

MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRONIQUE

Langue principale d'enseignement :

Français ☒ Anglais ☐ Arabe ☐

Campus où le programme est proposé : CST

OBJECTIFS

Ce Master vise à former :

- des enseignants et des chercheurs.
- des spécialistes de haut niveau dans les diverses administrations concernées et bureaux d'études.
- des chercheurs étrangers : en raison de l'importance des problèmes abordés, l'ouverture à des étudiants étrangers du bassin méditerranéen peut amener une synergie favorable à une meilleure utilisation commune des ressources.

COMPÉTENCES

- Acquérir et appliquer des connaissances avancées appropriées à la discipline.
- Résoudre les problèmes critiques et démontrer l'expertise dans les domaines clés dans le domaine de l'étude.
- Analyser et penser de manière innovante pour développer de nouvelles solutions pour des problèmes réels.
- Appliquer des méthodes théoriques et expérimentales nouvelles et diversifiées selon la discipline.
- Intégrer l'éthique et la responsabilité morale dans les solutions d'ingénierie dans le domaine.
- Mener des recherches indépendantes et originales et contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine.
- Communiquer, à un niveau avancé, sous forme orale et écrite.
- Reconnaître l'importance des normes d'intégrité professionnelle.

CONDITIONS D'ADMISSION


Les candidats sont sélectionnés suite à l'étude du dossier fourni par l'étudiant.

- Admission au premier semestre du Master (M1) pour les candidats titulaires d'une Licence en physique, électricité, électronique, électrotechnique, électromécanique, ou d'un diplôme équivalent.
- Admission au troisième semestre du Master (M3) pour les ingénieurs diplômés en génie électrique, les titulaires d'une Maîtrise ou d'un Master en physique, électricité, électronique, électrotechnique, électromécanique.
- Admission au troisième semestre du Master (M3) pour les étudiants de troisième année de génie électrique de l'ESIB (cinquième année d'études supérieures).
- Les titulaires d'un diplôme reconnu équivalent.

La sélection des candidats est faite par un jury d'admission dans la limite des places disponibles.

UE/CRÉDITS ATTRIBUÉS PAR ÉQUIVALENCE

Les ingénieurs diplômés en génie électrique, les titulaires d'une Maîtrise ou d'un Master en physique, électricité, électronique, électrotechnique, électromécanique, les étudiants en cinquième année GE à l'ESIB et les titulaires d'un diplôme équivalent reconnu, peuvent valider par équivalence un maximum de 60 crédits du programme : sur proposition du directeur du Département des études doctorales, le jury d'admission fixera pour chaque étudiant admis directement en M3, les matières et les modules validés en fonction de son cursus et de ses résultats préalables et définira son parcours au Master dans la spécialité concernée, incluant éventuellement des matières complémentaires prérequis. La proposition de la validation de la formation antérieure est soumise à l'approbation de la commission des équivalences de l'USJ.



EXIGENCES DU PROGRAMME

UE obligatoires (120 crédits)

Automatique linéaire (4 Cr.). Conversion continu-continu (4 Cr.). Capteurs et instrumentation (4 Cr.). Mini-projet 1 (6 Cr.). Machines électriques 2 (4 Cr.). Systèmes à microprocesseurs (4 Cr.). Systèmes et commandes numériques (4 Cr.). Anglais (4 Cr.). Analyse des réseaux électriques (4 Cr.). Conversion continu-alternatif (4 Cr.). Commande temporelle (4 Cr.). Entraînements à vitesse variable (6 Cr.). Mini-projet 2 (8 Cr.). Architecture des systèmes numériques (4 Cr.). BE commande avancée des machines (2 Cr.). BE électronique de puissance avancée (2 Cr.). Commande avancée des machines électriques (4 Cr.). Électronique de puissance avancée (4 Cr.). Modélisation et commande des convertisseurs statiques (4 Cr.). Réseaux électriques à sources distribuées (4 Cr.). Stockage de l'énergie (4 Cr.). BE techniques de commandes avancées (2 Cr.). Stage de recherche avec mémoire (30 Cr.).

PLAN D'ÉTUDES PROPOSÉ

Semestre 1

Code	Intitulé de l'UE	Crédits
020AULMM1	Automatique linéaire	4
020CCCMM1	Conversion continu-continu	4
020CEIMM1	Capteurs et instrumentation	4
020GE1MM1	Mini-projet 1	6
020MA2MM1	Machines électriques 2	4
020SCNMM1	Systèmes et commandes numériques	4
020CCAMM2	Systèmes à microprocesseurs	4
	Total	30

Semestre 2

Code	Intitulé de l'UE	Crédits
020ANGMM2	Anglais	4
020ANRMM2	Analyse des réseaux électriques	4
020CCAMM2	Conversion continu-alternatif	4
020CTMMM2	Commande temporelle	4
020EVVMM2	Entraînements à vitesse variable	6
020GE2MM2	Mini-projet 2	8
	Total	30

Semestre 3

Code	Intitulé de l'UE	Crédits
020ASNMM3	Architecture des systèmes numériques	4
020BCMMM3	BE commande avancée des machines électriques	2
020BEPMM3	BE électronique de puissance avancée	2
020CAEMM3	Commande avancée des machines électriques	4
020EPAMM3	Électronique de puissance avancée	4
020MCCMM3	Modélisation et commande des convertisseurs statiques	4
020RSDMM3	Réseaux électriques à sources distribuées	4
020STEMM3	Stockage de l'énergie	4

020BCAMM3	BE techniques de commandes avancées	2
	Total	30

Semestre 4

Code	Intitulé de l'UE	Crédits
020MGEMM4	Stage de recherche avec mémoire	30
	Total	30

DESCRIPTIFS DES UE

Semestre M1

020AULMM1	Automatique linéaire	4 Cr.
------------------	-----------------------------	--------------

Concepts de base de l'automatique linéaire – Étude des systèmes linéaires du 1^{er} et du 2nd ordre : réponses aux entrées usuelles (réponses indicielle, impulsionnelle, harmonique, etc.), propriétés (temps de réponse, erreurs statiques de position, de vitesse et d'accélération, pulsation de coupure, bande passante, dépassement, résonance, etc.), représentation fréquentielle (diagrammes de Bode, Nyquist et Black) – Introduction aux notions de régulation et d'asservissement (boucle fermée, consigne, cahier des charges, etc.) – Étude de la stabilité et de la précision d'un système – Systèmes asservis : principe et techniques de synthèse des correcteurs les plus utilisés dans l'industrie (régulateurs P, PI, PID, commandes à avance et à retard de phase, etc.) – Calcul analytique (méthode de compensation des pôles et des zéros), graphique (diagramme de Bode) et/ou pratique (méthode de Ziegler-Nichols, PID tuning, trial and error, etc.) – Mise en œuvre et validation : simulations sur Matlab/Simulink (bureau d'études et TD) – Validation expérimentale sous forme de travaux pratiques.

020CCMM1	Conversion continu-continu	4 Cr.
-----------------	-----------------------------------	--------------

Généralités. Rappel sur les familles de convertisseurs. Place de la conversion continu-continu dans les applications industrielles. Rappel sur les principaux semi-conducteurs de puissance utilisés dans la conversion continu-continu : structure, caractéristiques statiques et dynamiques, circuits de protection et d'aide à la commutation, circuit de commande. Variateurs à courant continu. Fonctions de base. Hacheurs série et parallèle. Application à la commande en vitesse d'un moteur à courant continu. Alimentations à découpage non isolées. Structures de base. Hacheurs abaisseurs, élévateurs et inverseurs. Fonctionnement en conduction continue et discontinue. Dimensionnement des composants. Alimentations isolées. Forward à un interrupteur, asymétrique et à sorties multiples. Push-pull série, parallèle et en pont complet. Fly-back à une ou plusieurs sorties, en continuité ou en discontinuité de flux. Modélisation mathématique des alimentations à découpage. Technique de modélisation : méthode des générateurs moyens, méthode du modèle d'état moyen, méthode de la série de Fourier. Linéarisation. Modèles statique et dynamique en petits signaux. Fonctions de transfert. Conception du système de réglage. Choix des paramètres des régulateurs. Détermination du pire cas pour la commande.

020CEIMM1	Capteurs et instrumentation	4 Cr.
------------------	------------------------------------	--------------

Généralités : principes fondamentaux, corps d'épreuve, grandeurs d'influence, caractéristiques métrologiques (erreurs, sensibilité, rapidité). Conditionneurs de capteurs passifs : montage potentiométrique, pont de Wheatstone, oscillateurs. Conditionneur du signal : analyse spectrale, chaîne de mesure, adaptation, linéarisation, amplification, réduction de la tension de mode commun, détection de l'information des signaux modulés en amplitude ou en fréquence. Capteurs optiques : propriétés de la lumière, cellule photoconductrice, photodiode, phototransistor. Capteurs de température : thermométrie par résistance, thermométrie par diode et transistor, thermométrie par thermocouple. Capteurs tachymétriques : généralités, tachymètres à courant continu, tachymètres à courant alternatif, tachymètres à réductance variable, tachymètres optiques. Capteurs de position et de déplacement : potentiomètre résistif, capteurs inductifs, microsyn, capteurs capacitifs, montages de mesure, capteurs digitaux, codeurs absolus, générateur incrémental optique. Capteurs de force, pesage et couple : capteurs piézoélectriques, capteurs à magnétostriction.

020GE1MM1	Mini-projet 1	6 Cr.
------------------	----------------------	--------------

Réaliser un mini-projet dans l'une des disciplines du semestre M1.

020MA2MM1	Machines électriques 2	4 Cr.
------------------	-------------------------------	--------------

Ce cours s'articule autour de quatre axes : I) Transformateurs : étude des transformateurs spéciaux - Transformateurs en régime déséquilibré - Régimes transitoires des transformateurs - Fonctionnement en parallèle des transformateurs - Applications sous Matlab. II) Machines à courant continu : Mise en équation de la MCC en régime transitoire - Exploitation des équations en régime transitoire non saturé. III) Machines asynchrones : fonctionnement en génératrice et en frein - Machines asynchrones spéciales : monophasées, à double cage et à encoches profondes - Modélisation de la machine asynchrone en régime transitoire et applications. IV) Machines synchrones : rappels sur les champs tournants - Modélisation dynamique des machines synchrones : à pôles lisses, à pôles saillants, avec ou sans amortisseurs - Étude du régime transitoire en mode alternateur et applications.

020MPMM1	Systèmes à microprocesseurs	4 Cr.
-----------------	------------------------------------	--------------

Architecture - Microprocesseurs à usage général - Processeurs de traitement numérique du signal DSP - Microcontrôleurs - Mémoires - Dispositifs d'entrées/sorties - Modes d'échanges d'informations - Microcontrôleurs - Processeurs de traitement numérique du signal - Programmation - Exemples de processeurs disponibles sur le marché.

020SCNMM1	Systèmes et commandes numériques	4 Cr.
------------------	-----------------------------------------	--------------

Modélisation : structure, organes et fonctionnement d'un système de commande discret – Transformées en Z directe, inverse et modifiée – Fonction de transfert discrète – Échantillonnage asynchrone et multiple. Analyse et commande des systèmes discrets : Stabilité (asymptotique et BIBO) – Critères de stabilité (Jury et Nyquist) – Stabilité par transformation homographique (Routh et Nyquist) – Réponse indicielle et fréquentielle d'un système échantillonné – Théorème de Shannon – Performances (poursuite et rejet des perturbations et des bruits) – Robustesse (marges de gain et de phase) – Discrétisation des lois de commande analogiques. Conception de la commande : par le lieu d'Evans, par transformation homographique, par approximation pseudo-continue, par déduction (algorithme de Kalman).

Semestre M2

020ANGMM2	Anglais	4 Cr.
------------------	----------------	--------------

Amener les étudiants à maîtriser l'anglais en vue de faciliter leur future insertion dans le milieu professionnel.

020ANRMM2	Analyse des réseaux électriques	4 Cr.
------------------	----------------------------------------	--------------

Généralités sur les réseaux de distribution de l'énergie électrique. Historique. Rappel sur les concepts énergétiques. Bases de calcul et valeurs réduites. Modélisation d'un réseau électrique. Composants d'une ligne électrique. Calcul des résistances, inductances et capacités linéiques. Effets de la fréquence. Notions de Circular Mil, GMR et GMD. Caractéristiques des conducteurs d'aluminium renforcés d'acier (ACSR). Étude des lignes en régime permanent. Modèle nominal en π d'une ligne. Pertes de puissance. Rendement. Régulation de tension. Impédance caractéristique et puissance caractéristique d'une ligne. Écoulement de puissance. Compensation réactive. Étude des défauts de court-circuit. Composantes symétriques. Séquences directe, inverse et homopolaire. Application à l'étude de la stabilité. Choix des disjoncteurs. Surtension et coordination de l'isolement. Isolation externe et interne. Prise en compte de la pollution. Méthodes statistiques et semi-statistiques. Réseau de transport à courant continu. Avantages et faiblesses. Principaux composants. Fonctionnement. Commande et réglage. Étude des grands réseaux. Représentation matricielle. Matrice d'admittance nodale. Techniques de résolution numérique. Algorithmes de Gauss-Seidel et de Newton-Raphson. Simulations numériques des grands réseaux sous Matlab.

020CCAMM2	Conversion continu-alternatif	4 Cr.
------------------	--------------------------------------	--------------

Généralités. Rappel sur les familles de convertisseurs. Place des onduleurs dans les applications industrielles. Composants semi-conducteurs utilisés. Onduleurs monophasés. Onduleur avec un transformateur à point milieu. Onduleur en demi-pont. Onduleur en pont complet. Onduleurs triphasés. Notes sur les onduleurs multi-niveaux.

Techniques de commande. Commande pleine onde décalée. Commande MLI sinus-triangle. Principes de la surmodulation. Commande unipolaire et bipolaire d'un pont monophasé complet. Modulation phase par phase d'un onduleur triphasé. Modulation suboptimale. Modulation partielle. Commande vectorielle d'un onduleur triphasé. Modulation précalculée. Commande d'un onduleur en pont monophasé par déphasage des commandes des deux demi-ponts. Modulation sigma-delta et modulation delta. Notes sur le filtrage des grandeurs d'entrée et de sortie. Dimensionnement des filtres. Convertisseurs alternatif-continu à facteur de puissance élevé. Principes de filtrage et de mise en forme des courants de source. Filtrage passif versus filtrage actif. Topologies monophasées uni et bidirectionnelles. Circuits de correction du facteur de puissance. Topologies triphasées directes. Topologie à six interrupteurs. Redresseur de Vienne. Topologies indirectes. Redresseur de Minnesota. Redresseur triphasé à injection active de courant. Techniques de commande : commande à fréquence fixe versus commande par bascules à hystérésis. Modélisation et réglage des redresseurs actifs. Simulations numériques et vérification des performances. Imperfections de fonctionnement. Problème de saturation de commande.

020CTMMM2	Commande temporelle	4 Cr.
------------------	----------------------------	--------------

Le cours de commande temporelle est articulé autour de deux grands axes : I) Analyse temporelle : Équations d'état – Linéarisation – Réponses et matrices de transfert – Réalisation sous forme de contrôlabilité, d'observabilité et de Jordan – Définitions et critères de la contrôlabilité et de l'observabilité – Condition de simplification d'un zéro par un pôle et réalisation minimale. II) Commande par retour d'état : placement des pôles avec minimisation de l'erreur et intégration – Observateur d'état – Commande quadratique et filtre de Kalman.

020EVVMM2	Entraînements à vitesse variable	6 Cr.
------------------	-----------------------------------------	--------------

Nécessité de la vitesse variable. Machine à courant continu à vitesse variable : réversibilité totale, convertisseur quatre quadrants sans circulation de courant, boucle de courant, boucle de vitesse. Modélisation et types d'alimentations du moteur asynchrone : équations en valeurs réduites, modèle simplifié à fréquences élevées, commande en tension, commande en courant, convertisseurs associés au moteur asynchrone. Commandes scalaire, vectorielle et DTC de la machine asynchrone. Modélisation de la machine synchrone en vue de la commande. Alimentation par le réseau triphasé. Commande en couple de la machine synchrone : autopilotage et commande vectorielle. Commande en vitesse de la machine synchrone. Bureau d'études sur Matlab/Simulink.

020GE2MM2	Mini-projet 2	8 Cr.
------------------	----------------------	--------------

Réaliser un mini projet dans l'une des disciplines du semestre M2.

Semestre M3

020ASNMM3	Architecture des systèmes numériques	4 Cr.
------------------	---------------------------------------------	--------------

Présentation des FPGA et du VHDL synthétisable. Machines d'état. Applications. Méthode adéquation algorithme architecture.

020BCMMM3	BE commande avancée des machines électriques	2 Cr.
------------------	-----------------------------------------------------	--------------

Bureau d'études de dimensionnement d'une chaîne de conversion d'énergie correspondant à l'entraînement à vitesse variable d'une charge mécanique donnée. Le travail consiste à choisir le moteur d'entraînement, le (s) convertisseur (s) associé(s) ainsi que la méthode de commande la mieux adaptée à la charge mécanique. Le dimensionnement complet de la chaîne est validé par des simulations permettant de vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble. Application de la commande prédictive à la machine synchrone à aimants permanents, comparaison des performances avec une commande classique à base de régulateurs PI.

020BEPMM3	BE électronique de puissance avancée	2 Cr.
------------------	---------------------------------------------	--------------

Bureau d'études de conception, commande, simulation et analyse de convertisseurs pour l'amélioration de la qualité d'énergie dans les réseaux électriques.

020CAEMM3	Commande avancée des machines électriques	4 Cr.
------------------	--------------------------------------------------	--------------

Contrôle vectoriel des actionneurs asynchrones. Commande directe du couple DTC. Fonctionnement sans capteurs.

Mesure et observation des grandeurs non mesurables. Calculs de régulateurs et d'observateurs. Autopilotage et commande vectorielle des actionneurs synchrones. Implantation numérique : CAN, capteurs, retards, filtres, etc. Commande en vitesse et en position.

020EPAMM3	Électronique de puissance avancée	4 Cr.
------------------	------------------------------------------	--------------

Pollution harmonique des réseaux électriques. Compensation active. Modélisation et commande des convertisseurs. Circuits de correction du facteur de puissance. Cas d'un Boost, d'un SEPIC et d'un convertisseur de Sheppard-Taylor. Redresseurs triphasés non polluants. Redresseur quatre quadrants. Redresseur de Vienne. Redresseurs à injection de courant. Filtres actifs et hybrides.

020MCCMM3	Modélisation et commande des convertisseurs statiques	4 Cr.
------------------	--------------------------------------------------------------	--------------

Modélisation instantanée et aux valeurs moyennes, modèles échantillonnés. Commande en PWM et en amplitude des convertisseurs statiques, cas des onduleurs triphasés de tension. Comparaisons de différentes lois de modulation. Lois de commande pour les redresseurs MLI monophasé et triphasés en absorption sinusoïdale (3 axes, 2 axes, DPC, etc.). Commande des filtres actifs parallèles (contrôle du réactif et des harmoniques). Lois de commande prédictives pour les convertisseurs : application aux convertisseurs DC-DC et AC-DC. Application de BE – Commande d'un PFC dans le cadre d'une structure cascade à l'aide de Matlab-Simulink.

020RSDMM3	Réseaux électriques à sources distribuées	4 Cr.
------------------	--------------------------------------------------	--------------

Génération distribuée : définition, avantages, réseaux intelligents, rôle de l'électronique de puissance, stockage de l'énergie. Convertisseurs statiques dans les réseaux distribués : familles de convertisseurs, applications, semi-conducteurs de puissance. Connectivité des sources photovoltaïques au réseau. Connectivité des sources éoliennes au réseau. Techniques de commande et de régulation. Qualité d'énergie et filtrage. Compensateurs statiques ou FACTS. Méthodes numériques pour le calcul de l'écoulement des puissances. Stabilité transitoire.

020STEMM3	Stockage de l'énergie	4 Cr.
------------------	------------------------------	--------------

Problématiques du stockage d'énergie, l'énergie électrique comme vecteur. Électricité : transport aisé mais stockage problématique. Ordres de grandeur (puissance massique et volumique) - Contextes applicatifs (stationnaire et véhicules). Stockage stationnaire (cas de figure, intérêts, enjeux) - Technologies disponibles. sources primaires (piles). Accumulateurs (électrochimiques, électromagnétiques, mécaniques). Les performances, question de technologie mais aussi de gestion.

Étude de cas I : Adéquation production/consommation dans une habitation (îlotage). Fluctuations de production (éolien, solaire). Fluctuations de consommation. Inadéquation horaire production/consommation et stockage.

Étude de cas II : Optimisation d'un réseau de bord d'avion (alimentation des actionneurs d'un train d'atterrissage). Structure d'un réseau de bord d'avion. Quelques ordres de grandeur (puissances mises en jeu, tensions, courants, taille, etc.). Optimisation du poids embarqué (stockage local vs section des câbles). Structure de puissance autour d'un train d'atterrissage à actionneurs électriques. Contrôle du système.

Étude de cas III : Le pack de batteries d'un véhicule (BMS, équilibrage de charge, etc.). Batteries pour véhicules électriques (avantages et inconvénients). Gauge d'énergie : une nécessité et un sérieux problème suivant la technologie. La batterie : un composant complexe à modéliser. Modélisation, caractérisation et identification en temps réel. Packs de batteries, dispersion de caractéristiques et équilibrage des cellules. Structure globale de la gestion d'un pack de batteries : le BMS - La vie d'une batterie et ses indicateurs. Vers la charge rapide : enjeux et difficultés.

020BCAMM3	BE techniques de commandes avancées	2 Cr.
------------------	--------------------------------------------	--------------

Commandes quadratiques. Commandes prédictives. Application de la commande prédictive sur un système du 2nd ordre.

Semestre M4

020MGEMM4	Stage de recherche avec mémoire	30 Cr.
------------------	----------------------------------------	---------------

Il constitue une initiation aux techniques de la recherche. C'est la synthèse d'un travail de recherche de quatre mois dans un centre de recherche ou un laboratoire.