

**Grade: Philosophiae doctor (Ph.D.)****Crédits: 90**

## Présentation

Ce programme de doctorat en ingénierie de l'Université du Québec à Chicoutimi est offert en extension à l'UQTR en vertu d'un entente entre les deux établissements.

### En bref

Le programme est caractérisé par la nature appliquée des travaux de recherche proposés au candidat. La plupart des projets de recherche sont réalisés en étroite collaboration avec l'industrie. En vous y inscrivant, vous aurez la chance d'évoluer dans un milieu de recherche stimulant, de côtoyer des professeurs-chercheurs de réputation internationale, et vous aurez accès à des infrastructures de recherche hautement sophistiquées.

L'objectif général du programme de doctorat en ingénierie est de former des professionnels hautement qualifiés dans le domaine de l'ingénierie, afin d'être en mesure de pratiquer des activités de recherche et développement de pointe en industrie, de la recherche scientifique et de l'enseignement universitaire. En d'autres termes, ces spécialistes auront un haut niveau de connaissances, 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.

### Objectifs du programme

Au terme de sa formation, l'étudiant aura acquis les 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 original de recherche;
- travailler dans un contexte interdisciplinaire de recherche;
  - mettre en oeuvre un processus systématique de solution de problèmes réels définis dans leur contexte global d'ordres scientifique, technologique, environnemental ou socio-économique;
- communiquer ses résultats de recherche et publier des ouvrages accrédités par la communauté scientifique.

### La recherche dans le domaine

Pour de l'information sur les ressources professorales et la recherche, veuillez consulter le site de L'école d'ingénierie.

## Admission

### Trimestre d'admission et rythme des études

Automne, hiver, été.

Ce programme est offert seulement à temps complet.

---

Conditions d'admission

## Études au Québec

Base universitaire

Être titulaire d'une Maîtrise (M.Sc.A. de type professionnel ou recherche) ou l'équivalent, obtenue avec une moyenne de 3,2/4,3 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 4/4,3 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 des habiletés essentielles de la langue anglaise.

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

## Études hors Québec

Base études hors Québec

Être titulaire d'un diplôme d'ingénieur ET d'un diplôme de master 2 recherche en ingénierie (ou l'équivalent), obtenu avec une moyenne de 12/20;

OU

Être titulaire d'un diplôme correspondant à BAC+6 en ingénierie ou dans un domaine apparenté obtenu avec une moyenne de 12/20;

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.

## Structure du programme et liste des cours

À moins d'indication contraire, un cours comporte trois (3) crédits.

### Cours obligatoires (9 crédits)

DIG6990 Examen doctoral (6 crédits)

DIG6993 Séminaire de doctorat

### Cours optionnels (9 crédits)

Les étudiants doivent réaliser trois cours parmi les suivants (neuf crédits) :

#### Génie industriel

DIG6973 Sujets spéciaux

MIG6801 Analyse des systèmes

### Génie mécanique

DIG6960	Méthodes numériques en mécanique des fluides et en transfert de chaleur
DIG6974	Caractérisation des matériaux
DIG6978	Vibration mécanique avancée
DIG6983	Sujets spéciaux II
INF6911	Réseaux de neurones
MIG6832	Analyse énergétique de systèmes
MIG6833	Mécanique des solides avancés
MIG6835	Procédés d'assemblages
MIG6843	Systèmes de communication numériques avancés
MIG6852	Technologies de mise en forme des matériaux
MIG6854	Corrosion et dégradation des matériaux
MIG6905	Méthode des éléments finis et simulation numérique
MIG6853	Matériaux composites

### Crédits de recherche (72 crédits)

Pour réussir son programme l'étudiant doit réaliser un travail de recherche comptant pour 72 crédits.

### Travail de recherche

Thèse (72 crédits)

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.

Les étudiants admis et inscrits au doctorat en ingénierie à l'UQTR sont assujettis au Règlement des études de l'UQAC. Par conséquent, les doctorants doivent se conformer aux exigences relatives à la rédaction d'un mémoire, d'une oeuvre ou d'une thèse pour les programmes d'études de cycles supérieurs de l'UQAC.

Pour l'aide à la rédaction, consulter la page suivante : Outils d'aide à la rédaction.

## Autres renseignements

### Description des activités

#### DIG6960 Méthodes numériques en mécanique des fluides et en transfert de chaleur

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.

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. Convections forcée, mixte et naturelle. Problèmes, tests et applications.

#### DIG6973 Sujets spéciaux

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.

#### DIG6974 Caractérisation des matériaux

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

---

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.

### **DIG6978 Vibration mécanique avancée**

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

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).

### **DIG6983 Sujets spéciaux II**

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

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.

### **DIG6990 Examen doctoral (6 crédits)**

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.

Première partie : Dès que l'étudiant s'inscrit à l'examen doctoral, soit au troisième trimestre d'inscription, son directeur de recherche procède à la formation du jury et informe l'étudiant des connaissances générales qui sont évaluées lors de la première partie de l'examen. L'étudiant, dans cette première partie de l'examen, doit répondre par écrit à une série de questions posées par les membres du jury. Au besoin, les réponses peuvent être complétées oralement devant le jury avant d'entreprendre la deuxième partie de l'examen doctoral. Lorsque la première partie est réussie à la satisfaction du jury, l'étudiant peut poursuivre son examen doctoral.

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.

### **DIG6993 Séminaire de doctorat**

---

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.

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.

#### **INF6911 Réseaux de neurones**

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.

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.

#### **MIG6801 Analyse des systèmes**

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.

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. Dynamique des systèmes linéaires : matrice de transition, résolvant, transformation des variables d'état, formes canoniques. Contrôlabilité et observabilité : définitions, conditions. Variables exogènes : perturbations, systèmes de poursuite. Compensation : compensateur SISO, MIMO, placement des pôles. Introduction au contrôle optimal; contrôle optimal sans ou avec contraintes d'égalité, d'inégalité; calcul variationnel et formulation hamiltonienne; application aux problèmes de contrôle industriel.

#### **MIG6832 Analyse énergétique de systèmes**

Rendre l'étudiant apte à évaluer les besoins et ressources énergétiques, à comprendre les différents systèmes énergétiques et à maîtriser les principes de la conception des systèmes énergétiques industriels, commerciaux et domestiques.

Énergie et société, énergie et environnement, systèmes énergétiques ouverts. Structure des demandes et des ressources énergétiques. Caractérisation des ressources énergétiques. Disponibilité et demande, couplage. Transformation, stockage et transport d'énergie. Ressources renouvelables, gestion et conservation d'énergie. Appareillage d'énergétique : échangeurs de chaleur régénératifs et récupératifs. Conception thermique, hydrodynamique, mécanique; vibrations, encrassement. Chaudières, capteurs solaires, réacteurs nucléaires. Échangeurs à contact direct et indirect. Énergétique des bâtiments. Chauffage et climatisation. Climatisation partielle et complète. Contrôle de l'humidité. Facteurs de confort humain. Considérations énergétiques de l'enveloppe des bâtiments: résistance et capacité thermique, filtration, condensation, fenestration. Contrôle de qualité de l'air. Tours de refroidissement.

#### **MIG6833 Mécanique des solides avancés**

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.

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.

### **MIG6835 Procédés d'assemblages**

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.

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.

### **MIG6843 Systèmes de communication numériques avancés**

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.

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.

### **MIG6852 Technologies de mise en forme des matériaux**

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

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.

### **MIG6853 Matériaux composites**

Acquérir des connaissances spécialisées dans le domaine des matériaux composites.

Principes de base en matériaux composites. Fabrication des matériaux composites. Composites à partir de métaux, polymères, céramiques. Théorie des multicouches. Matériaux superdurs Comportement mécanique des matériaux composites. Lois de la micromécanique. Application des critères de rupture aux composites. Comportement mécaniques des composites contenant des polymères. Systèmes polymères multiphasés. Conception mécanique de pièces et assemblages en matériaux composites. Dégradation des matériaux composites. Projet de conception d'un système en matériaux composites.

### **MIG6854 Corrosion et dégradation des matériaux**

Acquérir des connaissances spécialisées en corrosion et dégradation des matériaux. Acquérir des connaissances sur la lutte à la

---

corrosion.

Mécanismes de corrosion des matériaux, thermodynamique, cinétique et morphologie. Corrosion électrochimique, corrosion sous-contrainte, Oxydation à haute température. Corrosion en industrie (pétrolière, nucléaire, portuaire), Lutte à la corrosion, méthodes de détection de la corrosion. Caractérisation de la corrosion. Dégradation des matériaux : endommagement, rupture et fatigue: approche microscopique, mécanique de la rupture et de l'endommagement. Dégradation des matériaux par les cycles de température, rayonnement UV, érosion des matériaux par la pluie et le sable.

#### **MIG6901 Optimisation avancée**

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

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.

#### **MIG6905 Méthode des éléments finis et simulation numérique**

Rendre l'étudiant capable d'utiliser la méthode des éléments finis pour l'analyse et la simulation numérique de systèmes complexes.

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.