

**Doctorat en ingénierie - 3737**

**RESPONSABLE :**

Fouad Erchiqui  
819 762-0971 poste 2554

**SCOLARITÉ :**

90 crédits, Troisième cycle

**GRADES :**

Philosophiae doctor

**OBJECTIFS :**

Ce programme vise à former des professionnels hautement qualifiés dans le domaine de l'ingénierie qui seront en mesure de pratiquer des activités de recherche et développement de pointe en industrie, de la recherche scientifique et de l'enseignement universitaire. Ces spécialistes seront capables de concevoir et d'accomplir de façon autonome un programme de recherche original et contribueront à l'avancement des connaissances dans un des champs de l'ingénierie.

Au terme de sa formation, l'étudiant aura acquis des connaissances approfondies en ingénierie et sera apte à :

- analyser de façon critique les résultats des publications scientifiques;
- concevoir, élaborer et mener à terme un projet de recherche original et innovant;
- travailler dans un contexte interdisciplinaire de recherche;
- mettre en œuvre un processus systématique de solution de problèmes réels définis dans leur contexte global d'ordres scientifique, technologique, environnemental ou socioéconomique;
- communiquer ses résultats de recherche, tant par écrit qu'oralement, et publier des ouvrages accrédités par la communauté scientifique.

Ce programme est offert en extension à l'UQAT en vertu d'une entente avec l'Université du Québec à Chicoutimi.

Le candidat doit démontrer sa maîtrise du français en satisfaisant aux exigences de la Politique institutionnelle sur la maîtrise du français de l'UQAT.

**CONDITIONS D'ADMISSION :**

**Base études universitaires**

Être titulaire d'une maîtrise (M.Sc.A. de type professionnel ou recherche) ou l'équivalent, obtenue avec une moyenne de 3,2 sur 4,3 en ingénierie; est également admissible au programme toute personne détentrice d'une maîtrise dans un domaine apparenté.

Ou

Être titulaire d'un grade de bachelier dans le domaine concerné et posséder les connaissances requises, une expérience pertinente d'au moins cinq ans et un dossier de recherche appuyé par au moins une publication comme auteur principal dans une revue avec facteur d'impact.

Un candidat ayant terminé sa scolarité de maîtrise avec une moyenne cumulative d'au moins 4 sur 4,3 et faisant preuve de nettes aptitudes à la recherche peut, selon la procédure en vigueur dans l'établissement, être admis au doctorat sans avoir terminé son programme de maîtrise.

Lors du processus d'évaluation des admissions, tout candidat dont la préparation est jugée insuffisante peut se voir imposer des cours d'appoint ou un programme de propédeutique.

Le candidat doit avoir une connaissance satisfaisante du français écrit et parlé et posséder des habiletés essentielles de la langue anglaise.

Le candidat doit s'assurer qu'un professeur habilité accepte de superviser sa recherche doctorale.

**PLAN DE FORMATION :**

Activités obligatoires

6DIG990	Examen doctoral (6 cr.)
6DIG993	Séminaire de doctorat (3 cr.)
6THESE	Thèse (72 cr.) 9 crédits optionnels

Génie mécanique

6DIG960	Méthodes numériques en mécanique des fluides et en transfert de chaleur (3 cr.)
6DIG973	Sujets spéciaux (3 cr.)
6DIG978	Vibration mécanique avancée (3 cr.)
6DIG983	Sujets spéciaux II (3 cr.)
6MIG801	Analyse des systèmes (3 cr.)
6MIG833	Mécanique des solides avancés (3 cr.)
6MIG835	Procédés d'assemblages (3 cr.)
6MIG901	Optimisation avancée (3 cr.)
6MIG905	Méthode des éléments finis et simulation numérique (3 cr.)
6MIG926	Compléments de transfert de chaleur (3 cr.)

**Génie électrique et informatique**

6DIG973	Sujets spéciaux (3 cr.)
6DIG983	Sujets spéciaux II (3 cr.)
6INF911	Réseaux de neurones (3 cr.)
6MIG810	Commande de machines électriques (3 cr.)
6MIG841	Interaction humain-robot (3 cr.)
6MIG843	Systèmes de communication numériques avancés (3 cr.)
6MIG905	Méthode des éléments finis et simulation numérique (3 cr.)
6MIG929	Complément de transport et exploitation de l'énergie électrique (3 cr.)
6MIG930	Ingénierie de la haute tension (3 cr.)
6MIG931	Réseaux d'énergie électrique (3 cr.)

**Génie des matériaux et métallurgie**

6DIG973	Sujets spéciaux (3 cr.)
6DIG974	Caractérisation des matériaux (3 cr.)
6DIG983	Sujets spéciaux II (3 cr.)
6MIG835	Procédés d'assemblages (3 cr.)
6MIG852	Technologies de mise en forme de matériaux (3 cr.)

**Génie civil**

6DIG973	Sujets spéciaux (3 cr.)
6DIG983	Sujets spéciaux II (3 cr.)
6MIG833	Mécanique des solides avancés (3 cr.)
6MIG844	Bois, produits du bois, systèmes constructifs (3 cr.)
6MIG905	Méthode des éléments finis et simulation numérique (3 cr.)

\* : Disponible à distance

**6DIG960****Méthodes numériques en mécanique des fluides et en transfert de chaleur**

**Objectifs :** Rendre l'étudiant capable d'utiliser différentes méthodes numériques permettant de solutionner divers problèmes reliés au processus simultané d'écoulement de fluides et de transfert de chaleur.

**Contenu :** Équation de conservation. Méthodes aux différences finies. Méthodes intégrales. Différentiation amont. Stabilité. Formulation en variables primitives: méthodes de Patankar et méthode MAC. Formulation en variables secondaires: courant-vorticité, fonctions potentielles. Convection forcée, mixte et naturelle. Problèmes, tests et applications.

**6DIG973****Sujets spéciaux**

**Objectifs :** Développer l'autonomie d'analyse et l'auto-apprentissage dans le domaine du génie.

**Contenu :** Ce cours est utile pour l'étudiant à temps complet mais aussi pour l'étudiant à temps partiel qui peut ainsi bénéficier d'une formation pertinente même pour un sujet de mémoire tiré de son milieu de travail. Le contenu est variable, selon les besoins des étudiants et l'expertise professorale disponible.

**6DIG974****Caractérisation des matériaux**

**Objectifs :** Approfondir les connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine de la caractérisation des matériaux et de leurs surfaces.

**Contenu :** Notions fondamentales sur les interactions rayonnement-matière et particules-matière. Différentes techniques sont décrites selon leurs caractéristiques (principes de fonctionnement, intérêt, résultats types, limitations. Techniques d'analyse basées sur l'interaction particules-matière : microscopie électronique à balayage, microscopie électronique en transmission, spectroscopie en dispersion d'énergie des rayons X (EDS), spectroscopie en dispersion de longueur d'ondes des rayons X (WDS), spectroscopie en pertes d'énergie des électrons (EELS), spectroscopie Auger, diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD), spectroscopie de masse à ionisation secondaire (SIMS). Techniques d'analyse basées sur l'interaction rayonnement-matière : radiographie X, spectrométrie de fluorescence X, diffraction des rayons X, spectroscopie de photoémission de rayons X (ESCA). Caractérisation physique des surfaces : approche thermodynamique (tension de surface et adhésion), mesures des angles de contact, évaluation des énergies de surface, morphologie des surfaces et méthodes de mesure, techniques avancées de la mesure de la rugosité aux niveaux micrométrique et nanométrique : profilométrie, interférométrie optique, microscopie à

force atomique. Ce cours comporte des séances de travaux pratiques avec les divers appareils de mesure disponibles, incluant la préparation des échantillons et l'interprétation des résultats.

**6DIG978****Vibration mécanique avancée**

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant avec des notions et des méthodes avancées en analyse et en mesure des vibrations mécaniques.

**Contenu :** Révision des principes et des méthodes de base à l'aide de systèmes à deux degrés de liberté. Application de ces concepts aux systèmes à plusieurs degrés de liberté, aux systèmes continus et à l'utilisation des méthodes numériques dans la résolution des systèmes d'équations. Introduction à la méthode de Lagrange et à son utilisation dans la formulation de problèmes plus complexes. Méthodes analytiques et analyse modale. Décrément logarithmique. Résonances et amortissement. Notions sur les techniques expérimentales de mesure des vibrations (pots vibrants, marteaux d'impact, accéléromètres et analyseur de spectre).

**6DIG983****Sujets spéciaux II**

**Objectifs :** Fournir à l'étudiant un complément de formation dans son domaine de spécialisation, en relation avec les exigences de son programme

**Contenu :** Le contenu du cours est variable, selon la formation et les besoins de l'étudiant en lien avec ses travaux de recherche, et l'expertise professorale disponible. Un plan de cours est préparé par le professeur responsable de l'activité de manière à couvrir les objectifs de formation et les exigences requises pour compléter le programme.

**6DIG990****Examen doctoral**

**Objectifs :** L'examen doctoral, contrôlé par un comité d'examen, vise à vérifier si le candidat est en mesure d'évoluer dans son domaine de recherche en ingénierie et s'il a la capacité de mener à terme son projet de recherche. Cet examen, qui doit être complété à la fin du troisième trimestre d'inscription, comporte deux parties distinctes, soit l'évaluation des connaissances de base du candidat dans son domaine de recherche, et la présentation du sujet de thèse devant le jury.

**Contenu :** Deuxième partie: La deuxième partie de l'examen consiste en un exposé oral qui se déroule deux semaines après la première partie. Pour ce faire, l'étudiant doit déposer, au plus tard une semaine avant la date prévue pour la présentation orale, un rapport d'une trentaine de pages sur le sujet de sa recherche, sa problématique et le cadre général de sa démarche incluant une revue critique de la littérature, la méthodologie de même que l'approche retenue. L'étudiant doit faire la preuve que son sujet de recherche est original, et que l'échéancier est réaliste. En plus

d'exposer oralement le contenu du document préalablement déposé, l'étudiant devra répondre aux questions des membres du jury. Jury: Le jury d'examen doctoral est nommé par le comité de programme. Il est composé du directeur de programme, qui agit à titre de président, du directeur de recherche, du co-directeur de recherche s'il y a lieu, et d'au moins un professeur externe au projet. Évaluation: L'évaluation de l'activité se fait par la notation S, I ou E. La réussite aux deux parties de l'examen est requise afin d'obtenir la notation S. En cas d'échec, une seule reprise est autorisée. Le délai de reprise est fixé par le jury et ne doit pas dépasser six mois. Un second échec entraîne l'exclusion du programme.

**6DIG993****Séminaire de doctorat**

**Objectifs :** Les travaux de la thèse comportent en outre l'obligation du candidat à présenter le contexte global de l'évolution de sa recherche dans le cadre du séminaire de recherche du programme.

**Contenu :** Présentation orale, normalement entre le sixième et le neuvième trimestre d'inscription, sur l'ensemble des travaux de recherche. Il s'agit d'un rappel des éléments présentés lors de l'examen doctoral; à savoir: la problématique, les objectifs, l'originalité, la recherche bibliographique et la méthodologie retenue. Présentation en détail des résultats obtenus, analyse comparative des résultats des travaux avec ceux déjà publiés et conclusion. Préparation d'un rapport d'une trentaine de pages maximum portant sur les éléments ci-dessus, et remise au jury d'évaluation au moins une semaine avant la présentation orale. Le jury est nommé par le comité de programme. Il est composé du directeur de programme ou de son remplaçant, qui agit à titre de président, du directeur de recherche, du co-directeur de recherche s'il y a lieu, et d'au moins un professeur externe au projet.

**6INF911****Réseaux de neurones**

**Objectifs :** Rendre l'étudiant capable de comprendre, de concevoir et de réaliser des systèmes basés sur les réseaux de neurones à des fins d'apprentissage, de mémorisation, de reconnaissance, de commande, etc.

**Contenu :** La cellule nerveuse physiologique, la connectivité de ces cellules, le neurone formel. Principales différences entre cellules nerveuses et neurones formels : traitement dynamique versus statique. Processus d'apprentissage : Hebb, compétitif, Boltzmann, supervisé, etc. Mémoires matricielles, réseau Dystal, le perceptron, le perceptron multicouche (rétropropagation, contrôle flou de l'apprentissage), les réseaux à fonctions radiales. Réseaux récurrents : modèle Brain State in a Box, réseaux Adaptive Resonance Theory, réseaux à attracteurs fixes ou multiples. Systèmes auto-organisés : apprentissage hebbien, apprentissage compétitif, apprentissage

par calcul d'entropie. Réseaux pour le traitement temporel. Dynamique des réseaux de neurones : manipulation des attracteurs. Liens entre réseaux de neurones et logique floue, apprentissage automatique des fonctions d'appartenance, applications aux cartes de Kohonen et aux réseaux d'Hopfield. Algorithmes évolutifs, techniques d'apprentissage de réseaux de neurones par algorithmes évolutifs, comparaisons.

**6MIG801****Analyse des systèmes**

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant avec les techniques lui permettant d'analyser, de modéliser et de simuler les systèmes linéaires et non linéaires, continus, échantillonnés et numériques. Ce cours se veut une synthèse et une intégration de ces méthodes afin de permettre leur application aux systèmes mixtes.

**Contenu :** Révision de la théorie classique. Représentation des systèmes dans l'espace d'état: modèle mathématique, représentations graphiques, exemples choisis dans divers domaines du génie: électrique, mécanique, thermique et chimique. Formes canoniques, théorème de séparation. Dynamique des systèmes linéaires: matrice de transition, résolvant, transformation des variables d'état, formes canoniques. Contrôlabilité et observabilité: définitions, conditions. Commande découplée. Compensation: compensateur SISO, MIMO, placement des pôles. Estimateur d'état. Stabilité. Introduction au contrôle optimal. Application aux problèmes de contrôle industriel.

**6MIG810****Commande de machines électriques**

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances dans le domaine de l'alimentation électronique et en commande intelligente des machines électriques les plus utilisées : machine à courant continu, machine asynchrone triphasée, machine sans broches et machine à réluctance variable.

**Contenu :** Rappels sur les convertisseurs d'électronique de puissance. Généralités sur les entraînements à vitesse variable. Variation de vitesse et commande d'un moteur à courant continu. Variation de vitesse et commande d'un moteur asynchrone : modèle de la machine dans les différents repères, commande vectorielle directe et indirecte, commande directe de couple, commande sans capteur mécanique. Variation de vitesse et commande d'une machine sans broches. Variation de vitesse et commande d'une machine à réluctance variable.

**6MIG833****Mécanique des solides avancés**

**Objectifs :** Rendre l'étudiant apte à analyser le comportement des matériaux d'ingénierie sous l'effet des charges externes mécaniques, afin de supporter la conception des nouvelles composantes et machines.

**Contenu :** Récapitulation des notions sur l'état de contraintes et de déformations dans les solides. Survol des méthodes mathématiques comme les tenseurs de contraintes et de déformations, cercles de Mohr. Lois de comportement, éléments de rhéologie. Déformations élastiques et plastiques. Fluage, écrouissage. Comportement non-linéaire des matériaux, non linéarité de nature géométrique et grandes déformations, condition de contact et frottement. Résistance mécanique à hautes températures. Chargement statique et cyclique, fatigue. Critères de dimensionnement, méthodes analytiques et numériques de calcul.

### 6MIG835

#### Procédés d'assemblages

**Objectifs :** Familiariser avec les principales techniques industrielles d'assemblage. Connaître les mécanismes physiques ainsi que les avantages et inconvénients de diverses méthodes d'assemblage et être en mesure de concevoir un assemblage.

**Contenu :** Différents types d'assemblage. Types d'assemblage mécanique (boulonné, riveté, etc.) et types de sollicitation. Calcul et critère de conception. Procédés de soudage; descriptions des procédés, avantages et inconvénients, symboles de soudage. Techniques de brasage; descriptions des procédés, avantages et inconvénients. Métallurgie du soudage et du brasage; effets des paramètres (température, alliage, vitesse, etc.); défauts et défaillances. Colles et adhésifs; mécanismes d'adhésion et modes de rupture. Critères de choix et conception d'assemblages.

### 6MIG841

#### Interaction humain-robot

**Objectifs :** L'objectif général du cours est d'outiller et de familiariser l'étudiant aux particularités de l'interaction humain-robot et de la perception humaine, par l'approche de la boucle perception-décision-action.

**Contenu :** Élément d'instrumentation biomédical: définition, potentiel d'action, système d'acquisition dédié à la mesure d'un paramètre physiologique (gestuelle, démarche, sonore, haptique) ou d'un des signes vitaux (conception des capteurs biophysiques: EEG, EMG, ECG, pléthysmographie) de l'humain. Conception de systèmes de reconnaissance de certains paramètres humains: connaissance des symptômes associés à l'ergonomie au travail, les accidents de travail, des maladies dégénératives, ou occasionnant des déficiences motrices (Parkinson, dystrophie musculaire, amputation). Étude approfondie des retours sensorimoteurs: modéliser le système sensorimoteur humain dans une boucle d'interaction et en étudier son impact (modélisation physique et biophysique des réflexes, des sens et de l'interaction), concevoir une technique de retour sensoriel (visuel, sonore ou haptique) utilisant un robot ou un dispositif portatif (conception d'actionneurs bioniques ou mécatronique

comme un exosquelette, une prothèse de la main et du bras), interactions sociales, physiques et sans contact. Techniques liées à la méthodologie expérimentale afin d'évaluer le système interactif (méthode d'évaluation psycho-physique) tout en considérant les normes et la politique de l'éthique canadienne.

### 6MIG843

#### Systèmes de communication numériques avancés

**Objectifs :** Introduire aux concepts fondamentaux en communication numérique complexe : modulation, codage du canal, égalisation, estimation d'erreur. Comprendre les problèmes liés à la transmission des données et acquérir les outils nécessaires à la conception de nouveaux systèmes ou à la modélisation de systèmes existants. Comprendre le principe de l'étalement de spectre, modulation à spectre étalé à sauts de fréquence, communication sans fil, communication mobile, les systèmes MIMO

**Contenu :** Rappel sur les signaux et traitement du signal numérique. Classification des signaux. Densité spectrale. Autocorrélation. Signaux aléatoires. Transmission du signal à travers les systèmes linéaires. Bande passante de données numériques. Formatage de données textuelles (codage des caractères). Rappel sur le formatage des données et modulation. Formatage des informations analogiques. Sources de bruit et modulation par impulsion codée. Quantification uniforme et non uniforme. Modulation en bande de Base. Codage corrélatif. Démodulation et détection en bande de base et bande passante. Signaux bruités et détection binaire dans un bruit Gaussien. Interférence inter-symboles et égalisation du canal. Techniques de modulation. Détection cohérente et non cohérente. Performance d'erreur. Codage du canal. Codage du signal. Types de contrôle d'erreur. Séquences structurés. Codage par bloc linéaire. Détection d'erreur et la capacité de la correction. Codage cyclique. Codage convolutionnel. Propriétés des codes de convolution. D'autres algorithmes de décodage. MIMO systèmes et caractérisations. Multiplexage. Allocation des ressources de communication. Accès Multiple en système de communication. Système et architecture. Algorithmes d'accès. Techniques d'accès multiple pour un réseau local. Techniques d'étalement du spectre. Séquences Pseudo-aléatoires. Étalement du spectre et applications. Modulation par saut de fréquence. Communications mobile. Canaux à évanouissement. Le défi en communication sur des canaux à évanouissement. Caractérisation de la propagation mobile. Principaux paramètres caractérisant les canaux à évanouissement. Modélisation de l'évanouissement. Évanouissement de Rayleigh. Applications : Atténuer les effets des évanouissements sélectifs en fréquence. Capacité d'une communication sous atténuation de Rayleigh. Station de base à M antennes en présence de mobiles. Description du

système. Traitement linéaire (et non linéaire) optimal. Analyse de performances. Capacité.

### 6MIG844

#### Bois, produits du bois, systèmes constructifs

**Objectifs :** Présenter le bois, les produits d'ingénierie du bois, les systèmes constructifs et les assemblages pour en faire une utilisation optimale dans un contexte de construction.

**Contenu :** Le bois et la construction (architecture ancienne et contemporaine utilisant le bois). Interaction forêt-arbre-bois. Les atouts écologiques du bois et le développement durable. Approche anatomique (essences de bois, provenances, variabilités, spécificités, singularités, utilisations). Vers un matériau de construction normalisé (dimensions, règles de classement). Bois composite naturel. Propriétés physiques (densité, hygroscopie, retrait, gonflement, séchage, température). Propriétés mécaniques (Viscoélasticité, fatigue, fluage, effet mécanosorptif, loi de comportement, matrice de rigidité). Propriétés thermiques, comportement au feu. Durabilité. Produits et traitements de préservation et de finition. Les produits d'ingénierie du bois (bois abouté, lamellé collé, lamellé croisé ou CLT, fermes de toit, murs préfabriqués, poutrelles de plancher en I et ajourées, microlames ou LVL, LSL et OSL, Parallam, panneaux de fibres et de particules, panneaux lattés, contreplaqués). Notions de performances énergétiques et écohabitation. Systèmes constructifs en bois usuels et innovants (ossature légère, système poteaux-poutres, combinaison, massif avec bois lamellé collé croisé, fermes de gros bois, arches en bois lamellé collé, résilles et coques, structures tridimensionnelles, hybrides). Principes et propriétés des assemblages.

### 6MIG852

#### Technologies de mise en forme de matériaux

**Objectifs :** Acquérir des connaissances techniques et approfondies en technologie de la mise en forme des matériaux.

**Contenu :** Principes généraux de formage des matériaux, métaux polymères céramiques. Phénomènes physiques et techniques industrielles utilisées pour la mise en forme des matériaux métalliques, des polymères et des céramiques, à leurs limitations ou avantages réciproques pour la conception de produits en insistant sur les évolutions de ces procédés. Mise en forme à l'état liquide. Mise en forme à l'état pâteux. Mise en forme à l'état solide. Mise en forme à l'état semi solide. Classification des procédés de mise en forme. Conception de produits, applications des procédés. Critères de qualité des produits formés et défauts décelés. Projet de conception pour la mise en forme de produits. Laboratoires de mise en forme.

### 6MIG901

#### Optimisation avancée

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant avec les techniques d'optimisation relatives à la conception et à la gestion optimale des systèmes.

**Contenu :** Problème général d'optimisation de systèmes. Méthode classique et optimisation analytique. Optimisation des systèmes linéaires. Optimisation des systèmes non linéaires. Méthodes de recherche systématiques avec ou sans contraintes, méthodes du gradient, programmation géométrique. Optimisation des systèmes séquentiels. Théorie de la décision et optimisation stochastique. Applications aux problèmes de design.

### 6MIG905

#### Méthode des éléments finis et simulation numérique

**Objectifs :** Être en mesure d'utiliser la méthode des éléments finis pour l'analyse et la simulation numérique de systèmes complexes.

**Contenu :** Méthode des éléments finis pour l'analyse et la simulation numérique de systèmes complexes. Méthodes de variations et des résidus pondérés. Technique des éléments finis. Fonctions d'interpolation et intégration numérique. Étude des systèmes linéaires. Systèmes non linéaires. Systèmes non stationnaires. Exemple d'un programme général de solution par éléments finis.

### 6MIG926

#### Compléments de transfert de chaleur

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant avec des phénomènes complexes de transfert de chaleur rencontrés dans divers procédés industriels.

**Contenu :** Transfert de chaleur avec changement de phase : régimes d'ébullition et de condensation, régimes d'écoulement bi-phasique, effets de la géométrie. Rayonnement thermique : caractéristiques des matériaux, effet de forme, corps semi-transparents, gaz clair et chargé de particules. Conduction de la chaleur dans les métaux, les diélectriques, les systèmes bi-phasiques, les matériaux composites, granulaires et fibreux; effet de la température. Rayonnement intergranulaire. Méthodes de chauffage à travers la surface externe : par contact, par convection et par rayonnement. Méthodes de chauffage par source de chaleur interne : par courant électrique et par ondes électromagnétiques. Méthodes d'augmentation et de suppression des échanges thermiques par conduction, convection et rayonnement. Principes de fonctionnement et conception d'appareillages : récupérateurs, régénérateurs, capteurs solaires et thermosiphons.

### 6MIG929

#### Complément de transport et exploitation de l'énergie électrique

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant aux méthodes de contrôle de la tension et de

la fréquence dans les réseaux électriques.

**Contenu :** Rappels sur la machine synchrone à pôles lisses (turbogénérateur) et les machines synchrones à pôles saillants (hydro-générateur). Contrôle optimal de la fréquence et de la tension dans un réseau. Équipements de compensation : condensateurs, branchements série et shunt, inductances shunt. Les systèmes de transmission flexibles en courant alternatif (FACTS). Établissement des fonctions de transfert du système et analyse du maintien de la fréquence et de la tension par des boucles fermées. Phénomènes sous-transitoires et transitoires. Courts-circuits: Pouvoir de coupure des interrupteurs et disjoncteurs et problème de coordination. Stabilité dynamique d'un réseau. Equation de mouvement des rotors suite à une brusque perturbation dans le réseau. Solution de l'équation pour de petites et grandes oscillations en présence d'une et plusieurs génératrices. Influence du contrôle de la fréquence et de la tension sur la stabilité. Écoulement de puissance : angle de phase, tension aux jeux de barre, puissance active et réactive. Procédures itératives pour le calcul de la tension aux jeux de barres. Réglage de l'écoulement de puissance

### 6MIG930

#### Ingénierie de la haute tension

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant aux phénomènes et aux techniques reliés à la haute tension.

**Contenu :** Production et mesure de hautes tensions en laboratoire : tension continue, alternative et de choc. Génération et mesure des courants : courant de fuite et courant fort. Essais du matériel haute tension. La maîtrise des champs électriques et applications à la conception des équipements. Configurations des réseaux et des postes. Éléments des réseaux de transport: définition, fonction, conception et construction des appareillages à haute tension (disjoncteurs, sectionneurs, fusibles, condensateurs, câbles, transformateurs de puissance, parafoudres...). Techniques statistiques de coordination de l'isolement. Étude approfondie des mécanismes d'amorçage d'une décharge dans l'air et application au dimensionnement des réseaux.

### 6MIG931

#### Réseaux d'énergie électrique

**Objectifs :** Familiariser l'étudiant aux outils d'analyses et de protections des réseaux électriques.

**Contenu :** Architecture des réseaux électriques. Rappel de notions d'analyse de circuits triphasés et des composantes symétriques. Réseaux d'impédances séquentielles (directs, inverses et homopolaires). Circuits équivalents séquentiels d'une ligne, d'une machine synchrone et d'un transformateur. Calcul des matrices d'impédances et d'admittances. Courant de court-circuit (entre deux phases, une phase et la terre, etc.). Phénoménologie de la foudre. Étude des surtensions d'origines

externes ou atmosphériques. Génération et propagation des surtensions dans un réseau électrique: surtension de manoeuvre, à fréquence industrielle et surtension de foudre. Réflexion des ondes. Protection des lignes de transport contre les surtensions. Systèmes de mise à la terre des réseaux. Bobines d'extinction. Protection des réseaux contre les surintensités (courts-circuits) dissymétriques. Principaux types de relais: protection de distance, directionnelle et différentielle.

### 6THESE

#### Thèse

**Objectifs :** La thèse constitue un travail de recherche original et autonome, contribuant à l'avancement des connaissances théoriques et appliquées, et à des développements dans le domaine de l'ingénierie des systèmes physiques et des procédés industriels. L'étudiant est fortement incité à produire au moins un article dans une revue scientifique à comité de lecture.

**Contenu :**