



**Programme Pédagogique  
Master  
Génie Mécatronique et Energie**



**Programme Pédagogique**  
**Master**  
**Génie Mécatronique et Energie**

# Sommaire

**Page**

**Présentation générale et Objectifs de la formation-----3**

**Tableau général de la formation-----4**

**Semestre 1-----5**

**Semestre 2-----15**

**Semestre 3-----25**

**Semestre 4-----35**

## **Présentation générale et Objectifs de la formation.**

L'objectif est de former des cadres techniques et des responsables de projets en Recherche & Développement dans les domaines de la conception de produits mécatroniques et de systèmes de production électromécaniques instrumentés et en gestion de l'énergie.

Les compétences acquises doivent permettre aux étudiants de maîtriser une démarche scientifique et technologique pour, d'une part, établir ou optimiser le cahier des charges multicritères et multiphasiques de produits et de systèmes de production mécatroniques et énergie et, d'autre part, procéder à leur conception ou optimisation.

Ce parcours est orienté à la fois vers une finalité Recherche et vers une finalité Professionnelle : les étudiants pourront ainsi aller dans l'industrie ou poursuivre leurs études en doctorat.

UNIVERSITE LIBANAISE		Programme Pédagogique		الجامعة اللبنانية			
Faculté de Technologie		Master		كلية التكنولوجيا			
		Génie Mécatronique et Energie					
		<b>Semestre 1</b>		<b>Semestre 2</b>			
Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP	Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS1ACEL	Actomètres Electriques	4	30	MS2COEL	Convertisseur Electromécanique	4	30
MS1ANSC	Anglais Scientifique	3	30	MS2ENRA	Energie Renouvelable Avancée	4	30
MS1AUSU	Automatisme et Supervision	4	30	MS2GQEE	Gestion et Qualité de l'Energie Electrique	4	30
MS1ELAV	Électronique Avancée	4	30	MS2MARK	Marketing	3	30
MS1GEPR	Gestion de Projet	3	30	MS2MICE	Micro-Contrôleurs Embarqués	4	30
MS1MOSM	Modélisation de Systèmes Mécaniques	4	30	MS2REBI	Recherche Bibliographique	4	45
MS1PRSY	Programmation Système	4	30	MS2ELFS	Éléments Finis et Simulation *	4	30
MS1TRSI	Traitement du Signal	4	30	MS2INCA	Instrumentation et Capteurs *	4	30
				MS2RETR	Réseaux Electriques et Transformateurs *	4	30
				MS2SYEE	Systèmes d'Energie et Environnement *	4	30
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>240</b>	<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>255</b>
		<b>Semestre 3</b>		<b>Semestre 4</b>			
Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP	Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS3AQEC	Assurance Qualité et Eco-Conception	4	30	MS4SEMI	Séminaires	8	60
MS3COAV	Commande Avancée	5	45	MS4STPR	Stage - Projet (≈250h/étudiant - projet)	22	250
MS3COMP	Comptabilité	3	30				
MS3ECEI	Economie d'entreprise et Industrielle	4	30				
MS3OPEN	Optimisation et Energie	5	45				
MS3EENC	Electroniques des Energies non Conventionnelles *	4	30				
MS3ENBA	Energétique du Batiment *	4	30				
MS3MEFM	Mécanique Flexible et Matériaux *	4	30				
MS3SYTM	Systèmes Thermiques et Multiphysiques *	4	30				
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>29</b>	<b>240</b>	<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>310</b>
						<b>Total Crédits: 120</b>	
						<b>Total Heures: 1045</b>	

\* : Matières électives - CM : Cours Magistral - TD : Travaux Dirigés - TP : Travaux Pratiques

# Semestre 1

Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS1ACEL	Actionneurs Electriques	4	30
MS1ANSC	Anglais Scientifique	3	30
MS1AUSU	Automatisme et Supervision	4	30
MS1ELAV	Électronique Avancée	4	30
MS1GEPR	Gestion de Projet	3	30
MS1MOSM	Modélisation de Systèmes Mécaniques	4	30
MS1PRSY	Programmation Système	4	30
MS1TRSI	Traitement du Signal	4	30
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>240</b>

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1ACEL	Actionneurs Electriques	1	4				30

### Objectifs :

Dans ce module, les concepts généraux de la conversion électromécanique de l'énergie seront présentés et étendus à d'autres types d'actionneurs. Ce module s'intéresse également à la modélisation en régime dynamique des machines électriques. L'objectif est de pouvoir décrire les régimes transitoires des machines couplées au réseau mais aussi le couplage convertisseur-machine dans le cadre de l'autopilotage du couple des machines à courant alternatif : une attention particulière sera ainsi portée sur la modélisation des machines alternatives par l'utilisation de transformations adéquates pour y parvenir. Pour finir, la prise en compte de la saturation des circuits magnétiques sera également abordée.

### Contenu :

#### Actionneurs électromagnétiques

Concepts généraux sur la conversion électromagnétique de l'énergie.

Machines à reluctance variable.

Modélisation de la machine asynchrone en régime transitoire.

Contrôle scalaire du couple.

Transformation de Park Application au contrôle du couple des machines.

### Travaux pratiques :

Machine synchrone à pôles saillants.

Autopilotage du couple d'une machine asynchrone.

Actionneurs en régime déséquilibré.

Etude par simulation d'une association convertisseur-machine.

<b>Code</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Semestre</b>	<b>Crédits</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>Total</b>
MS1ANSC	Scientific English	1	3				30

### **Objectifs :**

Communication is one of the most important, yet least appreciated, aspects of engineering. You can do the best work in the world, but if you cannot communicate it to anyone, then what is the point. The purpose of this class is to teach you how to communicate your technical work. We primarily emphasize written communication, but we also discuss oral communication. Communication, like any other skill, requires time and practice. If you want to become a good communicator, then read, write, and speak. If you want to become an excellent communicator, then read, write, and speak even more.

### **Contenu:**

1. Multicultures
2. Audience
3. References and Citations
4. How to Read
5. State Your Thesis
6. The Writing Process, Effective Writing, and Peer Review
7. Writing Structure and Style
8. Ethics in Communication
9. Graphics and Tables
10. Oral Presentations
11. Proposals
12. Letters, Memos, and Emails
13. Job Applications, Writing a Résumé; The Basics; and Chronological and Analytical approaches.

### **Travaux pratiques :**

1. plan technical communication based on analysis of context
2. design a document effectively, choosing the appropriate format, layout, visuals, ...
3. synthesize technical information from a variety of resources and references and present this information in the form of a research report following proper documentation procedures
4. produce descriptive, informative and evaluative summaries of technical material
5. write and edit various business memoranda, letters, and technical reports
6. prepare for a job interview
7. deliver formal, informative oral presentations
8. collaborate with other team members to plan and produce/deliver written/oral communication

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1AUSU	Automatisme et Supervision	1	4				30

### Objectifs :

A partir d'une analyse fonctionnelle, savoir choisir et dimensionner les composants d'un système automatisé (partie commande, capteurs, actionneurs, préactionneurs) et, une fois l'architecture spécifiée, savoir décomposer l'application avec méthode et programmer l'automate.

Comprendre la nécessité de la fonction supervision dans les processus industriels et connaître les technologies mises en œuvre pour la supervision.

### Contenu :

- L'architecture des systèmes automatisés.
- Quelques applications typiques des systèmes automatisés (GTB, industrie, production énergie).
- L'architecture d'un équipement (API, PC embarqué, SNCC...) programmable industriel (CPU, E/S, com, E.S déportées)
- Le mode de fonctionnement traditionnel d'un API : tâche cyclique, tâches périodiques, travail sur image figée des E/S. La dynamique de la loi de commande par rapport à la dynamique du procédé
- Les technologies des E/S (PNP, NPN, 4-20, 0-10V, codeurs).
- Le fonctionnement des préactionneurs et actionneurs pneumatiques.
- L'intégration de l'automate dans un schéma de câblage.
- L'utilisation d'une méthode pour structurer son programme (UML ou autre).
- La description d'un problème séquentiel à l'aide d'une machine à état ou d'un grafcet.
- La maîtrise des différents langages de l'IEC 61131-3.
- Une méthode de description et de programmation des modes de marches et d'arrêt.
- L'architecture technique et informatique pour la supervision
- Rôle et services offerts par la supervision : alarme, conduite, télé-maintenance, .....etc
- Établissement de la communication entre le logiciel de supervision et le ou les automates, via un serveur de type OPC, DDE.

### Travaux pratiques:

Les travaux pratiques et les projets d'études amèneront l'étudiant à :

- Maîtriser un environnement de développement d'automatisme professionnel.
- Mettre en œuvre des composants industriels pluridisciplinaires (capteurs, actionneurs variateurs...).
- réaliser un projet, en utilisant des fonctions et blocs fonctionnels et réaliser les tests associés.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1ELAV	Electronique Avancée	1	4				30

### Objectifs :

Dans ce cours, la conception des systèmes électroniques est abordée avec un niveau d'abstraction élevé, en partant de l'architecture d'un transceiver sans fils afin d'explorer les fonctionnalités principales des circuits numériques et analogiques et les défis de conception. L'interface entre les circuits analogiques et numériques est abordée, et à travers une étude sur les modulateurs sigma-delta les notions fondamentales sont passées en revue. Les considérations d'implémentation de fonctions de traitement numérique temps-réel sont étudiées. Les critères de choix des cibles numériques et la conception des systèmes numériques complexes sont ensuite présentés, avec une comparaison des processeurs numériques du marché. Dans la dernière partie de ce cours, les tendances actuelles et futures dans l'industrie des systèmes électroniques numériques et les principales applications sont explorées.

### Contenu :

Transmission sans fils. Les principaux composants analogiques et numériques d'un transceiver sans fils. Les unités bande de base et radio-fréquence (RF). La non linéarité des composants analogiques et les défis de conceptions. Etude de cas.

Convertisseurs analogique numérique et numérique analogique. Les modulateurs sigma-delta.

Filtrage analogique vs numérique. Conception et implémentation point-fixe des filtres numériques.

Les défis de conception des systèmes électroniques numériques. System-on-chip (SoC). Systèmes embarqués. Les différents types de processeurs numériques existant sur le marché aujourd'hui et leurs architectures.

Comprendre les tendances actuelles et futures de l'industrie des systèmes électroniques. Internet-des-objets (Internet-of-Things, IoT), micro et nanotechnologies, radio cognitive, Radio sur Fibre (Radio-over-Fiber, RoF). Les applications les plus importantes.

### Travaux pratiques:

Analyse des circuits non linéaires en utilisant des modèles mathématiques sous Matlab  
Conception et implémentation en arithmétique virgule-fixe des filtres sous Matlab.

<b>Code</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Semestre</b>	<b>Crédits</b>	<b>CM</b>	<b>TD</b>	<b>TP</b>	<b>Total</b>
MS1GEPR	Gestion de Projet	1	3				30

### **Objectifs :**

Dans beaucoup de projets, on constate que les acteurs ne maîtrisent pas suffisamment les principes et outils fondamentaux. Il en résulte un grand gaspillage, que ce soit en terme d'énergie pour atteindre le résultat, ou bien en terme de dégradation du résultat par rapport à l'objectif visé. Ce cours a pour but de synthétiser un ensemble non exhaustif de principes et outils applicables à la grande majorité des projets. Toutefois, par rapport à la vision scolaire de la résolution de problème, il n'est ici pas question de trouver la meilleure solution, mais celle qui convient le mieux aux différents acteurs impliqués à ce moment- là dans le processus de décision. Si les différentes composantes sont bien représentées et que chacun joue le jeu, alors on aura de bonnes chances d'aboutir à une décision qui donnera de bons résultats.

Ce cours regroupe des moyens méthodologiques de répondre à des questions liées au cadrage du projet, Qualité/Coût/délais, équipe projet, gestion de risques, et Lancement/Exécution/Clôture du projet.

### **Contenu :**

- Cadre du projet : Qu'est-ce qu'un projet? , Gestion de projet, Organisation de projet, Gestion des parties prenantes, Succès du projet
- Lancement : Début d'un projet, Définir les objectifs, Charte de projet, Développer le concept
- Planification/Échéancier : Plan de projet, Contenu du projet et périmètre, Structure de découpage du projet, Réseau logique, Chemin critique, Planifier les ressources
- Budget : Estimations, Budgétisation, Piloter les coûts
- Qualité : Planifier la qualité, Assurance qualité, Piloter la qualité
- Risques : Identifier les risques, Évaluer les risques, Maîtriser les risques
- Équipe projet : Former l'équipe, Travailler en équipe, Matrice des responsabilités Communication
- Exécution/Contrôle : Lots de travaux, Jalons, Piloter les délais, Gérer les changements, Rapporter
- Clôture : Recette du projet, Rapport final, Acquis et leçons apprises

### **Travaux pratiques:**

Simulation de Gestion de Projet, Logiciel de Gestion de Projet (Planification et Analyse de risques)

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1MOSM	Modélisation des systèmes mécaniques	1	4				30

**Objectifs :**

Ce cours vise à aider les étudiants à concevoir un système mécanique, à étudier la défaillance et la fatigue de n'importe quel composant de cette conception mécanique et à intégrer ces connaissances dans la conception de systèmes de transmission de puissance spécifiques à une tâche.

**Contenu :**

Le sujet de ce cours comprend des documents sous forme de notes de cours et de documents à distribuer pour couvrir les sujets suivants:

Semaine	No. de semaines	Sujets
1-2	2	Révision sur les propriétés des matériaux
3	1	Revue des chargements fondamentaux en mécanique des matériaux
4	1	Calcul de la flexion et de la rigidité
5	1	Echec du chargement statique
6	1	Echec du chargement cyclique
7	0.5	Révision sur les fondamentales des engrenages
7	0.5	Fatigue des engrenages
7-8	0.5	Révision sur les fondamentales des roulements et sélection

1. Familiariser les étudiants avec les concepts fondamentaux des théories de fatigue des composants mécaniques sous charges statiques et cycliques
2. Présentez aux étudiants la philosophie de certains codes, théories, normes importants utilisés dans l'industrie
3. Etre capable de modéliser n'importe quel système mécanique soumis à n'importe quelle charge (arbre, engrenages, roulements)

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1PRSY	Programmation Système	1	4				30

### Objectifs :

Apprendre la programmation avec le système.

- Comment créer des applications qui communiquent avec l'OS...
- ... ou avec d'autres applications, en se synchronisant correctement.

Comprendre les principes du fonctionnement d'un système.

- Comment sont gérés les processus, sont stockées les données sur disque ?
- Les algorithmes et la programmation du système : pour plus tard.

Comprendre des problèmes typiques posés par le partage de ressources.

- Comment garantir qu'un fichier n'est écrit que par un processus à la fois ?

### Contenu :

- 1- Linux Installation, shell, éditeur de texte et outils de débogage.
- 2- Tutoriel Avancé C
- 3- Streams, buffers, pipes et autres opérations d'E/S
- 4- Appels système, signaux, sockets, mémoire partagée
- 5- Bibliothèques (la bibliothèque standard C, la bibliothèque Curses et la bibliothèque X)
- 6- Langage de script

### Travaux pratiques:

À la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de:

- 1- installer et configurer les systèmes Linux
- 2- utiliser les commandes shell de base et les utilitaires sous Linux
- 3- comprendre les outils et les ressources de programmation du système
- 4- améliorer leurs compétences en programmation par le développement, les tests et le débogage de C programmes sous Unix utilisant des bibliothèques standard et personnalisées
- 5- utiliser le système d'exploitation de base pour créer et gérer des applications multithread et multiprocessus
- 6- connaître l'importance de Linux et comment ils peuvent l'utiliser dans l'industrie et le milieu universitaire
- 7- En savoir plus sur les outils libres et open source pertinents dans le domaine de la mécanique qui sont développés pour fonctionner sous linux

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS1TRSI	Traitement du Signal	1	4				30

### Objectifs :

Maîtriser les outils de base nécessaires à l'analyse et le traitement des signaux analogiques et numériques.

### Contenu :

1. Introduction aux signaux et aux systèmes : Définitions, Classification, Energie, Puissance, Modèles usuels
2. Analyse harmonique des signaux périodiques : La décomposition en série de Fourier, Spectres d'amplitude et de phase, Synthèse harmonique
3. Analyse spectrale des signaux non périodiques : La Transformée de Fourier et ses propriétés, Spectres d'amplitude et de phase
4. Convolution et filtrage analogique : Définition, Interprétation physique, Relation convolution/filtrage, Réponse en amplitude et réponse en phase, Filtres linéaires
5. Numérisation des signaux : Echantillonnage, Quantification, Shannon, Filtre anti-recouvrement, Reconstruction du signal
6. Analyse spectrale des signaux numériques : Transformée de Fourier Discrète (TFD), Résolution fréquentielle, Fenêtres de pondération, Transformée de Fourier Rapide
7. Filtrage numérique : Classification des filtres numériques, Structures des filtres, Fonction de transfert en z, Stabilité, Propriétés des filtres RIF et RII, Réponse fréquentielle des filtres numériques

### Travaux pratiques:

Applications sur Matlab (Analyse harmonique, analyse spectrale, synthèse des signaux, numérisation, Filtrage)

## Semestre 2

Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS2COEL	Convertisseur Electromécanique	4	30
MS2ENRA	Énergie Renouvelable Avancée	4	30
MS2GQEE	Gestion et Qualité de l'Énergie Electrique	4	30
MS2MARK	Marketing	3	30
MS2MICE	Micro-Contrôleurs Embarqués	4	30
MS2REBI	Recherche Bibliographique	4	45
MS2ELFS	Éléments Finis et Simulation *	4	30
MS2INCA	Instrumentation et Capteurs *	4	30
MS2RETR	Réseaux Electriques et Transformateurs *	4	30
MS2SYEE	Systèmes d'Énergie et Environnement *	4	30
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>255</b>

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2COEL	Convertisseur Electromécanique	2	4				30

**Objectifs :**

Ce module traite l'analyse et la synthèse des principales structures de convertisseurs statiques non isolés de l'électronique de puissance. Il s'agit de comprendre le fonctionnement, d'analyser les formes d'ondes et de dimensionner les convertisseurs de base tels que les redresseurs triphasés commandés, les gradateurs, les hacheurs et les onduleurs. L'association convertisseur-machine sera également abordée dans ce module. Ce module s'inscrit dans la suite du module d'Electronique de Puissance dispensé en licence.

**Contenu :**

Les sources d'énergie électrique.

Rôles et classification des convertisseurs.

Les composants de puissance + classification.

Composants de puissance en commutation, interrupteurs quasi-résonnants.

Principe de fonctionnement des redresseurs, hacheurs (série, parallèle, réversible : 2 quadrants et 4 quadrants, entrelacés), gradateurs (à angle de phase, à train d'ondes) et onduleurs (monophasé et triphasé).

Association convertisseur-machine (Hacheur-MCC, Onduleur-MAS ou MS, Gradateur-MAS).

Alimentation flyback en démagnétisation complète ou incomplète et alimentation forward.

Modélisation dynamique et commande des convertisseurs statiques : Commande en durée (modulation de largeur d'impulsion), Commande en amplitude (hystérésis).

**Travaux pratiques :**

Effectuer des simulations (CAO) de plusieurs exemples abordés durant ce cours.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2ENRA	Energie Renouvelable Avancée	2	4				30

**Objectifs :** Le cours fournit aux étudiants les bases de la conversion de l'énergie solaire et éolienne et de la conception de systèmes pour les sources d'énergie

**Pré-requis :** Puissance Electrique, Machine et Actionneurs électriques, Production et distribution de l'énergie électrique, Energie Renouvelable.

**Contenu :**

- **Énergie solaire photovoltaïque :** Caractéristiques et performances selon la technologie – Cellules silicium : mono et poly-cristallin, amorphe – Cellules couches minces minérales : Silicium, Cd In Si, Cd In Ge Si. – Cellules couches minces Organique,... – **Estimation des besoins en énergie de l'utilisateur.** Équations de dimensionnement. Critères de choix du système photovoltaïque. **Dimensionnement de systèmes.** Installation de champs photovoltaïques. Estimation des coûts d'investissements, d'exploitation et d'entretien. Évaluation de l'impact environnemental. Maintenance, recyclage des composants.
- **Énergie éolienne :** Le vent : mesure, modélisation, évaluation de la ressource – Turbines à vent : définitions et principes de base. – Caractéristiques technologiques des éoliennes : éolienne à axe horizontal : description géométrique, modélisation, performances – éolienne à axe vertical (autres types d'éolienne : Darrieus, Savonius, orthoptère). – **Dimensionnement et caractéristiques physiques des éoliennes** – Description des différentes composantes de la génération électrique éolienne.
- **Stockage de l'énergie :** Evolution de l'électricité, des machines électromécaniques et de l'énergie. Perspectives offertes par les énergies renouvelables.
  1. Conversion électrique mécanique ou thermique
  2. Générateurs électriques.
  3. Conversion statique de l'énergie électrique.
  4. Systèmes de stockage : batteries, accumulateurs, super-condensateurs. Modélisation et commande.
  5. Simulations numériques.
- **Efficacité énergétique :** Etude de cas sur l'évaluation des codes du bâtiment énergétique. Différents types de codes du bâtiment.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2GQEE	Gestion et Qualité de l'Energie Electrique	2	4				30

### Objectifs :

Les systèmes d'énergie électrique sont conçus pour fonctionner idéalement avec des charges triphasées à la fréquence fondamentale. La déviation de ces conditions idéales, a un impact considérable sur le rendement en puissance global du système. Ceci est dû aux pertes excessives, réchauffement des machines électriques, et aux transformateurs et électroménagers. La compréhension de ces imperfections du réseau électrique, qui devient de plus en plus complexe, est essentielle pour d'une part quantifier les distorsions et apporter des solutions pour améliorer la qualité de l'énergie fournie. Les systèmes de gestion de l'énergie proposent un contrôle continu du système en profitant des toutes dernières avancées technologiques. Un réseau parallèle d'instruments de mesure installés à plusieurs niveaux du réseau électrique et connectés à des centres de données et d'analyses, est utilisé pour un suivi temps réel de la santé du réseau. Ce système a également un impact économique considérable. Dans ce cours, nous allons analyser les différents types de distorsions pour une meilleure compréhension des imperfections et en particuliers des non linéarités, ainsi que les différents paramètres de quantification. Les différents aspects du système de gestion de l'énergie et des techniques d'amélioration de l'efficacité énergétique sont abordés.

### Contenu :

Structure des réseaux électriques : Génération, transmission et distribution de l'énergie électrique, sources conventionnelles et non-conventionnelles, structure des systèmes de gestion de l'énergie, réseaux et standards de communication utilisés, DSM (Demand Side Management).

Qualité de l'énergie électrique : Définitions, classifications des problèmes de la qualité d'énergie, les différentes causes de perturbations (distorsion harmonique, variation de fréquence, fluctuation de tension et flicker), mesures de la qualité de l'énergie.

Les différents types de distorsions liées à la non linéarité et au déséquilibre : Les calculs de puissance en présence des harmoniques, facteur de puissance et facteur de puissance de déplacement, filtres actifs, compensation des charges déséquilibrées. Les systèmes de gestion de l'énergie électrique : les besoins et l'importance de ces systèmes, les différents aspects du réseau électrique intelligent (Smart Grid), l'approche PDCA (Plan-Do-Check-Act), ISO-50001, contrôle continu du réseau.

### Travaux pratiques:

Simulations sous Matlab : Analyse des non linéarités dans les réseaux électriques, non linéarité des sources de tension et non linéarité du courant dû à la présence des composants actifs dans les charges. Calculs des différents paramètres de quantification de la qualité de l'énergie électrique. Etude du spectre de fréquence (FFT).

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2MARK	Marketing	2	3				30

**Objectifs :**

Le cours a pour but d'acquérir les notions essentielles sur le marketing, la manière dont l'entreprise gère ses relations avec les consommateurs et dessine son offre de façon à optimiser sa position dans l'univers concurrentiel. Il vise à faire comprendre et à aider à développer un plan marketing d'entreprise, en amenant les étudiant(e)s à maîtriser les composantes du marketing mix, à en saisir les interactions et à prendre des décisions opérationnelles judicieuses et éthiques. Il vise aussi à remettre en question certains aspects des concepts de base afin de susciter un esprit critique dans la recherche de solutions à des problèmes concrets.

**Contenus :**

Les concepts-clés du marketing - Le marché et ses acteurs - La stratégie d'entreprise et la planification du marketing – Les études de marché - Le comportement des consommateurs – La segmentation du marché, le ciblage et le positionnement – La gestion des produits – La gestion de la marque - Le marketing des services - Le développement de nouveaux produits et le cycle de vie – La politique de prix - La gestion de la distribution - La communication – La vente et la promotion des ventes – Le marketing en ligne

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2MICE	Micro-Contrôleurs Embarqués	2	4				30

**Pré-requis :** Circuits Logiques, Circuit Programmable 1.

**Objectifs :**

Etude et mise en œuvre de systèmes et microsystèmes élémentaires adaptés aux exigences des systèmes embarqués et des systèmes de commandes et contrôles. Donner les connaissances de base nécessaires et la méthodologie pour aborder correctement la conception des composants logiques programmables (FPGA, CPLD, ...) en VHDL. Savoir mettre en œuvre le langage VHDL, pour la modélisation, la conception et la synthèse des circuits numériques et ou plus généralement un système, avec la certitude d'aboutir à un produit répondant au cahier des charges interfaçant l'électronique.

**Pré-requis souhaitable(s)** Connaissances de base et expérience en conception électronique numérique I et II souhaitables et circuit programmable (microcontrôleur).

**Contenu :**

**Introduction, Flot de conception** ( Présentation du FPGA, son intérêt, son évolution, son domaine d'application - Explication de l'architecture FPGA et CPLD, de la répartition des éléments et des possibilités d'exploitation de ces différents éléments- Visualisation des éléments logiques, de la mémoire embarquée, des blocs horloges, blocs DSP, PLL, structure de routage etc...-Méthodologie de conception, outils

**Le langage VHDL et les structures :**

Introduction au langage VHDL- Fonctions de base - Conception Modulaire - Décomposition modulaire (instanciation) [ Typage des données (Std\_logic\_vector) - Unités de conception (entité, architecture, package, configuration)- Les signaux et ports, les process (liste des sensibilités, assignement d'un signal, les variables vs. signaux].

Instructions concurrentes et séquentielles - Descriptions structurelles et comportementales- Instruction en mode parallèle (l'instruction GENERATE)-Librairies IEEE- Fonctions et procédure- Machine d'états (synchrone et asynchrone) - Mémoire - Système séquentiels complexe ( Modèle VHDL pour un simple microprocesseur) - Interface avec la partie analogique (VHDL-AMS-structure PLL).

**Travaux Pratiques :**

Les composants programmables- CPLD / FPGA : Choisir un composant.

Travaux pratiques et programmation VHDL- Prise en main d'un outil de simulation- Prise en main d'un outil de synthèse VHDL- Programmation d'une cible FPGA- Prise en main du logiciel utilisé (Quartus).

Objectifs : réaliser la synthèse de fonctions logiques de différentes façons (en langage graphique ou écriture directe en VHDL), Simuler le comportement du système et de valider la réalisation sur des maquettes dédiées (DE1d'Altera)- Programmation d'une cible FPGA SRAM

► Exemples traités : compteur, contrôleur feux de carrefour, UART

Bureau d'étude par binôme (chaque binôme a un sujet différent) avec une partie analyse du cahier des charges, une partie d'analyse fonctionnelle, la synthèse des fonctions en utilisant une description VHDL, simulation globale puis réalisation sur le maquette, test et validation. (sujets proposés: commande d'un système à distance, réalisation d'un générateur de fonction haute fréquence, analyse de son audio, télémètre US, convertisseur sigma-delta, traitement d'image, capteur et afficheur I2C.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2REBI	Recherche Bibliographique	2	4				45

**But :** Pour alimenter une réflexion approfondie sur un sujet, il s'avère indispensable de prendre connaissance des faits et des opinions qui s'y rattachent. En d'autres termes, il s'agit d'acquérir et/ou de modifier des idées, au contact de celles des autres. La lecture est le moyen privilégié de communication de la pensée. Dans le cadre d'une recherche méthodique, se documenter équivaut à lire des concepts contenus dans des documents rédigés par d'autres.

### Objectifs :

Il est important de donner quelques indications et quelques conseils qui font parfois défaut aux étudiant-e-s en début de travail. Où trouver les références nécessaires et comment ne pas faire l'impasse sur les plus importantes ? Comment alimenter sa bibliographie, comment la construire et la classer ?

Il faut distinguer quatre sources privilégiées d'information bibliographique, auxquelles l'étudiant-e aura toujours intérêt à se référer au cours de la recherche : les bibliographies d'ouvrages, les articles de périodiques, la fréquentation des bibliothèques et les ressources informatiques.

### Contenu :

1. Etre Chercheur aujourd'hui, qu'est-ce que c'est
2. Le paysage de L'Information Scientifique et Technique (IST) aujourd'hui et la place du chercheur
3. Chercher et exploiter ses sources
4. Produire et publier

### Travaux pratiques:

Projets sur des différents sujets pour faire une recherche bibliographique approfondie

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2INCA	Instrumentation et Capteurs	2	4				30

**Pré-requis :** Connaître les notions de base de l'électronique analogique et numérique.

**Objectifs :** Notre monde est de plus en plus numérique de par l'omniprésence des systèmes informatiques et électroniques dans l'industrie, les transports, les soins de santé et la vie quotidienne. Une part importante des applications numériques requiert l'acquisition continue de grandeurs du monde physique. Dans ce cours, nous étudions les chaînes d'instrumentation et les capteurs capables d'opérer cette acquisition de grandeurs physiques pour les traduire en signaux électriques analogiques puis en donnée numériques.

Dans le cours, nous abordons les types de capteurs utilisés pour la transduction de grandeurs physiques de différents types (spatiales, mécaniques, acoustiques, optiques, bio/chimiques, ...) ainsi que les circuits électroniques associés au conditionnement et à la transmission des mesures, tout en mettant en lumière les facteurs de qualité de la mesure et les sources d'erreurs tout au long de la chaîne.

**Contenu :**

- Principes fondamentaux : Définitions et caractéristiques générales, Capteurs actifs, capteurs passifs, Corps d'épreuve et Capteurs composites, Grandeurs d'influence, La chaîne de mesure, Capteurs intégrés, Capteurs intelligents
- Caractéristiques métrologiques : Les erreurs de mesure, Etalonnage du capteur, Limites d'utilisation du capteur, Sensibilité, Rapidité - Temps de réponse, Discrétion ou finesse
- Conditionneurs des capteurs passifs : Caractéristiques générales des conditionneurs de capteurs passifs, Montage potentiométrique, Les ponts, Les oscillateurs, Forme et spectre de fréquence du signal à la sortie du conditionneur
- Conditionneurs du signal : Adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure, Linéarisation, Amplification du signal et réduction de la tension de mode commun, Détection de l'information
- Capteurs pour l'industrie : Capteur optique, Capteur de température, Capteur de position et déplacement, Capteur de vitesse, Capteur de force, Capteur d'humidité, Capteur acoustique, Capteur magnétique

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2SYEE	Systèmes d'Énergie et Environnement	2	4				30

### Objectifs :

1. Développer une compréhension fondamentale de la thermodynamique appliquée, des première et deuxième lois de la thermodynamique, du point de vue de l'ingénierie.
2. Accent mis sur les ressources énergétiques et les problèmes environnementaux
3. Reconnaître les différences entre les processus idéal et réel dans différents systèmes énergétiques.
4. Identifier et formuler les modèles de base nécessaires pour étudier, analyser et concevoir des systèmes thermiques et comprendre les méthodes de base pour augmenter l'efficacité thermique.
5. Développer la capacité de l'élève à obtenir la conception optimale des systèmes de conversion d'énergie de base: production d'énergie, réfrigération, climatisation et combustion.
6. Fournir aux étudiants des connaissances et des compétences d'analyse associées aux principes et aux techniques de conception de systèmes de conversion d'énergie.
7. Définir une méthode d'évaluation basée sur des critères énergétiques, économiques et environnementaux

### Contenu :

1. Introduction et concepts de base
  - a. Introduction
  - b. Énergie, transfert d'énergie et analyse énergétique générale
  - c. Propriétés des substances pures
  - d. Analyse énergétique des systèmes fermés
  - e. Analyse de masse et d'énergie des volumes de contrôle
2. La deuxième loi de la thermodynamique
  - a. Réservoirs d'énergie thermique
  - b. Moteurs thermiques
  - c. Réfrigérateurs et pompes à chaleur
  - d. Processus réversibles et irréversibles
  - e. Le cycle Carnot: les réfrigérateurs et les pompes à chaleur Carnot
  - f. Étude de cas: réfrigérateurs ménagers
3. Entropie
  - a. Qu'est-ce que l'entropie
  - b. L'augmentation du principe d'Entropie
  - c. Changement entropique de substances pures: solides, liquides et gaz parfaits
  - d. Minimiser le travail du compresseur
  - e. Bilan d'entropie
  - f. Étude de cas: réduction du coût de l'air comprimé
4. Exergy
  - a. Exergy: potentiel de travail de l'énergie
  - b. Transfert d'exergie par chaleur, travail et masse
  - c. La diminution du principe d'exergie et la destruction d'exergie
  - d. Bilan Exergy: systèmes fermés et volumes de contrôle

5. Cycles de réfrigération
  - a. Réfrigérateurs et pompes à chaleur
  - b. Cycle de réfrigération idéal à compression de vapeur
  - c. Cycle de réfrigération à compression de vapeur réel
  - d. Analyse de deuxième loi du cycle de réfrigération à compression de vapeur
  - e. Choisir le bon réfrigérant
  - f. Systèmes de pompe à chaleur
  - g. Systèmes de réfrigération innovants à compression de vapeur
  - h. Cycles de réfrigération au gaz
  - i. Systèmes de réfrigération à absorption
  - j. Étude de cas: production d'énergie thermoélectrique et systèmes de réfrigération
6. Energie et environnement
  - a. Ozone et smog
  - b. Pluie acide
  - c. L'effet de serre
  - d. Réchauffement climatique et changement climatique
  - e. Calculatrice de l'empreinte carbone: usage domestique et déplacements en dehors du travail
  - f. Méthodes de calcul de "l'impact total sur le réchauffement équivalent" (TEWI)
7. Outils économiques pour les systèmes énergétiques
  - a. La valeur temporelle de l'argent
  - b. Analyse économique des systèmes énergétiques
  - c. Équations pour relier les valeurs présentes, annuelles et futures
8. "4-E" Critères d'évaluation pour les systèmes énergétiques
  - a. Énergie
  - b. Exergie
  - c. Environnement
  - d. Économique

## Semestre 3

Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS3AQEC	Assurance Qualité et Eco-Conception	4	30
MS3COAV	Commande Avancée	5	45
MS3COMP	Comptabilité	3	30
MS3ECEI	Economie d'entreprise et Industrielle	4	30
MS3OPEN	Optimisation et Energie	5	45
MS3EENC	Electroniques des Energies non Conventionnelles *	4	30
MS3ENBA	Energétique du Batiment *	4	30
MS3MEFM	Mécanique Flexible et Matériaux *	4	30
MS3SYTM	Systèmes Thermiques et Multiphysiques *	4	30
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>29</b>	<b>240</b>

Code	Intitulé	Semestre	ECTS	CM	TD	TP	Total
MS3AQEC	Assurance Qualité et Eco- Conception	3	4				30

**Pré-requis :** Connaissances en Génie électriques.

**But :** Connaitre l'essentiel de la norme ISO 50001 et sa mise en œuvre.

**Objectifs:** Permettre aux étudiants en Master de bien appréhender un Système de Management Moderne, L'intégration avec d'autres systèmes de Management.

**Contenu :** La norme ISO 50001, « Système de Management Energétique », La version 2011 qui reste applicable jusqu'en 2021 servira de base, La nouvelle version 2018 sera abordée également.

**Travaux pratiques :** Des Etudes de cas seront traités.

**Références :** Essentiellement La norme.

Code	Intitulé	Semestre	CM	TD	TP	Total
MS3COAV	Commande Avancée	3				45

**Pré requis :** Automatique Linéaire, Analyse II.

**Objectifs pédagogiques:**

- Etre capable d'identifier et de modéliser un système asservi linéaire.
- Savoir faire une analyse fonctionnelle d'un système asservi.
- Etre capable d'évaluer les performances d'un asservissement.
- Savoir réaliser et implémenter un correcteur PID analogique et numérique.

**Contenu :**

1. Apprendre les différentes méthodes d'identification afin de construire un modèle de réglage d'un système asservis.
  - Identification directe, méthode de Broïda, méthode de Strejc, identification en boucle fermée.
2. Modélisation dans l'espace d'état d'un système SISO et d'un système MIMO.
  - Passage de l'espace d'état à la fonction de transfert et inversement.
  - Savoir mettre le système sous forme canonique de commandabilité et d'observabilité.
3. Stabilité des systèmes asservis linéaires :
  - Critère de Routh, critère géométrique (Bode, Nyquist, Black), Marge de gain et Marge de Phase, Abaque de Black.
4. Lieu des racines (Lieu d'Evans).
  - Règles de tracé du lieu d'Evans, Exemple de tracé du lieu d'Evans
5. Correction des systèmes linéaires asservis.
  - Correcteurs P, PI, PID, correcteur à retard de phase et correcteur à avance de phase, Réglage des paramètres des régulateurs.
6. Réponse temporelle: solution de l'équation d'état.
  - Réponse temporelle à partir d'un modèle d'état, Calcul de la matrice de transition.
7. Commande dans l'espace d'état :
  - Analyse de la stabilité dans l'espace d'état, Commandabilité de l'état, Commande par retour d'état, Commande des systèmes par placement de pôles.
8. Commande numérique des procédés :
  - Rappel sur la transformée de Z, Modèles des systèmes à temps discret, Stabilité des systèmes à temps discret,

**Travaux pratiques :**

- Acquisition et identification des systèmes asservis.
- Analyse temporelle et fréquentielle sur Matlab
- Régulation de niveau et température sur une maquette du laboratoire
- Asservissement de vitesse et de position d'un moteur DC sur un système réel.

**Référence :**

- *Cours Automatique, K. GASSO, INSA Rouen*
- *Cours-Asservissements Linéaires Continus, M-K. Fellah, Université Djillali Liabès.*
- *Modern Control Engineering, K. Ogata, 5th Edition.*
- *AUTOMATIQUE: Systèmes linéaires, non linéaires, à temps continu, à temps discret, représentation d'état. Y. Granjon, DUNOD.*
- *Cours : Techniques de Commande Avancée, H. Merabet Boulouiha, Centre universitaire de Rélizane Ahmed Zabana.*
- *Cours d'automatique, T. Château., Polytech' Clermont Ferrand.*

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS3COMP	Comptabilité	3	3				30

### **Objectifs :**

Le cours a pour but Initier l'étudiant à la notion du plan comptable, aux enregistrements courants et se familiariser avec les opérations comptables, avec les renseignements des travaux d'inventaire et d'états financiers des comptes.

### **Contenu :**

Introduction à la comptabilité générale - L'enregistrement comptable des opérations - Les achats et les autres charges - Les ventes et les autres produits - la TVA - Les amortissements

#### **Introduction à la comptabilité générale**

- A quoi sert la comptabilité ?
- Qui sont les utilisateurs bénéficiaires ?
- Les acteurs
- Plan comptable et comptes

#### **L'enregistrement comptable des opérations**

- Le principe de la double partie
- L'application du principe de la double partie
- Journal, grand livre, balance, résultat et bilan

#### **Les achats et les autres charges**

- Les charges d'exploitation (les achats, la réduction commerciale, les réductions financières, les retours sur achats, les réductions accordées après facturation, les autres charges d'exploitation et les frais accessoires d'achat)
- Les charges financières
- Les charges exceptionnelles

#### **Les ventes et les autres produits**

- Les produits d'exploitation (les ventes, les frais accessoires sur ventes et les autres produits d'exploitation)
- Les produits financiers
- Les produits exceptionnels

#### **La TVA**

#### **Les amortissements**

Code	Intitulé	Semestre	ECTS	CM	TD	TP	Total
MS3ECEI	Economie d'Entreprise et Industrielle	3	4				30

**Pré-requis :** Sciences économiques et de gestion

**But :** traiter l'économie d'entreprise en intégrant les apports théoriques et conceptuels du management afin de comprendre le fonctionnement de l'entreprise industrielle. Les connaissances théoriques présentées peuvent être appliquées à des situations concrètes, permettent immédiatement une confrontation entre théorie et pratique et offrent la possibilité de percevoir l'intérêt de gestion des entreprises industrielles.

**Objectifs pédagogiques:** L'objectif de ce cours est de présenter les bases de l'économie d'entreprise pour

Connaître le fonctionnement de l'entreprise et notamment l'entreprise industrielle, il s'agit de l'initiation à la maîtrise de l'organisation et du fonctionnement des entreprises.

**Contenu :**

- Qu'est-ce que l'entreprise?, la diversité, la taille, la stratégie, l'organisation de l'entreprise, classification et structure, le management, l'information dans l'entreprise ... Les principaux fonctions de l'entreprise industrielle (la fonction de direction, de production et gestion des stocks, commerciale, ressources humaine, financière)
- L'entreprise et son environnement économique, social, naturel et fiscal.
- La gestion stratégiques et la gestion des risques.

**Travaux pratiques :** Études de cas, exercices, dissertations, des exemples appropriés...

**Référence :**

- BRESSY G., KONKYUT C., Economie d'entreprise, coll. « Aide Mémoire », Ed. Sirey, nouvelle édition en 2006
- Gilles Bressy, Christian Konkuyt, économie D'entreprise, 7<sup>e</sup> édition, 2004, campus Dalloz
- LONGUATTE J. et MULLER J., Economie d'entreprise, coll. Express, 2004, Dunod
- MENARD C., Les théories de la firme, Collection « Repères », Ed. La Découverte
- MANKIW G.N., Principes de l'Economie, Economica
- Olivier Bouba-Olga, l'économie de l'entreprise 2003, amazon
- PASTRE Olivier, économie D'entreprise, 2011, édition economica
- Rudolf Brennemann, Sabine Sépari, économie D'entreprise, Dunod, Paris, 2001

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS3OPEN	Optimisation et Energie	3	5				45

### Objectifs:

Acquérir les connaissances nécessaires sur les techniques d'optimisation et les appliquer dans le domaine d'optimisation des énergies multi-sources.

### Contenu:

- Généralité sur les bases théoriques : Définition de Problème d'optimisation, Solution, Différentiabilité, Classification des problèmes d'optimisation, Techniques d'optimisation.
- Techniques d'optimisation classiques : Optimisation un seul variable, Optimisation plusieurs variables sans contraintes, Optimisation plusieurs variables avec contrainte d'égalité, Optimisation plusieurs variables avec contraintes d'inégalités
- Méthodes d'optimisation modernes : Algorithmes génétiques, Recuit simulé, Optimisation des essaims des particules, Système des colonies de fourmis, Optimisation des systèmes flous, Optimisation réseau de neurones.
- Optimisation des systèmes multi-sources de production d'électricité à énergies renouvelables: système énergie multi-source, optimisation de la distribution locale des systèmes à énergie renouvelable.

### Travaux pratiques:

- Graphes et optimisation en Matlab : Graphe d'une fonction scalaire, graphe d'une fonction de 2 variables, courbes de niveau et champ de dégradé, fonctions et descripteurs, optimisation sans contrainte, optimisation sous contraintes.
- Algorithmes d'optimisation en Matlab
- Optimisation de l'emplacement des centrales énergétiques dans un système énergétique multi-source.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS3EENC	Electroniques des énergies non-conventionnelles	3	4				30

**Pré-requis:** Machines électriques, Electronique de puissance, Systèmes à énergies renouvelables.

**Objectifs:** Le développement des énergies issues de sources renouvelables et l'augmentation de la consommation électrique nécessiteront des solutions nouvelles pour maintenir le niveau de qualité et la disponibilité de l'énergie électrique. Un rôle sur mesure pour l'électronique de puissance. Ces convertisseurs de puissance offrant suffisamment de souplesse trouvent de nombreuses applications dans les domaines des énergies renouvelables, la traction électrique et le traitement des charges lourdes industrielles.

Ce cours est dédié principalement à l'étude des systèmes éoliens et photovoltaïque raccordés au réseau de distribution électrique fonctionnant sur la technologie de l'électronique de puissance. Le modèle électrique de ces systèmes sera développé afin d'analyser l'échange d'énergie avec le réseau. Des codes numériques sous MATLAB/SIMULINK seront implémentés pour mieux comprendre le comportement des systèmes étudiés. Finalement, quelques standards liés à l'intégration des systèmes à bases des énergies renouvelables seront présentés.

**Contenu:** - Décrire les caractéristiques et le principe de fonctionnement des systèmes à énergies renouvelables (éolien/photovoltaïque);

- Reconnaître l'importance de l'intégration des convertisseurs de puissance pour réguler l'échange de l'énergie d'électricité avec le réseau de distribution.
- Identifier les composantes principales (sources d'énergie, convertisseurs, contrôleurs, protection, élément de stockage d'énergie,...);
- Analyser les performances d'une génératrice asynchrone double induction de 2-MW entraînée par une turbine éolienne.
- Discuter quelque problème lié au raccordement au réseau électrique;
- Interpréter des standards comme NEC207, NEC2104, IEC61400-12-1(2017), IEC61400-21. Application pour installation résidentielle PV de 10-kW;
- Comprendre les provisions des onduleurs intégrés dans un système d'énergies renouvelable selon IEEE1547 (UL1741).
- Analyser et commenter les résultats simulés avec MATLAB.

#### **Bibliographies:**

H. Abu-Rub, "Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications", 2014, Wiley.

A. Gonzalo, "Doubly fed induction machines. Modeling and control for wind energy applications", 2011, Wiley.

E. Acha, "FACTS, modeling and simulation in power networks", 2004, Wiley.

Q. Zhong, "Control of power inverters in renewable energy and smart grid integration", 2013, IEEE press.

G.B. Gharehpetian, "Distributed generation systems. Design, operation and grid integration", 2017, Elsevier.

B. Zha, "Grid integrated and standalone photovoltaic distributed generation systems", 2017, Wiley.

Code	Intitulé	Semestre	Crédits	CM	TD	TP	Total
MS2ENBA	Energétique du bâtiment	3	4				30

### Objectifs :

8. Démontrer l'importante consommation d'énergie dans les bâtiments
9. Introduire le concept de "bâtiments à consommation énergétique nette zéro"
10. Identifier les flux d'énergie dans un bâtiment
11. Évaluer les économies d'énergie réalisées dans les bâtiments pour chaque amélioration
12. Optimiser l'enveloppe du bâtiment à l'aide de solutions énergétiques passives
13. Estimer le coût d'un système énergétique du bâtiment
14. Étudier la faisabilité économique de tout projet de rénovation énergétique dans le bâtiment utilisant LCC, NPV, PBP,...
15. Estimer l'impact environnemental d'un système énergétique du bâtiment

### Contenu :

1. Introduction et concepts de base
  - a. Pourquoi étudier l'énergie dans les bâtiments?
    - i. Prix de l'énergie
    - ii. Disponibilité d'énergie
    - iii. Réchauffement climatique
  - b. La pollution
  - c. Croissance démographique et urbanisation
  - d. Charges énergétiques du bâtiment
  - e. Étapes de la solution
    - i. Passif
    - ii. Systèmes énergétiques-efficaces
    - iii. Énergie renouvelable
    - iv. Atteindre NZEB
    - v. Définition des priorités (économique, disponibilité...)
  - f. Protocoles de protection climatique
  - g. Normes et standards
  - h. Systèmes et indices d'évaluation des bâtiments résidentiels
2. Analyse économique des systèmes énergétiques des bâtiments
  - a. Concepts de base - Valeur temporelle de l'argent
    - i. Taux d'intérêt
    - ii. Taux d'inflation
    - iii. Taux d'impôt
    - iv. Flux de trésorerie
  - b. Facteurs Composés
    - i. Paiement unique
    - ii. Paiement de série uniforme
  - c. Méthodes d'évaluation économique parmi les alternatives
    - i. Valeur actuelle nette
    - ii. Taux de retour
    - iii. Ratio avantages-coûts
    - iv. Coût nivelé de l'énergie
    - v. Période de récupération
  - d. Méthode d'analyse des coûts du cycle de vie
  - e. Procédure générale d'évaluation économique
  - f. Options de financement

3. Enveloppe du bâtiment
  - a. Concepts de base de transfert de chaleur
    - i. Transfert de chaleur des murs et des toits
    - ii. Infiltration Perte de chaleur / Gain
    - iii. Méthode des degrés-jours de bases variables
  - b. Outils de calcul simplifiés pour l'enveloppe du bâtiment
    - i. Estimation des économies d'énergie
    - ii. Estimation du BLC pour le bâtiment
    - iii. Estimation des degrés-jours
    - iv. Calculs de transfert thermique de fondations - exemples
  - c. Sélection de rénovations pour l'enveloppe du bâtiment
    - i. Isolation de composants d'enveloppe de bâtiment mal isolés
    - ii. Améliorations des fenêtres
    - iii. Réduction de l'infiltration d'air
4. Outils d'analyse énergétique pour les bâtiments
  - a. Méthodes basées sur les ratios
    - i. Types de ratios
    - ii. Exemples de ratios d'énergie
  - b. Méthodes de modélisation inverse
    - i. Modèles inverses au régime stationnaire
      1. Méthode ANAGRAM
      2. Méthode PRISM
    - ii. Modèles dynamiques
  - c. Méthodes de modélisation avancées
    - i. Méthodes aux régimes stationnaires
    - ii. Méthodes degrés-jours
    - iii. Méthodes bin
    - iv. Méthodes dynamiques
5. Méthodes d'estimation des économies d'énergie dans les bâtiments
  - a. Procédure générale
  - b. Modèles d'estimation des économies d'énergie
    - i. Méthodes d'ingénierie simplifiées
    - ii. Modèles d'analyse de régression
      1. Modèles d'analyse par régression à variable unique
      2. Modèles d'analyse multi-variables par régression
    - iii. Modèles dynamiques
    - iv. Modèles de simulation informatique
  - c. Applications
  - d. Analyse d'incertitude
6. Audit énergétique des bâtiments
  - a. Types d'audits énergétiques
    - i. Audit de bout en bout
    - ii. Analyse des coûts des services publics
    - iii. Audit énergétique standard
    - iv. Audit énergétique détaillé
  - b. Procédure générale pour un audit énergétique détaillé
    - i. Étape 1: Analyse des données de bâtiment et d'utilité
    - ii. Étape 2: Enquête préliminaire
    - iii. Étape 3: Données de base sur la consommation d'énergie des bâtiments
    - iv. Étape 4: Évaluation des mesures d'économies d'énergie

- c. Mesures de conservation d'énergie communes
    - i. L'enveloppe du bâtiment
    - ii. Systèmes électriques
    - iii. Systèmes de CVC
    - iv. Systèmes d'air comprimé
    - v. Contrôles de gestion de l'énergie
    - vi. Gestion de l'eau intérieure
    - vii. Nouvelles technologies
  - d. Étude de cas
  - e. Méthodes de vérification des économies d'énergie
7. Études de cas
- a. Description du bâtiment
    - i. L'enveloppe du bâtiment
    - ii. Infiltration de bâtiments
    - iii. Système de CVC
    - iv. Gestion de l'eau
    - v. Électroménagers
    - vi. Confort thermique
  - b. Mesures d'efficacité énergétique
    - i. L'enveloppe du bâtiment
    - ii. Gestion de l'eau
    - iii. Appareils électroménagers
  - c. Analyse économique
  - d. Recommandations

### Références :

- [1] McQuiston FC, Parker JD, Spitler JD. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design. 6. ed., intern. ed. Hoboken, N.J: Wiley; 2005.
- [2] Kuehn TH, Ramsey JW, Threlkeld JL. Thermal environmental engineering. vol. 188. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ; 1998.
- [3] Harkouss F, Fardoun F, Biwole PH. Optimization approaches and climates investigations in NZEB—A review. Build Simul 2018. doi:10.1007/s12273-018-0448-6.
- [4] Krarti M. Energy audit of building systems: an engineering approach. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2011.
- [5] Shukla A, Sharma A, editors. Sustainability through energy-efficient buildings. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press; 2018.
- [6] Krarti M. Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings. CRC Press; 2017.
- [7] Jaluria Y. Design and optimization of thermal systems. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2008.
- [8] Jayamaha L. Energy-efficient building systems: green strategies for operation and maintenance. New York: McGraw-Hill; 2007.

## Semestre 4

Code	Matière	Crédits	CM+TD+TP
MS4SEMI	Séminaires	8	60
MS4STPR	Stage - Projet (≈250h/étudiant - projet)	22	250
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>310</b>