthodologie d'évaluation des gisements de chaleur fatale, notions d'exergie
- 3- Les technologies de récupération de la chaleur fatale à différents niveaux de température
- 4- Un exemple : la cogénération nucléaire

- **Evaluation**

L'évaluation est faite pour la partie échangeur via un examen final auquel s'ajoute un rapport de bureau d'étude et une note de TP matlab.
L'évaluation de la partie récupération de la chaleur fatale consiste en la remise d'un rapport projet.

B19 - Réseaux d'énergie

Nicolas RIMBERT

Hydrogène : production et usages énergétiques

Giuseppe Sdanghi

- **Objectifs**

L'hydrogène joue depuis longtemps un rôle important dans certains secteurs industriels, notamment la chimie. Des applications dans le domaine de l'énergie sont également possibles et en cours de développement. En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène peut être utilisé pour stocker l'énergie électrique, ce qui facilite l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau actuel. La filière hydrogène sera présentée dans son ensemble (production, stockage et utilisation). Les différentes technologies de l'hydrogène seront abordées.

Traduit avec www.DeepL.com/Translator (version gratuite)

- **Compétences acquises**

Les compétences nécessaires à ce module sont normalement déjà acquises.

Des connaissances complémentaires pourront être acquises dans le domaine de la conversion électrochimique en général et de l'hydrogène pour l'énergie.

- **Prérequis**

EC Thermodynamique (S5)
 EC Mécanique des Fluides et Applications (S6),
 EC Initiation Transferts Thermiques (S7)
 Bloc Couplages Fluides et Thermique pour les systèmes énergétiques (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 20** **TD : 00** **TP : 00**

- Contexte énergétique actuel: épuisement progressif des énergies fossiles, inégalité énergétique, risques environnementaux
- Introduction au vecteur énergétique hydrogène: intégration dans les smart grids
- Sûreté et sécurité hydrogène: évaluation du risque d'explosion/detonation
- Production d'hydrogène: méthodes conventionnelles (reformage à la vapeur du méthane et oxydation partielle des hydrocarbures) et innovantes (électrolyse et fermentation de biomasse)
- Stockage d'hydrogène: compression, liquéfaction et stockage en phase solide
- Introduction aux piles à combustible: analyse thermodynamique et bilans de matière, charge et chaleur
- Piles à combustible à membrane échangeuse de protons: approche multiphysique

- **Evaluation**

Etude de cas et mise en situation pour dimensionner les éléments clés de la filière hydrogène

UE - Réseaux d'énergie	N. RIMBERT
EC - Internet de l'énergie thermique	B. REMY

- **Objectifs**

De nombreuses sources de production d'énergie, de conversion et de stockage existent et nécessitent une mise en réseau pour garantir un fonctionnement efficace et optimal des différentes utilités. L'Analyse PINCH est un outil performant permettant d'évaluer les potentiels des sources chaude et froide d'un site industriel ou d'un procédé. Une fois ce potentiel identifié avec éventuellement un apport d'énergie du côté chaud ou froid du réseau, reste à savoir comment mettre en œuvre les utilités (éléments de conversion et stockage) qui vont permettre d'échanger le plus efficacement possible de l'énergie entre les différentes sources.

- **Compétences acquises**

- Modélisation et simulation sous Simulink et Modelica d'un réseau de chaleur et de ses utilités.
 - Optimisation d'un réseau en fonction de son profil d'utilisation.
 - Mise en œuvre numérique et expérimentale.

- **Prérequis**

EC Thermodynamique (S5)
 EC Initiation Transferts Thermiques (S7)
 Bloc Conversion thermique et fluide dans les systèmes énergétiques (S8)
 Bloc Connaissances générales sur les réseaux, les sources et éléments de stockage (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 08** **TD : 00** **TP : 08**

On pourra s'intéresser à des solutions passives constitués par des réseaux d'échangeurs (Voir EC1), des utilités à base de changements de phases (PAC ou ORC) permettant des échanges entre les zones au-dessus et en dessous du point de pincement (Réseaux HEN). Une des applications concernera la mise en place d'un réseau de chaleur avec des sources de chaleur (chaudière biomasse, récupération de chaleur fatale, ...) et d'un système de conversion à changement de phase réversible. Ce réseau intégrera d'autres dimensions telles que les pertes de charge du réseau, les pertes de chaleur et l'aspect technico-économique (Super-Targeting). On s'intéressera aussi à l'intégration de systèmes de récupération de chaleur fatale pour améliorer l'efficacité de systèmes de cogénération (Stirling intégré à une pile SOFC et couplés avec un DEACH), Pompe à chaleur couplée avec des panneaux solaires hybrides et unité de stockage à chaleur sensible ou électrochimique par un onduleur (Voir EC2). Dans ces différents cas, on cherchera à modéliser le système sous Simulink et/ou Modelica.

- Cours 1 : Analyse Pinch pour évaluer le potentiel d'un réseau.
 - Cours 2 : Optimiser les transferts de chaleur entre différentes sources à l'aide d'un réseau d'échangeurs (HEN).
 - Cours 3 : Intégrations d'ENR, de PAC et ORC dans un réseau de chaleur.
 - Cours 4 : Prise en compte de critères technico-économiques pour l'optimisation d'un réseau de chaleur (Multi-targeting)

• TP n°1 : Modélisation et optimisation d'un réseau de chaleur
 • TP n°2 : Modélisation d'un système hybride de production, conversion et stockage d'énergie (simulation et à terme expérimentation).

Mots-clés : Pinch Analysis, Heat Exchanger Network, Super-Targeting, Simulink, Modelica.

- **Evaluation**

Evaluation sous forme d'un mini-projet

UE – Ecoulements à haute vitesse et conversion de l'énergie par combustion

F. Lemoine

EC – Ecoulements à haute vitesse

F. Lemoine

• **Objectifs**

Maitriser les écoulements à haute vitesse dans le cadre de la théorie 1D de la dynamique des gaz compressibles. Les applications concernent les écoulement rencontrés en aéronautique (aérodynamique interne- propulsion- et externe) ou encore dans les systèmes de transport de gaz (vecteurs énergétiques), vapeur, dans les installations industrielles.

• **Compétences acquises**

- Maitriser les principaux concepts liés à la théorie 1D des gaz compressibles, dans les domaines subsoniques et supersoniques.
- Etre capable de réaliser des calculs simple (prédimensionnement) à l'aide de tables et abbaques ou d'outils de calcul libres

• **Prérequis**

Mécanique des fluides de base
Thermodynamique fondamentale

• **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 10** **TP : 00**

- Concepts et outils pour la dynamiques de gaz (mécanique des fluides et thermodynamique)
- Notions de compressibilité, propagation d'une onde de pression
- Théorie 1D des écoulement de gaz compressibles
- Ondes de choc droites
- Ondes de choc obliques
- Ecoulements supersoniques, détente de Prandtl-Meyer
- Ecoulements 1D compressibles en conduite longue : avec pertes de charge, avec transferts de chaleur

• **Evaluation**

Rédaction d'une série d'exercices par groupe.

UE – Ecoulements à haute vitesse et conversion de l'énergie par combustion

F. Lemoine

EC – Conversion de l'énergie par combustion

F. Lemoine

• **Objectifs**

Maîtriser les principaux concepts de la combustion en régime laminaire et aborder la combustion turbulente à l'aide d'études de cas (TP numériques).

L'objectif du cours est axé sur la compréhension des couplages complexes entre mécanique des fluides, chimie et transferts thermiques. Le cours est illustré par des exemples d'application en propulsion (moteurs à combustion interne, turbomachines aéronautiques). Il permet aussi de positionner la conversion d'énergie par combustion dans le cadre de la transition énergétique : formation des polluants, nouveaux combustibles bas carbone.

• **Compétences acquises**

- Maîtriser les principaux concepts pour différents cas de combustion laminaire (flamme de pré-mélange, flamme de diffusion)
- Maîtriser les notions de base de cinétique chimique et de thermochimie
- Etre capable de réaliser des bilans de matière et d'énergie en milieu réactif
- Etre capable de mettre en œuvre des simulations numériques de cas simples en combustion turbulente
- Etre capable de positionner la conversion d'énergie par combustion dans le cadre de la transition énergétique

• **Prérequis**

Mécanique des fluides
Thermodynamique fondamentale
Bases de chimie et thermochimie

• **Programme pédagogique** **CM : 32** **TD : 0** **TP : 6**

- Introduction à la combustion : découverte de différents phénomènes à l'aide d'exemples en propulsion (moteurs à combustion interne, systèmes propulsifs, ...)
- Notions indispensables de cinétique chimique et de thermochimie
- Formation des polluants issus de la combustion, techniques de remédiation
- Flammes de pré-mélange, flamme de diffusion: modélisation, évaluation des principaux ordres de grandeur
- Ondes de combustion (déflagration et détonation)
- Combustion diphasique de combustibles liquides
- Turbomachines aéronautiques (statoréacteur, turbo-propulseurs, turbo-réacteurs simple et double flux, nouveaux concepts éco-efficaces de turbomachines)
- TP numériques de combustion turbulente (étude de deux cas simples- flamme de pré-mélange, flamme de diffusion)
- Combustion et transition énergétique : gas à effet de serre et possibilités d'atténuation des émissions, nouveaux combustibles bas carbone

• **Evaluation**

- Rédaction d'une série d'exercices par groupe (coefficient 0.4)
- Mini-projet (combustion dans la transition énergétique) - rapport et exposé (coefficient 0.4)
- TP numérique (coefficient 0.2)

B21 – Méthodes expérimentales pour la caractérisation des transferts

Perrin Jean-Christophe

EC – Métrologies avancées des transferts

Perrin Jean-Christophe

- **Objectifs**

Cet EC, comportant uniquement des cours magistraux, aborde les principes et la mise en application de métrologies fluides et thermiques avancées. Les métrologies présentées balayent un spectre large, de la fluorescence induite par laser (LIF), l'imagerie par vélocimétrie de particules (PIV) à l'imagerie par Résonance Magnétique (IRM) pour la partie fluide et des méthodes avec et sans contact (Flash) à la microscopie thermique à balayage pour la partie thermique.

- **Compétences acquises**

Les élèves maîtriseront les bases de méthodes expérimentales avancées dédiées à l'étude de transferts de masse et de chaleur dans les écoulements et en milieux complexes. Ces connaissances seront ensuite mise en œuvre dans la seconde partie du bloc, purement expérimentale.

- **Prérequis**

aucun

- **Programme pédagogique** **CM : 40** **TD : 00** **TP : 00**

CM :

- Introduction sur les métrologies fluides et thermiques
- Métrologie fluide : méthodes RMN et IRM
- Métrologies fluides : méthodes laser : LiF, PIV
- Métrologies thermiques avec et sans contact
- Microscopie à sonde locale et microscopie thermique à balayage

- **Evaluation**

Exposé oral (20 min + 15 min questions) portant sur une des méthodes expérimentales vues en cours en lors des TP de l'EC "Etudes expérimentales avancées de phénomènes de transfert".
Cet EC compte pour 2/3 de la note du bloc B21.

UE – Méthodes expérimentales pour la caractérisation des transferts	Jean-Christophe PERRIN
EC – Etudes expérimentales avancées de phénomènes de transferts	Ophélie CABALLINA

- **Objectifs**

Cet enseignement a pour objectifs :

- de mettre en pratique les compétences théoriques acquises dans l'EC1 du bloc ;
- de familiariser les élèves à des métrologies de pointe -parfois uniques au sein d'écoles d'ingénieurs- telles que les méthodes laser, l'imagerie par résonance magnétique, les méthodes thermiques avec et sans contact et la microscopie thermique.
- d'analyser le retour d'expériences.

- **Compétences acquises**

A l'issue de cet enseignement, les étudiants disposeront de compétences poussées dans le domaine de la caractérisation expérimentale des transferts et sur des métrologies de pointe utilisées dans l'industrie et développées en amont dans les laboratoires. Ils seront à même de mettre en pratique leurs connaissances des différentes méthodes à disposition afin de mener une étude complète des phénomènes de transferts thermiques et fluides mis en jeu dans les montages expérimentaux proposés.

- **Prérequis**

EC Thermodynamique (S5), EC Mécanique des Fluides et Applications (S6), EC Initiation Transferts thermiques (S7),
UE Mécanique des fluides pour l'ingénieur (S8), UE Transfert et conversion d'énergie (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 00** **TD : 00** **TP : 20h00**

Le programme est composé de 5 séances de 4h d'expérimentation sur des thèmes variés mêlant les différentes approches expérimentales fluides et thermiques vues en cours dans l'EC1 : vélocimétrie par images de particules, fluorescence induite par laser, mesures de propriétés thermophysiques par caméra infra-rouge, nanothermique et RMN

- **Evaluation**

Mise en situation sur des bancs expérimentaux pour mettre en œuvre une technique de mesure afin de quantifier des mécanismes de transfert. Une rédaction de compte-rendu et un exposé évalueront les compétences de rédaction et d'expression orale.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Nom responsable UE ou Bloc
B22- Ecoulements Multiphasiques et Interface	Nicolas Rimbart

- **Objectifs**

Ce cours est centré principalement autour de la notion d'interface entre deux fluides (bien que les interfaces fluides/solides soient également évoqué). Il s'agit ici de détailler la notion de tension interfaciale, de son origine microscopique à son interprétation macroscopique. Les applications sont ici la notion de mouillage ou la forme des gouttelettes. La modélisation des écoulements multiphasiques est ensuite abordée en étendant la notion de bilan intégrale vue en première année aux cas multiphasiques. On en déduit la notion de "condition de saut" à l'interface qui sera essentiel pour aborder la modélisation des changement de phase.

- **Compétences acquises**

Tension de surface et tension interfaciale
 Modélisation théorique des écoulements multiphasiques
 Modélisation numérique des écoulements multiphasiques

- **Prérequis**

Mécanique des fluides de première année.
 Méthodes des volumes finis

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : TP : 06**

Le cours se découpe en six partie
 1- Notion de tension de surface
 2- Equation de bilan en multiphasique
 3- Condition de saut aux interfaces
 4- Modélisations macroscopiques des écoulements multiphasiques (Eulerienne, Eulerienne/Eulerienne, Eulerienne/Lagrangienne)
 5- Méthodes numériques:
 a) méthode des volumes finis (rappel)
 b) méthode VOF/PLIC de suivi de l'interface
 c) méthode CSF Continuum Surface Force (CSF) de discrétisation des forces interfaciales
 6- Instabilité de Kelvin-Helmholtz et apparition de vagues sur une interface cisailée

- **Evaluation**

L'évaluation est faite via la remise d'un rapport de bureau d'étude sur le calcul analytique et numérique avec le logiciel Fluent de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz.

UE – Transfert aux interfaces pour des procédés industriels efficaces

Ophélie CABALLINA

EC – Gouttes, interfaces, et changement de phase

Ophélie CABALLINA

• **Objectifs**

Cet EC vise à aborder la problématique des écoulements diphasiques avec changement de phase. Ces écoulements prennent une part importante dans les procédés industriels (refroidissement de surfaces par spray en sidérurgie, en sûreté nucléaire etc) ou lorsqu'il y a des problèmes de givrage (aéronautique ou éolienne). Bien que la plupart du temps, ces écoulements diphasiques se présentent sous forme d'un spray de gouttes polydisperses, cet EC se concentre sur la thématique générale d'interaction gouttes-parois dans des situations de température extrêmes. En particulier, l'objectif est de caractériser la dynamique de l'impact des gouttes mais aussi les différents changements de phase qui peuvent avoir lieu lors de l'impact sur la paroi fortement sous-refroidie ou surchauffée. Les aspects théoriques ainsi développés seront appliqués en s'appuyant sur des

• **Compétences acquises**

- Connaître les différents régimes d'impact et les différentes phases d'étalement d'une goutte en interaction avec une paroi rigide
- Identifier et modéliser les transferts de chaleur et de masse entre une goutte et une paroi rigide.
- Savoir quelles méthodes numériques et expérimentales peuvent être mises en œuvre pour caractériser les mécanismes d'interaction gouttes-parois

• **Prérequis**

EC Thermodynamique (S5), EC Mécanique des Fluides et Applications (S6), EC Initiation Transferts hermiques (S7)
UE Transfert et conversion d'énergie (S8)

• **Programme pédagogique** **CM : 12h00** **TD : 00** **TP : 8h00**

Partie 1 : Interaction sur une paroi à haute température

- Evaporation, ébullition en vase : évaporation d'une goutte en milieu infini ou sur paroi (température de Leidenfrost), courbe d'ébullition (ébullition nucléée, flux critique, ébullition en film...)
- Problématique de l'impact d'une goutte sur une paroi à haute température (régimes d'impact, influence du substrat, du fluide et de la vitesse d'impact sur les transferts)
- Un TP de h : simulation numérique de l'évaporation d'une goutte en milieu infini.

Partie 2 : Interaction sur une paroi sous-refroidie

- Deux CM de 2 heures : phénomène de surfusion, problème de Stefan 1D, influence du substrat, problématique générale du givrage et méthodes de caractérisation expérimentales
- Un TP de 4h : simulation numérique de la solidification d'une goutte

• **Evaluation**

Les compétences en analyse et en modélisation d'un problème de transfert de chaleur et de masse avec interfaces liquide-solide seront évaluées par le travail réalisé en séances de travaux pratiques. L'étudiant devra montrer son aptitude à mettre en équation le problème physique proposé, le mettre en œuvre dans un logiciel commercial. La validation avec des résultats expérimentaux permettra de valider la justesse de l'approche retenue.

UE – Transfert aux interfaces pour des procédés industriels efficaces	Ophélie CABALLINA
EC – Modélisation des transferts dans des systèmes et procédés industriels	B. REMY

- **Objectifs**

Dans de nombreuses applications ou procédés industriels, les transferts aux interfaces jouent un rôle important. Il est souvent important de pouvoir évaluer les températures et flux de parois (estimation de fonctions) pour identifier par exemple des lois de transfert (estimation de lois de comportement) dans le cas de systèmes en régime instationnaire et soumis à des sollicitations thermiques en températures et/ou en flux non uniformes (turboréacteurs, rentrée atmosphérique de véhicules hypersoniques, torches à plasmas, ...).

- **Compétences acquises**

- Identification de températures et flux de parois instationnaires
- Estimation de lois de couplage fluide-paroi dans un contexte industriel (régime instationnaire, flux et température non uniformes).
- Couplage entre un four et sa charge
- Identification de fonctions de transfert (transmittances ou impédances) d'un système industriel par modèles convolutifs et/ou paramétriques.

- **Prérequis**

EC Thermodynamique (S5)
 EC Mécanique des Fluides et Applications (S6),
 EC Initiation Transferts hermiques (S7)
 Bloc Couplages Fluides et Thermique pour les systèmes énergétiques (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 12h00** **TD : 00** **TP : 8h00**

Ces compétences s'appliquent dans l'industrie aéronautique et spatiale mais aussi le domaine de la métallurgie ou verrier avec notamment le forgeage de pièces manufacturées (aubes de turbines, flacons de parfums, pare brises de véhicules, ...) où le contact fluide/paroi joue un rôle déterminant dans l'optimisation des process industriels et la qualité des pièces produites. Dans d'autres procédés, les transferts de chaleur couplés entre le système de chauffe (four à gaz, à induction ou panneaux radiants électriques sous vide, ...) et sa charge vont jouer un rôle déterminant. Dans ce cas, il est important de pouvoir déterminer le comportement du four et de sa charge en identifiant des fonctions de transfert (transmittances ou impédances) décrivant le comportement du système. Ces fonctions de transfert peuvent servir pour faire du contrôle en ligne et hors ligne

- Cours 1 : Estimation de Températures et flux de parois instationnaires (capteurs « virtuels »)
- Cours 2 : Notion d'impédance thermique pour le couplage fluide-paroi en instationnaire et température/flux non uniformes.
- Cours 3 : Estimation de répartition de flux par méthode thermographique.
- Cours 4 : Modélisation et identification du comportement dynamique de systèmes thermiques.
- Cours 5 : Couplage thermique d'un four (chauffage gaz ou électrique sous vide) et sa charge.
- Cours 6 : Identification de modèles en ligne et hors ligne de comportement de systèmes.
- TP n°1 : Estimation de flux et température en régime transitoire entre une paroi et un fluide (moule et liquide) : Applications MBDA, POCHET et SAFRAN (4h)
- TP n°2 : Estimation de fonctions de transfert (transmittance ou impédance) dans des systèmes et procédés industriels : Applications AIRBUS, SGR et FIVES (4h)

Mots-clés : Flux et température de parois, Lois de comportement aux parois, Modèles convolutifs, Fonctions de transfert (Transmittance, Impédance, ...).

- **Evaluation**

Evaluation sur des cas tests

NRJ	S9	Fr
-----	----	----

UE – Intensification des transferts	Nicolas LOUVET
EC – Modélisation de la turbulence	Ophélie CABALLINA

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est de présenter la modélisation numérique de la turbulence. Les modèles moyennés RANS utilisés dans FLUENT (Reynolds Average Navier-Stokes) ainsi que les modèles de simulation des grandes échelles LES (Large Eddy Simulation) seront développés. Il sera possible d'aborder les méthodes spectrales et la formulation énergétique des équations. La mise en application dans un code commercial de CFD pourra se faire dans l'EC3 « simulation numérique et applications ».

- **Compétences acquises**

Les étudiants seront en capacité de choisir judicieusement et d'utiliser les modèles de turbulences proposés dans les logiciels de simulation industriel (FLUENT, COMSOL).

- **Prérequis**

UE Mécanique Appliquée (S6), UE Mécanique des fluides pour l'ingénieur (S8), UE Modélisation & Simulation numérique en Thermique, Mécanique des Fluides et Solides (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 10h00** **TD : 00** **TP : 00**

- Physique de la turbulence
- Modèles RANS : modèles du premier (k-epsilon, k-omega) et du second ordre (RSM)
- LES : équations constitutives, modèle sous-maille (Smagorinski)
- Approche spectrale

- **Evaluation**

Les compétences en modélisation numérique des écoulement turbulents (analyse, modélisation et implémentation de la simulation) seront évalués par l'analyse d'un article scientifique avec la rédaction d'un rapport synthétique. Les compétences en rédaction de rapport et l'esprit de synthèse seront évalués par la prise de recul dans l'analyse de l'article scientifique.

UE – Intensification des transferts

Louvet Nicolas

EC – Ecoulements et transferts en milieux complexes

Louvet Nicolas

- **Objectifs**

L'objectif de cet EC est d'approfondir la modélisation des transferts de masse et de chaleur soit lorsque les fluides s'écoulent dans des structures complexes tel que des milieux poreux (échangeur volumique poreux, réacteur de pot catalytique), soit lorsque ces fluides sont rhéologiquement complexes. Ces notions permettront aux étudiants d'aborder les problématiques industrielles visant à optimiser l'intensification des transferts ou encore augmenter l'efficacité de procédés ou de stockage d'énergie.

- **Compétences acquises**

- compréhension des transferts couplés de masse et de chaleur,
- Analyser et simplifier des problématiques complexes d'écoulements ou de transferts.

- **Prérequis**

Mécanique des Fluides et Applications (S6), Transferts thermique (S7), Mécanique des fluides pour l'ingénieur (S8), Transferts et conversion d'énergie (S8)

- **Programme pédagogique** **CM : 30h00** **TD : 00** **TP : 00**

Partie 1 : Ecoulements en milieux poreux

- morphologie et thermodynamique des milieux poreux,
- Equation de Darcy,
- Transport par diffusion et convection en milieux poreux.

Partie 2 : Rhéologie des fluides complexes

- Introduction aux fluides complexes (mousse, gel, polymères,...),
- Viscoélasticité,
- Loi de compoement en écoulement permanent
- Introduction à la rhéophysique.

Partie 3 : Transferts radiatifs en milieux complexes

- couplage conducto-radiatif,
- méthodes de résolution numériques associées.

- **Evaluation**

L'évaluation consiste en un examen écrit final.

UE – Nom de l'Unité d'Enseignement ou Bloc	Nom responsable UE ou Bloc
EC – B23 Simulation Numérique et Applications	Nicolas Rimbert

- **Objectifs**

Ce cours cherche à compléter la formation des ingénieurs ENSEM en mécanique des fluides numériques en insistant sur la validation des calculs:

- par calcul d'ordre de grandeur
- par comparaison avec des résultats de la littérature (analytiques, expérimentaux)
- par "la validation de bonnes pratiques" (cahier des charges maillage, invariance vis-à-vis du maillage, notion de convergence des résultats)

- **Compétences acquises**

Modélisation numérique d'écoulements industriels
Calcul d'ordre de grandeur
Validation des résultats
Bonnes pratiques en mécanique numérique des fluides

- **Prérequis**

Mécanique des fluides fondamentales
Méthode des volumes finis
Notion de turbulence
Autres cours en fonction de l'application choisie

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 10** **TP : 08**

Choix d'un sujet sur l'un des thèmes suivant:

- 1) Instabilité hydrodynamique
- 2) Turbulence
- 3) Pertes de charge
- 4) Dispersion turbulente
- 5) Fluides compressible
- 6) Ecoulement multiphasique
- 7) Transfert thermique

- **Evaluation**

L'évaluation se fait via la remise de rapport de bureau d'étude correspondant au sujet du mini-projet Fluent choisi par un binôme d'étudiant

B24 Écoconception : durée de vie et optimisation

C. Laurent

EC – Durée de vie des matériaux et structures**C. Laurent**

- **Objectifs**

Outre le fait de chercher à minimiser la matière utilisée lors de l'étape de conception et à utiliser des matériaux à faible impact environnemental, la démarche d'écoconception consiste également à faire durer dans le temps les structures et leurs composants, d'être capable d'en prédire la durée de vie et de planifier un programme de maintenance préventive. L'objectif de cet EC est d'exposer les fondements de la mécanique de la rupture et de la fatigue permettant de comprendre les mécanismes de propagation de défauts dans une structure. Il s'agira également d'être capable de vérifier les propriétés mécaniques d'une pièce en présence de ces défauts.

- **Compétences acquises**

- Calcul de la durée de vie des matériaux en fatigue
- Calcul de facteur d'intensité de contraintes
- Introduction à la mécanique de la rupture, aux critères de rupture et aux lois de la propagation de fissures
- Introduction à quelques méthodes de simulation numérique permettant de caractériser la ténacité d'une structure
- Culture sur les méthodes de caractérisation des défauts
- Caractérisation à rupture des matériaux et reproductibilité des essais expérimentaux

- **Prérequis**

Connaissances de tronc commun en mécanique des milieux continus et mécanique appliquée
Le suivi des blocs de compétences d'éco-conception (BC8) et de simulation numérique en mécanique du solide (BC7) sera un avantage. Les connaissances en sciences des matériaux dispensées dans le bloc BC25 seront clairement mises en applications dans cet EC.

- **Programme pédagogique** **CM : 10** **TD : 8** **TP : 12**

CM 1 : Introduction à la durée de vie en écoconception et rappels de mécanique
 CM 2 : Introduction à la plasticité et aux critères de plasticité
 TD1 : Essai multiaxial (critère de plasticité / surface de charge)
 CM 3 : Facteur d'intensité de contraintes
 TD2 : Calcul de facteurs d'intensité de contrainte
 CM 4 : Fatigue oligocyclique et endurance
 CM 5 : Calcul de durée de vie et endommagement
 TD3 : Propagation de fissure dans un réservoir sous pression
 CM6 : Applications industrielles et médicales
 TD4 : Calculs de durée de vie de structures
 TP1 : Essai de traction et facteur de concentration de contraintes / Analyse statistique de la rupture en flexion
 TP2 : Essai de traction et facteur de concentration de contraintes / Analyse statistique de la rupture en flexion
 TP3 : Illustrations en simulation numérique : facteur d'intensité de contrainte, endommagement et rupture

- **Evaluation**

L'EC sera évaluée par l'intermédiaire de compte-rendus de TP d'une part concernant les 3 séances de TP, et d'un examen sur table permettant de vérifier l'acquisition des compétences théoriques sur les lois de propagation de fissure, le comportement en fatigue, ou encore le calcul des facteurs d'intensité de contrainte.

B24 Écoconception : durée de vie et optimisation

C. Laurent

EC – De la conception à la conception optimale**C. Laurent**

- **Objectifs**

L'ingénieur-e est dorénavant confronté-e à la problématique de minimiser la quantité de matière utilisée pour l'alléger et minimiser les ressources mobilisées lors de la conception d'une pièce ou d'un système. Dans cet EC, l'étudiant-e apprendra à répartir la matière de façon à améliorer –voire optimiser- la forme des pièces en réponse à des sollicitations mécaniques données afin d'améliorer les propriétés d'usage. La méthode des éléments finis et particulièrement le logiciel Abaqus sera utilisé afin de prédire et améliorer le comportement mécanique des structures étudiées, en s'appuyant notamment sur des modules dédiés à l'optimisation des structures.

- **Compétences acquises**

A l'issue de cet EC, l'étudiant-e sera à même d'améliorer la conception d'une pièce ou d'une structure en jouant sur sa géométrie externe, ses dimensions transverses, ou l'orientation de la matière. Il ou elle saura utiliser un code de calcul utilisant la méthode des éléments finis afin de prédire le comportement de la structure et en améliorer la conception. Il ou elle saura mener proprement une étude paramétrique, et utiliser des méthodes d'optimisation topologique, de dimensionnement optimal ou d'optimisation de forme.

- **Prérequis**

Connaissances de tronc commun en mécanique des milieux continus, mécanique appliquée, mécanique des machines tournantes. Le suivi des blocs de compétences d'écoconception (BC8) et de simulation numérique en mécanique du solide (BC7) sera un avantage.

- **Programme pédagogique** **CM : 2** **TD : 0** **TP : 28**

Après une introduction aux différentes méthodes d'optimisation appliquées à la conception d'une pièce ou d'une structure, l'EC sera essentiellement constitué de TP numériques utilisant le logiciel Abaqus. Les différentes thématiques liées à l'optimisation des pièces (étude paramétrique, optimisation de forme, dimensionnement optimal et optimisation topologie) seront abordées par le biais de TP en rapport avec la thématique « énergie et mobilité » de l'ENSEM.

TP1 : étude paramétrique sur un matériau composite : application au skateboard

TP2 : amélioration d'une solution existante : application à un adaptateur du VRAM

TP3 : dimensionnement optimal d'une capsule UrbanLoop

TP4 : optimisation topologique d'un pont droit

TP5 : conception d'une biellette de suspensions de VTT

TP6 (évalué) : optimisation d'une conception, sujet variable d'une année à l'autre

TP7 (évalué) : optimisation d'une conception, sujet variable d'une année à l'autre

- **Evaluation**

L'évaluation du cours porte sur une note de calcul à rendre à l'issue de chacun des deux derniers TPs de l'EC.

UE - Ingénierie des matériaux	J. BOISSE
EC - Science des matériaux	J. BOISSE

- **Objectifs**

Les objets et structures qui nous entourent sont avant tout constitués de matériaux, dont les propriétés effectives dépendent de l'organisation et des propriétés de la matière à l'échelle microscopique. L'objectif de cet EC est de permettre à l'étudiant-e de faire le lien entre la microstructure d'un matériau et son comportement effectif

- **Compétences acquises**

- Apprécier le lien entre les échelles de l'atome, de la microstructure, et les propriétés mécaniques des solides ;
- Savoir lire un diagramme de phase à l'équilibre des alliages et savoir prédire la microstructure correspondante ;
- Connaître certaines voies d'amélioration des propriétés mécaniques de matériaux

- **Prérequis**

Connaissances de tronc commun en mécanique des milieux continus et mécanique appliquée.

- **Programme pédagogique** **CM : 12** **TD : 10** **TP : 08**

Introduction : Rappel sur les différentes classes de matériaux et les types de liaisons à l'échelle atomique dans les solides ; revue d'ensemble des propriétés des matériaux.

Le cristal parfait : réseau Cristallin ; élasticité du cristal, point de vue thermodynamique.

Matériaux purs : défauts 1D (théorie des dislocations) ; défauts 2D (joints de grain) ; origine de la plasticité.

Matériaux réels : Défaut ponctuels ; alliages ; études des diagrammes de phase.

Interactions entre les défauts ; lien avec les notions de limite élastique, dureté et résilience.

Amélioration des propriétés mécaniques : évolution/vieillessement des Microstructures et conséquences sur les propriétés ; métallurgie structurale

Les TD porteront sur des exercices de cristallographie de base, la lecture de diagramme de phase binaires, l'étude des alliages fer-carbone et base-aluminium.

En TP les étudiant-e-s précéderont à l'observation sous microscope optique d'alliages aillant subit différents traitements thermiques (mises en étuve et trempes) et pourrons mesurer leurs propriétés mécanique (dureté, Energie de rupture, limite élastique) à l'aide des machines d'essai mise à leur disposition : machine de traction ; moutons Charpy ; machine de dureté ...

- **Evaluation**

CR de Travaux Pratiques + évaluation écrite

B25 - Ingénierie des matériaux

Julien BOISSE

EC2 - Matériaux composites

Jean-François SCHMITT

- **Objectifs**

Dans la plupart des applications industrielles (aéronautique, transport, stockage, construction mécanique, ...), on cherche à optimiser les propriétés des structures, notamment leur masse. Grâce à leur faible masse volumique et à leurs propriétés mécaniques intéressantes, les matériaux composites permettent d'alléger considérablement les structures. Ces matériaux, de plus en plus présents dans de nombreux secteurs, constituent des solutions technologiques performantes. Il s'agit dans cet EC de donner des bases solides sur les procédés de fabrication et le comportement mécanique des matériaux composites (théorie et simulations numériques).

- **Compétences acquises**

A l'issue de l'EC, l'étudiant aura appris à modéliser des structures composites notamment de type poutres, plaques ou coques. Il se sera familiarisé avec les méthodes d'homogénéisation. Il connaîtra les principales classes de composites et le comportement mécanique de ces matériaux. Il saura utiliser un code de calcul utilisant la méthode des éléments finis afin de prédire le comportement de structures composites.

- **Prérequis**

Connaissances de tronc commun en mécanique des milieux continus et en mécanique appliquée.

- **Programme pédagogique** **CM : 14** **TD : 4** **TP : 12**

L'EC aborde les grandes classes de matériaux composites, le comportement mécanique de ces matériaux et les principaux procédés d'élaboration. Les techniques de modélisation et de calcul des propriétés effectives (modules de l'ingénieur) de stratifiés et poutres composites sont abordés.

Lors des TP numériques (sur le code de calcul par éléments finis ABAQUS), l'accent est mis sur l'optimisation des structures composites en rapport avec la thématique « énergie et mobilité » de l'ENSEM.

- **Evaluation**

Evaluation sous la forme de projets réalisés par groupe à remettre à la fin de l'EC.

International track: Renewable Energy Engineering

Course ref	Course name	Lecture	Lab work	Student workload	Hours	ECTS	Pass grade
B9 -18	<i>Sources and storage</i>						
	Introduction to hydrogen and fuel cell technology	12	12	24	48	6	10
	Storage components (electricity storage and generation)	6	2	8	16		
	Solar photovoltaic design and installation	4	4	8	16		
B9 -19	<i>Power to the grid</i>						
	Hydraulic and wind power	10	8	20	38	6	10
	Power generation system connected to the grid	12	10	20	42		
B9 -20	<i>Smart grids-Micro Grids</i>						
	Electric power quality	6	8	12	26	6	10
	Energy management in microgrids	8	8	12	28		
	smart grid modeling and co-simulation	6	9	11	26		
B9 -21	<i>Optimization</i>						
	Optimal design of a local energy network	2	6	6	14	6	10
	Optimization of a heat network	10	8	18	36		
	Control and optimization of energy systems	8	6	14	28		
B9 -22	<i>Languages, communication and culture</i>						
	French language and culture	18	0	18	36	6	10
	Cross cultural communication	5	0	5	10		
	Energy Economics: issues related to renewable energies	17	0	17	34		

Total

400

30