

Directeur(trice): Phuong Nguyen-Tri

Bureau du registraire

CPCS - Physique et sciences de l'énergie et des matériaux

1 800 365-0922 ou 819 376-5045

www.uqtr.ca

---

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

## Présentation

### En bref

Dans le programme de Doctorat en sciences de l'énergie et des matériaux, nous privilégions les rencontres entre étudiants et professeurs; la grande disponibilité du corps professoral favorise ces fréquents contacts. La diversité et la complémentarité de formation des professeurs permet aux étudiants d'acquérir des connaissances approfondies dans nos divers domaines de recherche.

Les étudiants sont encouragés à mener des recherches de qualité qui conduisent normalement à une ou deux publications; la plupart des instruments mis à leur disposition étant très récents, les étudiants peuvent bénéficier des derniers développements technologiques. Les conférences, les séminaires et les visiteurs reçus au département de physique mettent l'étudiant en contact avec des chercheurs renommés et le sensibilisent à la recherche effectuée dans des secteurs de pointe.

Des postes d'auxiliaires de recherche pourraient éventuellement être offerts à des étudiants, parmi les plus méritants, leur assurant ainsi un certain support financier.

### Objectifs du programme

Ce programme a pour objectif d'approfondir les connaissances de l'étudiant dans une des spécialités des sciences de l'énergie et des matériaux tout en lui permettant d'effectuer des recherches qui devraient apporter une contribution originale au savoir ou à l'application des connaissances dans la pratique à l'intérieur d'un des programmes de recherche du Centre.

### **Atouts UQTR**

Ce programme permet aux étudiants d'obtenir une bourse Universalis Causa

### **La recherche dans le domaine**

Pour de l'information sur les ressources professorales et la recherche, veuillez consulter le site du Département de chimie, biochimie et physique.

## Admission

### **Trimestre d'admission et rythme des études**

Automne, hiver, été.

Le programme est offert à temps complet et à temps partiel.

## Conditions d'admission

---

Études au Québec  
Base universitaire

Être titulaire d'une maîtrise en sciences de l'énergie et des matériaux, ou dans tout autre discipline ou domaine pertinents obtenue avec une moyenne de 3,2 sur 4,3 (ou l'équivalent). Les candidats dont la moyenne cumulative à la maîtrise est inférieure à 3,2 mais supérieure à 2,9 verront leur dossier évalué par le comité.

ou

être titulaire du grade de bachelier, ou l'équivalent et posséder les connaissances requises et une formation appropriée.

Il doit y avoir une adéquation entre la formation antérieure du candidat et celle requise pour entreprendre des études dans le programme d'enseignement visé.

Avant sa première inscription, le candidat doit avoir choisi un directeur de recherche et obtenu l'acceptation motivée de celui-ci.

Le candidat doit posséder un dossier académique de haute qualité dont de très bons résultats scolaires (au moins 3,2 sur 4,3) ou l'équivalent.

Avant sa première inscription, le candidat doit avoir choisi un directeur de recherche et avoir obtenu l'acceptation motivée de celui-ci.

À la suite de l'étude du dossier, certaines activités d'appoint peuvent être exigées.

Le candidat peut être soumis à une entrevue.

Le candidat peut s'inscrire à l'une ou l'autre des trois sessions.

Lors de sa demande d'admission, le candidat devra soumettre un texte d'environ deux pages démontrant sa motivation de recherche et l'adéquation entre son cheminement antérieur et le domaine de recherche dans lequel il entend réaliser sa thèse.

### **Études hors Québec**

#### Base études hors Québec

Être titulaire d'un grade de deuxième cycle universitaire (maîtrise nord-américaine, DEA français ou master 2 selon le système d'éducation) en sciences de l'énergie et des matériaux, ou dans tout autre discipline ou domaine pertinent obtenue avec une moyenne de 12/20 ou équivalent.

#### Base expérience

Posséder les expériences requises, une formation appropriée et une expérience jugée pertinente. De plus, il doit y avoir une adéquation entre la formation antérieure du candidat et celle requise pour entreprendre des études dans le cadre du programme visé.

Pour les deux bases d'admission

Le candidat doit démontrer que ses orientations de recherche sont conformes aux objectifs des programmes de recherche qui supportent le programme d'enseignement visé.

À la suite de l'étude de son dossier, certaines activités d'appoint peuvent être exigées.

Le candidat peut être soumis à une entrevue par voie électronique ou téléphonique.

La connaissance de la langue anglaise (lecture, écriture) est fortement recommandée.

### **Modalités de sélection des candidatures**

À titre indicatif, précisons que le mode d'admission repose sur le dossier académique. Le candidat doit être accepté par un directeur de thèse.

---

Les personnes demandant l'admission sur la base "des connaissances acquises et d'une formation appropriée" devront prouver que l'ensemble des travaux intellectuels réalisés démontre une progression logique et soutenue dans le domaine spécifique des diélectriques ou du stockage, transport et sécurité de l'hydrogène.

L'expérience pertinente aura été acquise durant au moins une année dans les trois ans qui précèdent la demande d'admission. Elle sera attestée par des publications scientifiques ou brevets.

## Structure du programme et liste des cours

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

### Cours obligatoires (7 crédits)

NRG8801 Examen doctoral (6 crédits)  
NRG9205 Séminaire de doctorat (1 crédit)

### Cours optionnels (6 crédits)

#### L'étudiant choisit 2 cours parmi les suivants (6 crédits):

CAN6001 Analyse chimique  
CHM6005 Polluants industriels et environnement  
CHM6007 Chimie des matériaux cellulosiques  
CHM6008 Bioraffinage  
ENG6004 L'hydrogène comme vecteur énergétique  
ENG6005 Piles à combustibles et électrolyseurs  
ENG6006 Hydrogène et métaux  
NRG6000 Science des matériaux  
NRG6001 Énergie et systèmes énergétiques  
NRG7703 Problèmes spéciaux III  
NRG9213 Structure et propriétés des matériaux  
PHQ6001 Electrodynamique  
PHQ6003 Physique statistique avancée  
PHQ6008 Physique mathématique  
PHQ6012 Équations d'état  
PHQ6013 Analyse et réduction de données  
PMO6003 Physique atomique et moléculaire  
PMO6007 État solide  
PMO6009 Synthèse et caractérisation des matériaux  
PMO6010 Gaz et solides  
PMO6011 Méthodes de simulation numérique en sciences des matériaux  
PMO6012 Mécanique des fluides numériques  
PMO6013 Phénomènes de transfert de chaleur et de masse

### Crédits de recherche (77 crédits)

Pour réussir son programme l'étudiant doit réaliser un travail de recherche comptant pour 77 crédits.

### Travail de recherche

Thèse (77 crédits)

Chaque étudiant est tenu de rédiger une thèse qui démontre son aptitude à mener à bien une recherche scientifique originale.

## Autres renseignements

### Description des activités

CAN6001 Analyse chimique

---

Introduction aux quatre grands champs de la chimie analytique (analyse qualitative, analyse quantitative, identification et séparation des composantes), appliqués à l'analyse des propriétés des matériaux lignocellulosiques et de leurs dérivés. Survol des techniques de base en analyse chimique et introduction aux méthodes d'analyse spécifiques aux matériaux lignocellulosiques incluant les analyses papetières. Étude approfondie des techniques ne faisant pas l'objet de cours au premier cycle : microscopie électronique, analyse thermogravimétrique, analyse d'angles de contact, spectroscopie des photoélectrons induits par absorption de rayons X, analyse de la structure moléculaire par RMN 1 D et 2D, imagerie par spectroscopie infra-rouge, couplage de méthodes etc. Cas pratiques reliés aux projets de recherche des étudiants.

#### **CHM6005 Polluants industriels et environnement**

Étude des principaux polluants et de leurs effets sur l'environnement.

Principaux polluants de l'air, des eaux et du sol. Action des pesticides. Détermination des sources. Processus industriels ou autres responsables des contaminations de l'environnement. Structure chimique des contrôles : contrôle, décomposition ou neutralisation des contaminants. Effets destructifs des polluants sur le vivant.

#### **CHM6007 Chimie des matériaux cellulosiques**

Sources de cellulose, secteurs d'utilisations, cellulose, structure moléculaire et supramoléculaire de la cellulose, propriétés, réactions de la cellulose, principaux dérivés cellulosiques, hémicelluloses, propriétés, réactions des hémicelluloses, produits issus d'hémicelluloses, lignine, propriétés, délignification, blanchiment, produits chimiques et polymères à base de lignine, distribution et contribution des matières extractibles dans les végétaux, mode d'extraction, potentialités d'utilisation. Composition et formation du bois, de la fibre agricole, de l'écorce et formation de la fibre. Matériaux composites à base de cellulose, processus de fabrication, secteurs d'utilisations.

#### **CHM6008 Bioraffinage**

Introduire aux étudiants les possibilités du bioraffinage et les défis à relever dans ce secteur émergent.

Thèmes abordés :

Principes du bioraffinage, bioraffinerie basée sur des matières lignocellulosiques, approvisionnement en matières lignocellulosiques, procédés thermo-chimiques pour le bioraffinage, enzymes pour le bioraffinage, notions de microbiologie industrielle adaptées au bioraffinage, production d'éthanol cellulosique et autres biocarburants existants ou à venir, production de bioplastiques bactériens et autres bioproduits microbiens utilisables sur place ou commercialisables, stratégies retenues, récents développements, histoire de succès et tendances dans le bioraffinage.

#### **ENG6004 L'hydrogène comme vecteur énergétique**

Objectifs : Se familiariser avec certains aspects de l'hydrogène comme vecteur énergétique. Prendre connaissance des divers modes de production, de distribution et de stockage de l'hydrogène. S'initier à divers aspects liés à la sécurité de l'hydrogène.

Contenu : Propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène. Introduction aux divers modes de production de l'hydrogène : reformage, extraction de la biomasse, électrolyse. Initiation aux principaux modes de stockage de l'hydrogène : compression, liquéfaction, stockage sur matériaux. Méthodes de distribution de l'hydrogène. Rôles de l'hydrogène. L'hydrogène et le système énergétique. Hydrogènes et batteries. Utilisation sécuritaire de l'hydrogène.

#### **ENG6005 Piles à combustibles et électrolyseurs**

Ce cours portera sur l'étude de la pile à combustible et de l'électrolyseur à électrolyte de polymère (types PEMFC et PEME), les matériaux, les composants et les méthodes de caractérisation. L'étudiant sera amené à comprendre comment fonctionne une PEMFC et un PEME, à connaître les matériaux qui les composent ainsi que les problèmes qui leur sont reliés.

#### **ENG6006 Hydrogène et métaux**

Ce cours porte sur les différentes interactions entre l'hydrogène et les métaux. Plus spécifiquement : les hydrures métalliques, la fragilisation par l'hydrogène, les interactions entre l'hydrogène et les catalyseurs, la diffusion de l'hydrogène, les propriétés de surface, propriétés magnétiques et supraconductivité. Les aspects théoriques (théorie quantique, thermodynamique, élasticité) seront considérés ainsi que les techniques expérimentales. Les sujets seront établis en fonction de l'auditoire.

#### **NRG6000 Science des matériaux**

Présenter une vue d'ensemble de la physique et la chimie des matériaux. Structure atomique. Défauts et diffusion. Solidification. Propriétés mécaniques. Diagrammes de phase. Transformation de phases et modification des propriétés mécaniques. Modification des

---

propriétés de surface.

### **NRG6001 Énergie et systèmes énergétiques**

Ce cours donnera une vue d'ensemble des problématiques et des technologies qui influencent le contexte énergétique. Contexte national et international. Efficacité énergétique. Technologies de demande par secteur (résidentiel, commercial, industriel, transport), par usage (chauffage, éclairage, moteur, etc.) et technologies d'offres conventionnelles (hydroélectricité, centrales thermiques, etc.). Les énergies renouvelables solaire, éolienne, fusion, etc. Les relations énergie-environnement.

### **NRG7703 Problèmes spéciaux III**

Ce cours, offert généralement sous forme de lectures dirigées, sert à donner à l'étudiant un complément de formation dans certains domaines jugés nécessaires par le Comité de programmes.

### **NRG8801 Examen doctoral (6 crédits)**

L'objectif principal de l'examen doctoral est de vérifier d'une part, si le projet de recherche de l'étudiant a été suffisamment bien défini et, d'autre part, si l'étudiant a la préparation suffisante pour mener à bien son projet. Il pourra, par la même occasion, tirer profit de recommandations susceptibles de favoriser la progression de ses travaux. Il est invité à présenter par écrit et à défendre oralement devant jury sa problématique de recherche.

L'activité est évaluée à l'aide des mentions "S" (succès) et "E" (échec).

### **NRG9205 Séminaire de doctorat (1 crédit)**

Présentation de sujets d'actualité dans les sciences de l'énergie et des matériaux par des étudiants, dans le cadre des séminaires du Centre.

L'activité est évaluée à l'aide des mentions "S" (succès) et "E" (échec).

### **NRG9213 Structure et propriétés des matériaux**

Présenter une vue d'ensemble des matériaux et particulièrement de l'influence des formes variées de structures sur leurs propriétés.

Types de liaisons. Structure cristalline. Défauts et diffusion. Élasticité, plasticité et ténacité. Phases et diagramme d'équilibre. Transformation de phases et modification des propriétés mécaniques. Théorie des bandes. Métaux, semi-conducteurs et isolants. Polymères. Céramiques. Matériaux composites. Elaboration des films minces. Modification des propriétés de surface. Visite d'installations de mise en forme des diverses classes de matériaux.

### **PHQ6001 Électrodynamique**

Formulation covariante de l'électrodynamique. Tenseur d'énergie-impulsion. Problèmes aux limites et fonctions de Green. Magnétohydrodynamique et plasmas. Potentiels de Liénard-Wiechert et rayonnement. Méthodes numériques utilisées en électrodynamique.

### **PHQ6003 Physique statistique avancée**

Approfondir la compréhension de la physique statistique et l'utiliser dans des applications modernes. Les sujets traités seront choisis parmi les suivants : fondements de la physique statistique : ensembles et fluctuations. Transitions de phase : transitions du premier et du deuxième ordre, approche du champ moyen, notion d'universalité et groupe de renormalisation. Modèles de Ising et de Potts. Physique statistique hors d'équilibre. Théorie cinétique des gaz. Hiérarchie BBGKY. Équation de Boltzmann. Diffusion. Propriétés de transport. Méthode de théorie des champs en physique statistique.

### **PHQ6008 Physique mathématique**

Viser à compléter la formation de base de l'étudiant en ce qui a trait aux méthodes mathématiques utilisées en physique. Approfondir quelques-uns des sujets suivants: équations différentielles et fonctions de Green. Variables complexes. Fonctions spéciales. Équations différentielles non linéaires. Selon la préparation des étudiants et de leurs champs de spécialisation, la théorie des groupes, théorie des distributions et la géométrie différentielle seront également au programme.

### **PHQ6012 Équations d'état**

Introduction et développement historique. Fondements théoriques. Forces intermoléculaires et coefficients viriels. Phénomènes

---

critiques. Méthodes expérimentales. Applications: facteur de compressibilité et absorption.

### **PHQ6013 Analyse et réduction de données**

Distribution statistique. Propagation et estimé d'incertitudes. Méthode des moindres carrés. Régression linéaire, polynomiale, multiple. Test khi-carré. Lissage, interpolation, extrapolation. Échantillonnage. Transformée de Fourier discrète.

### **PMO6003 Physique atomique et moléculaire**

Atomes à plusieurs électrons: les diverses approximations. Les molécules simples. La liaison chimique: covalente et ionique. Liaisons non localisées; la liaison métallique. Agrégats macroscopiques d'atomes. Théorie des collisions: approximation de Born, méthode des ondes partielles, applications. Absorption. Potentiels intermoléculaires aux énergies thermiques.

### **PMO6007 État solide**

Structure cristalline, constantes élastiques et ondes élastiques, phonons et vibrations d'un réseau. Propriétés thermiques d'isolants, gaz de Fermi, bande d'énergie, cristaux semi-conducteurs, superconductivité. Propriétés diélectriques. Propriétés magnétiques.

### **PMO6009 Synthèse et caractérisation des matériaux**

Approfondir les connaissances en matière de caractérisation et de synthèse de matériaux, particulièrement les nanomatériaux. Effet de la nanostructure sur les propriétés des matériaux. Concepts de phase cristalline, abondance de phases, grosseur de cristallites, orientation préférentielle. Méthodes de synthèse et de contrôle de la microstructure. Caractérisation des matériaux (cristallographique, chimique et morphologique). Préparation d'échantillons et analyse de résultats.

### **PMO6010 Gaz et solides**

Initier les étudiants aux divers processus physiques de sorption et d'interaction entre gaz et solides. Processus de sorption : adsorption sur surfaces solides et absorption dans les solides. Physique statistique et thermodynamique des processus de sorption. Interactions surface-gaz et solides-gaz. Nanocarbone. Hydrures métalliques : propriétés, diagramme de phase, formation d'hydrures. Comportement de l'hydrogène dans un cristal. Structure électronique des hydrures métalliques. Phénomènes de diffusion et d'électromigration de l'hydrogène dans les métaux.

### **PMO6011 Méthodes de simulation numérique en sciences des matériaux**

Initier les étudiant(es) à l'utilisation de méthodes de simulations avancées dans le cadre de la science des matériaux. Probabilités et statistiques, Physique statistique. Analyse d'erreur. Méthodes numériques de base. Simulations Monte Carlo. Simulations de dynamique moléculaire. Corrections quantiques. Monte Carlo quantique. Simulations de chimie quantique. DFT quantique et dynamique moléculaire quantique.

### **PMO6012 Mécanique des fluides numériques**

Initiation aux méthodes numériques de la mécanique des fluides computationnelle. Familiariser les étudiants avec l'implémentation de ces approches. Permettre aux étudiants de bien comprendre les avantages et les inconvénients des différentes méthodes de discrétisation des équations de Navier-Stokes.

Introduction aux méthodes numériques. Équations de Navier-Stokes. Méthode des Différences finies pour équations elliptiques, paraboliques et hyperboliques. Solveurs Navier-Stokes. Méthode des volumes finis. Méthode des éléments finis. Analyse d'erreur et stabilité. Maillages. Écoulements turbulents. Couches limites. Milieux poreux.

### **PMO6013 Phénomènes de transfert de chaleur et de masse**

Initiation aux problèmes de transfert de masse, d'énergie et de chaleur dans différents milieux. Familiariser les étudiants avec les méthodes de solutions numériques et analytiques. Présenter la problématique du transport de chaleur et de masse dans différents contextes, allant des applications environnementales aux systèmes de conversion d'énergie.

Fondements. Diffusion. Conduction. Convection. Transfert radiatif. Transport de masse et d'énergie en milieux poreux.