

**Doctorat en sciences et technologies de l'information - 3081**

**RESPONSABLE :**

**Gatineau**

**Shamsodin Taheri**  
Responsable de programme d'études de cycle supérieur

**Pour de plus amples informations :**

Téléphone : 819 595-3900, poste 1614  
Courriel : csinfo@uqo.ca

**SCOLARITÉ :**

90 crédits, Troisième cycle

**GRADE :**

Philosophiæ doctor

**OBJECTIFS :**

L'objectif général du programme de doctorat en sciences et technologies de l'information vise la formation de chercheuses et chercheurs hautement qualifiés, capables de faire des avancées de connaissances dans les aspects logiciels et matériels des diverses étapes du processus de production, de traitement et de transmission de l'information dans les systèmes informatiques et dans les réseaux de communication.

En fonction de leur sujet de recherche, les personnes étudiantes du programme pourront se spécialiser dans l'un des domaines suivants :

- L'informatique : génie logiciel, algorithmique, cybersécurité, infonuagique, intelligence artificielle, sciences des données, etc.
- Le génie électrique : électronique, télécommunications, énergie, photonique, électromagnétisme, etc.

Particulièrement, les études au programme de doctorat en sciences et technologies de l'information permettront à la personne étudiante de :

- Développer une méthodologie rigoureuse du travail scientifique et parvenir à un haut niveau de compétences en recherche aussi bien théoriques qu'appliquées dans le domaine des sciences et technologies de l'information ;
- Atteindre l'autonomie intellectuelle nécessaire à la conception et à l'utilisation d'approches novatrices en vue de solutionner des problèmes de recherche en sciences et technologies de l'information;
- Développer des aptitudes créatrices favorisant l'émergence de nouveaux savoirs;
- Développer la capacité de fonctionner dans un environnement complexe et évolutif;
- S'adapter à l'évolution rapide de la technologie et développer la capacité d'apprendre par soi-même de façon continue;
- Communiquer efficacement dans une perspective de diffusion des connaissances.

**INFORMATIONS SUR L'ADMISSION :**

Lieu d'enseignement	Régime	Trimestres d'admission			Contingente
		Automne	Hiver	Été	
Gatineau	TC	✓	✓	✓	✓
	TP	✓	✓	✓	✓

TC : Temps complet  
TP : Temps partiel

**CONDITIONS D'ADMISSION :**

**Base études universitaires**

Être titulaire d'une maîtrise en informatique ou en génie électrique ou l'équivalent obtenue avec une moyenne minimale de 3,0 sur 4,3 ou l'équivalent;

**OU**

Être titulaire d'une maîtrise ou l'équivalent dans une discipline connexe obtenue avec une moyenne minimale de 3,0 sur 4,3 ou l'équivalent et posséder une formation jugée suffisante par le comité d'admission du programme dans le domaine des sciences et technologies de l'information.

Après l'analyse du dossier d'admission et en fonction de sa préparation antérieure, la personne candidate pourrait se voir imposer des cours d'appoint ou une propédeutique.

Pour être admise, la personne candidate devra avoir été acceptée par un directeur ou une directrice de recherche habilité-e à diriger dans ce programme.

La personne candidate doit se soumettre à une entrevue au besoin.

**Exigences linguistiques**

Ce programme d'étude est offert en français. Tous les candidats doivent être en mesure d'étudier en français au moment de commencer ce programme. À titre de référence, le niveau attendu pour une connaissance fonctionnelle du français correspond à un résultat de 750/990 au Test de français international (TFI) de la firme Educational Testing Service Canada Inc.

La réussite de ce programme d'études est liée à la capacité de la personne étudiante de lire et de comprendre des textes en français et en anglais. La personne étudiante qui ne maîtrise pas suffisamment ces langues pourrait éprouver des difficultés dans ses études. La personne étudiante doit s'assurer d'avoir une bonne compréhension du français et de l'anglais et, si nécessaire, prendre des mesures pour développer ses compétences linguistiques au cours de sa formation.

Le fait de satisfaire aux exigences d'admission n'entraîne pas automatiquement l'admission de la personne candidate. Chaque demande d'admission est étudiée par la personne responsable de programme qui tient compte, dans son évaluation, de la préparation antérieure de la personne candidate, de son dossier universitaire, de son aptitude à la recherche, ainsi que des ressources et de la capacité d'accueil du Département d'informatique et d'ingénierie.

**PLAN DE FORMATION :**

**Cours obligatoires**

**Activités générales (6 crédits)**

INF6463	Séminaire doctoral en sciences et technologies de l'information
	3 crédits optionnels

**Activités de spécialisation (9 crédits)**

INF9083	Lecture dirigée en sciences et technologies de l'information
---------	--

**Deux (2) ateliers parmi les suivants :**

GEN6293	Atelier en micro-ondes et micro-électronique
GEN6283	Atelier en conversion et distribution de l'énergie
GEN6303	Atelier en électromagnétisme, optique et photonique
GEN6333	Atelier en robotique et systèmes autonomes
GEN6343	Atelier en traitement du signal et télécommunications
INF6403	Atelier en science des données et intelligence artificielle
INF6423	Atelier en cybersécurité et fiabilité des systèmes informatiques
INF6433	Atelier en algorithmique et génie logiciel
INF6443	Atelier en modélisation, simulation et optimisation
INF6453	Atelier en réseaux informatiques et systèmes distribués

**Examen doctoral (6 crédits)**

INF9006	Examen de synthèse
---------	--------------------

**Activités de recherche (69 crédits)**

INF9009	Projet de thèse
INF9060	Thèse

**Cours optionnels**

**Une (1) activité parmi les suivantes (3 crédits) :**

GEN6063	Conception avancée des systèmes numériques programmables
GEN6073	Conception avancée des systèmes radio fréquences intégrés
GEN6083	Technologie des systèmes radio fréquences

GEN6093	Conception avancée des microsystemes intégrés
GEN6103	Robotique
INF6002	Systèmes à objets répartis
INF6003	Développement des applications client-serveur
INF6043	Algorithmique répartie
INF6083	Sujets spéciaux
INF6093	Lectures dirigées
INF6103	Analyse et conception des protocoles de sécurité
INF6123	Structures de données avancées
INF6133	Algorithmes géométriques
INF6143	Bases de données avancées
INF6153	Systèmes de contrôle d'accès aux données
INF6163	Introduction à la cryptographie
INF6173	Conception de syst. temps-réel répartis embarqués
INF6183	Éléments avancés d'intelligence artificielle
INF6193	Intelligence d'affaires
INF6203	Méthodes formelles pour le développement de logiciels
INF6223	Systèmes de communications multimédias
INF6233	Sécurité informatique et méthodes formelles
INF6243	Techniques d'apprentissage
INF6253	Web sémantique
INF6263	Ingénierie des protocoles de communication
INF6273	Technologie avancée en télécommunication
INF7093	Éléments avancés d'analyse d'images
INF9063	Technologies photoniques et applications

OU Toute autre activité du répertoire de cours de cycles supérieurs de l'UQO approuvée par la personne responsable de programme.

#### **NOTES :**

Immigration, réfugiés et citoyenneté Canada (IRCC) et le ministère de l'Immigration, de la francisation et de l'intégration du Québec (MIFI) ont adopté un ensemble de mesures importantes qui peuvent avoir des impacts sur le cheminement migratoire des personnes étudiantes internationales. Voici les liens des messages publiés par la Direction des Affaires Internationales de l'UQO concernant les nouvelles mesures relatives au permis de travail postdiplôme :

Travailler ou vivre au Canada après l'obtention du diplôme  
Nouvelle mesure depuis le 1er septembre 2024  
<https://uqo.ca/nouvelles/170170>

Permis de travail Postdiplôme - Exigence linguistique et domaine d'études admissibles  
<https://uqo.ca/nouvelles/170172>

#### **GESTION DU CONTINGENTEMENT**

Le programme est contingenté à 25 personnes étudiantes par année.

**GEN6063****Conception avancée des systèmes numériques programmables**

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances nécessaires pour concevoir et développer des systèmes numériques. Leur permettre de maîtriser les connaissances sur les techniques de pointe de conception et de prototypage rapide sur circuits programmables.

**Contenu :** Compléments de la méthodologie et outils de conception d'un circuit intégrés à large échelle (VLSI) : circuits dédiés, FPGA. Simulation et estimation des performances du circuit conçu. Problématique de la testabilité et processus de vérification du circuit réalisé. Implantation des algorithmes de traitement de signaux en technologie VLSI. Adaptation des algorithmes aux exigences de la technologie VLSI. Études de cas de conception et de réalisation de circuits VLSI. Tendances en développement.

**GEN6073****Conception avancée des systèmes radio fréquences intégrés**

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances nécessaires pour concevoir et développer des systèmes Radio Fréquences complets, et approfondir leurs connaissances sur les techniques de pointe d'implémentation et de fabrication dans les technologies appropriées.

**Contenu :** Problématique de design des systèmes Radiofréquences (RF) intégrés. Méthodologie. Outils de conception des systèmes RF-SiP (Radio-Frequency System-in-Package) et flow de design RF IC. Simulation et estimation des performances du système conçu. Études des cas des systèmes contenant des circuits intégrés (IC), SMD (Surface Mount Devices), composantes actives, passives et électromécaniques. Problématique d'intégration et processus de vérification des systèmes réalisés. Technologie d'assemblage. Extraction des circuits parasites. Approche de design et implémentation. Simulation électrique en haut niveau. Design et modélisation des composantes passives. Approche basée sur la connectivité et l'implémentation physique. Analyse de l'intégrité du signal.

**GEN6083****Technologie des systèmes radio fréquences**

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances nécessaires pour analyser la performance d'une liaison radiofréquence pour les communications sans fil. Étude et conception des blocs fonctionnels des émetteurs/récepteurs. Maîtriser la conception assistée par ordinateur de circuits radiofréquences passifs et actifs.

**Contenu :** Propagation des ondes électromagnétiques. Milieux de propagation. Lignes de transmission. Méthodes d'adaptation d'impédances.

Paramètres Z, Y, ABCD et S. Éléments localisés et distribués. Dispositifs RF passifs : filtres, coupleurs, déphaseurs, antennes, etc. Dispositifs RF actifs : amplificateurs, mélangeurs de fréquences et oscillateurs. Méthodes de conception. Étude paramétrique et l'optimisation. Réalisation de projets avec les outils de conception assistée par ordinateur (CAO) et présentation de logiciels de design.

**GEN6093****Conception avancée des microsystemes intégrés**

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances nécessaires pour concevoir et développer des microsystemes intégrés, ainsi que d'approfondir leurs connaissances sur les techniques de pointe de conception et de prototypage rapide.

**Contenu :** Conception des microsystemes intégrés à très grande échelle et maîtrise de toutes les étapes de conception. Transistor MOS: construction, fonctionnement, analyse simplifiée, modèle physique détaillé, phénomènes secondaires et modèles SPICE. Logique, technologie et procédé CMOS. Réduction de l'échelle et évolution technologique. Circuit VLSI, LAIC, WSI et SoC. Méthodes de conception. Conception de circuits intégrés: circuits logiques et analogiques, analyse mathématique et simulations. Convertisseurs A/N et N/A. Considérations pratiques d'intégration et de réalisation de circuits mixtes (numérique/analogique). Intégration des microsystemes de capteurs intelligents. ASIC. Approche Top Down. Conception, simulation et synthèse de circuits et modules logiques à l'aide du langage de description matérielle. Prototypage rapide. Réalisations de projets d'intégration avec les outils de conception assistée par ordinateur du plus haut niveau (ex. Matlab/Simulink) jusqu'au plus bas niveau (ex. Cadence).

**GEN6103****Robotique**

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances nécessaires pour analyser les concepts avancés des systèmes autonomes. Lui permettre d'approfondir et de perfectionner les connaissances liées à la technologie des systèmes de robots et de la robotique mobile.

**Contenu :** Fondements conceptuels et théoriques de systèmes autonomes. Apprentissage automatique: supervisé et non supervisé. Architectures fonctionnelles et informatiques de systèmes adaptatifs. Robotique: le lien intelligent entre la perception et l'action. Analyse cinématique et dynamique avancée du robot. Acquisition de l'information sur l'environnement de travail d'un système de robot. Algorithmes pour la localisation et la navigation des robots mobiles: SLAM, filtre de particules. Méthodes d'intelligence artificielle pour le traitement de données en provenance de capteurs extéroceptifs. Directions de recherche en robotique.

**GEN6283****Atelier en conversion et distribution de l'énergie**

**Objectifs :** Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de la conversion et de la distribution de l'énergie. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu :** Apprentissage dans un des sujets actuels en conversion et distribution de l'énergie. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

**GEN6293****Atelier en micro-ondes et micro-électronique**

**Objectifs :** Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine des micro-ondes et de la micro-électronique. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu :** Apprentissage dans un des sujets actuels en micro-ondes et micro-électronique. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

**GEN6303****Atelier en électromagnétisme, optique et photonique**

**Objectifs :** Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de l'électromagnétisme, l'optique et la photonique. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu :** Apprentissage dans un des sujets actuels en électromagnétisme, optique et photonique. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

**GEN6333****Atelier en robotique et systèmes autonomes**

**Objectifs :** Au terme de cet atelier,

l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de la robotique et des systèmes autonomes. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu :** Apprentissage dans un des sujets actuels en robotique et systèmes autonomes. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

**GEN6343****Atelier en traitement du signal et télécommunications**

**Objectifs :** Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine du traitement du signal et des télécommunications. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu :** Apprentissage dans un des sujets actuels en traitement du signal et télécommunications. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

**INF6002****Systèmes à objets répartis**

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant de maîtriser les connaissances nécessaires pour concevoir une infrastructure de systèmes répartis en considérant les nouvelles technologies et les normes associées, dont celles spécifiques à l'interopérationalité.

**Contenu :** Étude des architectures distribuées et essentiellement celles basées sur le modèle client/serveur et l'approche orientée objet. Développement de composants logiciels réutilisables, distribuables et interopérationalnels indépendamment de la plate-forme matérielle et du langage de programmation respectifs du client et du serveur. Étude du standard CORBA (Common Object Request Broker Architecture) de l'OMG : bus, services, langage de définition d'interface (IDL), outils communs.

**INF6003****Développement des applications client-serveur**

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant de maîtriser l'approche client-serveur et le familiariser avec la programmation des réseaux.

**Contenu :** Rappel sur les protocoles de transport pour la programmation:

TCP/IP, UDP. Modèle Client-Serveur. Programmation des sockets. Appels de procédures à distance: modèle RPC. Présentation de données. Interfaces applicatives. Client-Serveur dans les bases de données SQL. Le transactionnel: protocoles 2PL, transactions réparties, standards de traitements de transactions. Interopérationalité. Autres types de serveur : serveurs de noms, serveurs d'informations (NIS).

## INF6043

### Algorithmique répartie

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant d'analyser les différents algorithmes spécifiques au traitement réparti. Lui permettre d'évaluer leur efficacité et leur complexité. Lui permettre d'acquies une compréhension des méthodes générales qui sous-tendent l'algorithmique répartie.

**Contenu :** Concept d'algorithmes répartis. Mesures de complexité. Analyse de performance. Méthodes de validation. Algorithmes : de routage, d'élection, de synchronisation, de consensus (communication défaillante, processus défaillant, stabilisation), pour l'exclusion mutuelle, pour l'allocation des ressources, spécifiques aux réseaux asynchrones, pour snapshots. Applications aux réseaux de communication, bases de données réparties, etc.

## INF6083

### Sujets spéciaux

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant d'acquies des connaissances sur un (ou des) sujet(s) spécifique(s) pertinent(s) à son programme.

**Contenu :** Présentation d'une activité portant sur un (ou des) sujet(s) non couvert(s) dans les autres cours du programme. Activité offerte par un professeur ou une équipe de professeurs. Cette activité traite d'un ou de sujets d'intérêt et apporte une contribution particulière à la formation de l'étudiant. Le contenu de ce cours doit faire l'objet d'une approbation préalable par le Comité de programme.

## INF6093

### Lectures dirigées

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant de réaliser une analyse critique d'articles ou d'ouvrages portant sur un sujet spécifique et pertinent au projet de mémoire.

**Contenu :** Lectures d'ouvrages et d'articles touchant un sujet qui l'intéresse et dont l'analyse contribue à l'approfondissement de ses connaissances et (ou) à l'avancement de son projet de Mémoire. L'étudiant soumet son plan de lecture au professeur et détermine avec lui les objectifs visés, le contenu du programme de lectures et les activités. Note: Pour suivre ce cours, l'étudiant doit obtenir une autorisation spéciale du responsable de programme.

## INF6103

### Analyse et conception des protocoles de sécurité

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant d'avoir une bonne maîtrise des concepts, des langages, des méthodes modernes et des outils utilisés dans l'analyse et la spécification des protocoles de sécurité.

**Contenu :** Cryptographie. Protocoles de sécurité. Rôle des protocoles de sécurité dans les systèmes de communication et les systèmes distribués. Présentation de quelques protocoles existants. Propriétés de sécurité : confidentialité, authentification, anonymat, atomicité, non-répudiation, etc. Taxonomie des failles de sécurité. Langages formels pour la spécification des protocoles de sécurité CCS/CSP, SPI, BAN, SPC, etc. Techniques formelles de vérification et preuves de correction des protocoles de sécurité.

## INF6123

### Structures de données avancées

**Objectifs :** Permettre à l'étudiant de se familiariser avec les structures de données avancées et leur application pour la construction d'algorithmes efficaces. Approfondir ses connaissances en algorithmique à travers des problèmes à solutions complexes.

**Contenu :** Éléments de la théorie des graphes. Graphes planaires, leurs propriétés et applications. Approfondissement des dictionnaires et arbres bscences. Types des tas. Files de priorité. Médiants. Approfondissement de la technique de programmation dynamique. Congruences et algorithmes de la théorie des nombres. Algorithmes de filtrage. Algorithmes avancés sur les graphes. Algorithmes géométriques.

## INF6133

### Algorithmes géométriques

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de perfectionner leurs connaissances sur les algorithmes traitant les données géométriques et leurs applications.

**Contenu :** Types de données géométriques. Graphes géométriques. Graphes de disques unitaires. Arrangements. Grilles. Arbres quaternaires. Recherche géométrique et localisation de points. Intersections. Triangulations et trapezoidations. Enveloppes convexes. Diagrammes de Voronoi et triangulations Delauney. Algorithmes d'explorations et planification de trajectoires.

## INF6143

### Bases de données avancées

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les connaissances sur les fondements, concepts et problèmes reliés aux bases de données allant des bases de données conventionnelles (incluant les bases de données réparties) aux bases de données plus avancées comme les entrepôts de données et les bases multimédia (incluant les systèmes d'information

géographique et les bases documentaires).

**Contenu :** Rappels sur les bases de données (BD). Contrôle et optimisation des performances dans un environnement centralisé. Bases de données réparties : principes, stratégies de conception, traitement des requêtes réparties, et gestion des transactions réparties. Veille économique (business intelligence) : fouille et entreposage de données. BD multimédia (particularités et exigences, stockage et exploitation, systèmes d'information géographique. BD documentaires). BD et Web (connexion à une BD via le Web, langage XML).

## INF6153

### Systèmes de contrôle d'accès aux données

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les aspects informatiques de la conception et implémentation de méthodes de protection et contrôle d'accès aux données dans les entreprises, du point de vue des exigences d'entreprise, de la structure des logiciels, de la validation des exigences et de la conception de systèmes.

**Contenu :** Exigences de sécurité des données et de protection de la vie privée. Politiques de protection et contrôle d'accès d'entreprise. Méthodes de contrôle d'accès discrétionnaires et non-discrétionnaires, caractéristiques logiques et implémentation. Rôles d'entreprise. Conception de rôles. Contrôle d'accès basé sur les rôles (RBAC) et ses variantes. Contrôle d'accès basé sur les attributs. Méthodes Bell-LaPadula, Biba et muraille de Chine. Modèles hybrides. Langages pour la spécification d'exigences et de politiques de contrôle d'accès. Analyse de cohérence et complétude de politiques de contrôle d'accès. Principes et méthodes pour l'analyse du risque dans le contrôle d'accès. Étude de la littérature et d'outils courants.

## INF6163

### Introduction à la cryptographie

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les concepts de la cryptographie et de son application dans le domaine de la sécurité des données. Lui permettre d'analyser les différents algorithmes spécifiques à la cryptographie. Lui permettre d'évaluer leur efficacité et leur complexité, ainsi que d'acquies une compréhension des méthodes générales de la cryptanalyse.

**Contenu :** Introduction à la cryptographie: terminologie, fonctions cryptographiques ; exemples historiques de protocoles de cryptographie : la cryptographie classique, le chiffrement de Vigenère, le chiffrement de Hill; la cryptanalyse des crypto-systèmes classiques. La cryptographie moderne, protocoles de confidentialité : protocoles à clé secrète et à clé publique. Introduction aux fonctions booléennes; opérateurs logiques et polynômes. Cryptographie à clé secrète; diagrammes de Feistel ; D.E.S., la version simplifiée S-DES ; I.D.E.A.;

S-IDEA. Le protocole A.E.S., S-AES: modes d'opération des chiffrements par blocs. Cryptanalyse des protocoles à clé secrète : confusion et diffusion ; cryptanalyse linéaire. Introduction à la théorie des nombres; les nombres premiers appliqués aux crypto-systèmes asymétriques. Concept de cryptographie à clé publique; algorithme RSA, gestion des clés, algorithme Diffie-Hellman; fonctions de hachage, algorithmes SHA-1et MD5; authentification des messages. Signatures numériques, standard DSS, authentification des protocoles.

## INF6173

### Conception de syst. temps-réel répartis embarqués

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les particularités des phases de développement des systèmes en temps réel répartis et particulièrement des systèmes embarqués. Lui permettre de tester ces systèmes et évaluer leur performance. Lui permettre également d'approfondir les connaissances relatives aux techniques d'ordonnancement et aux comportements des systèmes réactifs et leurs applications

**Contenu :** Rappel sur les concepts des systèmes temps réel. Introduction des systèmes temps réel distribués embarqués (STRDE). Analyse et conception des systèmes temps réel répartis, concept de Co-Design. Processeurs embarqués. Optimisation de la conception et du développement de systèmes temps réel répartis. Apport de l'approche orientée objet à la conception des systèmes temps réel répartis. Performance statique et dynamique. Multitraitement temps réel distribué, techniques d'ordonnancement, puissance des systèmes embarqués, accélérateurs de matériel, systèmes d'exploitation (QNX, ITRON, etc.). Langages de spécification, outils de simulation pour réseaux de capteurs (TOSSIM, etc.). Applications (routage, transport des données, etc.).

## INF6183

### Éléments avancés d'intelligence artificielle

**Objectifs :** Permettre aux étudiants de maîtriser les aspects avancés d'intelligence artificielle (IA), tels que la représentation et l'extraction des connaissances, et les techniques de prédiction à partir de ces dernières. Lui permettre d'approfondir les techniques de base pour le raisonnement logique et l'apprentissage machine.

**Contenu :** Modèles de représentation des connaissances (réseaux sémantiques, graphes conceptuels et règles de production). Techniques d'acquisition de la connaissance pour la construction des systèmes experts. Techniques de planification et applications. Techniques de raisonnement probabilistes, réseaux Bayesiens, modèles de Markov cachés. Algorithmes d'apprentissage supervisé et non-supervisé, apprentissage par renforcement, réseaux de neurones. Études d'applications dans les domaines

de la vision artificielle, la robotique et le forage de données.

### INF6193

#### Intelligence d'affaires

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser les fondements, concepts et problèmes reliés à l'intelligence d'affaires (veille économique ou Business intelligence) qui inclut trois facettes : la visualisation de l'information et de la connaissance, la fouille de données et l'entreposage de données.

**Contenu** : Fouille de données : étapes de découverte de connaissances (prétraitement, fouille de données et interprétation des résultats), techniques de classification (arbres de décision, etc.), techniques de regroupement (treillis de concepts, classification hiérarchique), règles d'association, motifs séquentiels, cas aberrants et fouille de données complexes (Web, texte, graphe). Entreposage de données : étapes de construction d'un entrepôt de données (acquisition, stockage, traitement et accès), modélisation multidimensionnelle des données, techniques OLAP, types d'architectures des entrepôts de données, optimisation des performances et matérialisation de cubes de données. Visualisation de l'information et de la connaissance. Intégration des deux technologies de fouille de données et entreposage de données. Applications et outils de la veille économique.

### INF6203

#### Méthodes formelles pour le développement de logiciels

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser le processus de développement rigoureux et formel du logiciel. Lui permettre d'approfondir les techniques de spécification, validation et test formels du logiciel.

**Contenu** : Spécification et validation de besoins. Spécification de programmes séquentiels. Spécification de modules. Conception interne de modules et fonction d'abstraction. Étude et application de quelques langages formels. Spécification de programmes concurrents. Documentation produite à chaque étape du développement du logiciel. Étude et utilisation d'outils logiciels pour le développement formel du logiciel. Méthodes formelles de test. Méthodes formelles et méthodes informelles de validation de logiciels.

### INF6223

#### Systèmes de communications multimédias

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser les systèmes de communications multimédias et les traitements associés. Lui permettre d'acquérir les connaissances de base pour le développement d'applications multimédias

**Contenu** : Introduction au multimédia, outils et interfaces. Représentation des données multimédias, audio, image et vidéo. Compression des données multimédias, algorithmes de base. Normes de codage JPEG et MPEG.

Sécurité multimédia, watermarking, gestion numérique des droits (DRM), authentification, vidéosurveillance. Bases de données multimédias, recherche par le contenu. Applications : Multimédia et réseaux, protocoles de transfert, internet, réseaux sans-fil, transport en temps réel, synchronisation, qualité de service.

### INF6233

#### Sécurité informatique et méthodes formelles

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser les techniques formelles utilisées pour la sécurisation des systèmes et réseaux informatiques

**Contenu** : Problèmes de la sécurité dans les logiciels et intergiciel. Formalismes algébriques et logiques pour la description des systèmes et des politiques de sécurité. Automates d'édition. Techniques formelles de renforcement de politiques de sécurité dans les systèmes. Renforcement par Monitoring. Renforcement par réécriture de programmes. Classes de propriétés de sécurités : sûreté, vivacité, « renewal », etc.

### INF6243

#### Techniques d'apprentissage

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser les concepts fondamentaux de l'apprentissage automatique et d'appliquer ces notions à des problèmes concrets. Leur faire acquérir des connaissances sur les techniques d'apprentissage supervisé et non supervisé, les techniques d'apprentissage pour les données textuelles, les algorithmes de classement des pages Web.

**Contenu** : Concepts d'apprentissage supervisé : classification et régression, frontière de décision et fonctions discriminantes; Arbres de décision et techniques de traitement du sur-apprentissage (overfitting); Apprentissage par ensemble : (bagging), (boosting) et forêt d'arbres; Machine à noyaux : dimension VC et machines à supports vectorielles; Apprentissage non supervisé : (clustering), les mélanges de loi de distribution statistique, carte de Kohonen et algorithme SOFM; Apprentissage de données multidimensionnelles : techniques de réduction de la dimension, classification non supervisée dans les sous-espaces de dimension (subspace clustering); Fouille de données textuelles : modèle TF-IDF et analyse sémantique latente; Prospection du Web : algorithmes HITS et PageRank.

### INF6253

#### Web sémantique

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser les principes qui sont à la base du Web sémantique. Lui fournir les connaissances nécessaires à la compréhension des technologies utilisées pour la réalisation du Web sémantique. Présenter l'état actuel du développement du Web sémantique et les perspectives de recherche dans ce domaine.

**Contenu** : Introduction au Web sémantique et son contenu. Techniques de représentation de connaissances mises en œuvre dans le cadre du Web sémantique. Frameworks de métadonnées. Ontologies et schéma. RDF. Logiques de description et OWL. Alignements et gestion des ontologies. Aspects computationnels du Web sémantique et introduction aux services Web. Sélection, composition et médiation des services sémantiques. Exemples pratiques. Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de : comprendre les enjeux liés à la réalisation du Web sémantique; construire une ontologie dans le but d'une intégration au Web sémantique; construire une application simple pour le Web sémantique; comprendre les défis techniques liés à la réalisation du Web sémantique; comprendre aisément les travaux de recherche et développement qui portent sur le Web sémantique.

### INF6263

#### Ingénierie des protocoles de communication

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de maîtriser le processus d'ingénierie, de conception formelle, de validation et test des protocoles de communication.

**Contenu** : Fonctions des protocoles de communication. Modèles à couches : protocoles et services. Contrôle d'erreur. Contrôle de flux. Gestion des connexions. Spécification formelle des protocoles de communication. Validation des protocoles de communication. Techniques à états finis et algébriques : analyse d'accessibilité, équivalence par test, équivalence observationnelle, etc. Évaluation de modèles. Méthodes de test. Étude de quelques langages formels ou semi-formels tel que : CCS, Pi-Calculus, LOTOS, PROMELA, SDL, UML. Application avec outils, comme SPIN, CADP, ALLOY, etc.

### INF6273

#### Technologie avancée en télécommunication

**Objectifs** : Permettre aux étudiants de comprendre le fonctionnement et les protocoles récents des systèmes modernes de télécommunication, particulièrement des réseaux à très haut débit et les familiariser avec les récents développements et applications dans ce domaine.

**Contenu** : Revue des architectures des réseaux de télécommunication. Réseaux locaux (LAN), métropolitains (MAN), étendus (WAN). Technologie Mode de transfert asynchrone (ATM). Communication par fibres optiques et standard SONET (Synchronous Optical Network). Réseaux tout optiques. Communications et réseaux sans fil. Réseaux ad-hoc. Méthodes de contrôle d'accès multiples. Gestion de la performance des réseaux modernes. Contrôle de congestion dans les réseaux à très haut débit. Réseaux cognitifs. Applications.

### INF6403

#### Atelier en science des données et intelligence artificielle

**Objectifs** : Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de la science des données et de l'intelligence artificielle. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu** : Apprentissage dans un des sujets actuels en science des données et intelligence artificielle. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

### INF6423

#### Atelier en cybersécurité et fiabilité des systèmes informatiques

**Objectifs** : Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de la cybersécurité et de la fiabilité des systèmes informatiques. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu** : Apprentissage dans un des sujets actuels en cybersécurité et fiabilité des systèmes informatiques. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

### INF6433

#### Atelier en algorithmique et génie logiciel

**Objectifs** : Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de l'algorithmique et du génie logiciel. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu** : Apprentissage dans un des sujets actuels en algorithmique et génie logiciel. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

### INF6443

#### Atelier en modélisation, simulation et optimisation

**Objectifs** : Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine de la modélisation, de

la simulation et de l'optimisation. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu** : Apprentissage dans un des sujets actuels en modélisation, simulation et optimisation. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

### INF6453

#### Atelier en réseaux informatiques et systèmes distribués

**Objectifs** : Au terme de cet atelier, l'étudiant-e aura approfondi sa connaissance de l'état actuel des développements et des principaux défis dans le domaine des réseaux informatiques et des systèmes distribués. L'étudiant-e se sera approprié-e les approches méthodologiques utilisées dans les travaux de recherche du domaine.

**Contenu** : Apprentissage dans un des sujets actuels en réseaux informatiques et systèmes distribués. Étude de la littérature récente, discussion des principales tendances de recherche. Développement des aptitudes écrites et orales de l'étudiant-e : recherche personnelle et documentaire, lectures imposées, préparation de rapports et de présentations orales, discussion et critique d'articles.

### INF6463

#### Séminaire doctoral en sciences et technologies de l'information

**Objectifs** : Au terme de ce cours l'étudiant-e aura développé une vision d'ensemble et aura acquis des aptitudes sur différents aspects liés à la recherche et à l'innovation dans le domaine des sciences et technologies de l'information (STI). L'étudiant-e se sera approprié-e les outils nécessaires pour pouvoir mener de manière efficace des travaux de recherche, ainsi que pour préparer des rapports, des publications et des présentations scientifiques de bonne qualité.

**Contenu** : Introduction à la recherche et à la création : qualité et impact d'un travail de recherche, recherche en sciences et technologies de l'information, recherche fondamentale versus recherche appliquée, recherche académique versus recherche industrielle. Introduction aux plateformes de recherche documentaires. Méthodologie de la recherche au doctorat : du mémoire de maîtrise vers la thèse de doctorat, choix d'un sujet de recherche, contributions attendues du doctorat, relation étudiant-e-superviseur-e, financement de la recherche. L'art de faire des présentations. Rédaction de publications de recherche : structure d'un article de recherche, conférences versus journaux, rédaction d'une thèse, exercices sur l'évaluation et arbitrage d'articles de

recherche. Éthique de la recherche : responsabilité des auteur-es, utilisation de sujets humains et protection de la vie privée, situation de plagiat, normes de publications et propriété intellectuelle. Exercices de synthèses et de présentations de travaux de recherche. Plénières animées par des chercheur-euses invité-es.

### INF7093

#### Éléments avancés d'analyse d'images

**Objectifs** : Permettre à l'étudiant de : Connaître le processus de formation d'images. Maîtriser les outils fondamentaux d'analyses et de traitement des images. Maîtriser différents algorithmes pour l'extraction de caractéristiques et la représentation des images. Réaliser des projets basés sur le traitement d'images, tels que la reconnaissance d'objets, la segmentation, la classification d'images, le codage et la compression.

**Contenu** : Aspects avancés des systèmes d'acquisition, du processus d'échantillonnage, de quantification et de filtrage des images. Techniques d'extraction de différentes caractéristiques (ex. les contours, les régions et les formes). Opérations de base pour l'amélioration de la qualité des images (la restauration et le rehaussement). Algorithmes de recalage et d'estimation du mouvement dans les séquences d'images. Aspects de haut niveau, tels que la représentation et la classification d'images.

### INF9006

#### Examen de synthèse

**Objectifs** : Au terme de ce cours l'étudiant-e aura démontré sa connaissance approfondie du domaine principal de sa recherche et une bonne connaissance d'un domaine secondaire; il ou elle aura aussi fait la preuve de ses capacités de communication à l'écrit comme à l'oral.

**Contenu** : L'étudiant-e se voit attribuer un programme de lectures pertinent à son domaine de recherche et à un domaine d'enrichissement secondaire; ces domaines sont choisis parmi les dix spécialisations du programme. Cette activité individuelle comprend une partie écrite et une présentation orale devant un jury.

### INF9009

#### Projet de thèse

**Objectifs** : Au terme de ce cours l'étudiant-e aura présenté de façon claire et cohérente sa problématique de recherche, ses hypothèses de travail de même que son approche méthodologique.

**Contenu** : Règles et principes de l'élaboration et de la présentation d'un projet de thèse. Établissement d'une problématique de recherche. Étude critique de l'état de l'art. Choix d'hypothèses et d'une méthodologie appropriée. Cette activité individuelle donne lieu à un rapport écrit et une présentation formelle devant un jury.

### INF9060

#### Thèse

**Objectifs** : Amener l'étudiant à faire la preuve de sa maîtrise d'un sujet de recherche et de sa capacité à mener à terme un travail de recherche de façon autonome. Il s'agit d'un travail écrit d'envergure qui constitue l'activité majeure de formation du programme de doctorat. Les résultats de ce travail doivent apporter une contribution originale et significative à l'avancement des connaissances dans le domaine de recherche choisi.

**Contenu** : Exposé écrit de l'ensemble de la démarche de recherche et des résultats obtenus. Défense de la thèse à l'oral devant un jury.

### INF9063

#### Technologies photoniques et applications

**Objectifs** : Acquérir une connaissance des principes de fonctionnement et de fabrication, ainsi que des applications, des composantes et des systèmes optoélectroniques modernes. Se familiariser à l'apport de l'informatique dans les domaines de la photonique et de l'électronique.

**Contenu** : Matériaux optoélectroniques: modèles simplifiés de confinement optique et électronique; guidage de la lumière dans les structures planaires et cylindriques, principes de l'interférométrie; génération et détection de la lumière par les dispositifs à semi-conducteurs et organiques; amplificateurs optiques; technologie de couches minces en électronique et en optique intégrée; nanostructures et nanotechnologies optoélectroniques; exemples de dispositifs, de systèmes et d'applications - télécommunications, biophotonique, systèmes MEMS, senseurs photoniques, cristaux liquides et systèmes d'affichage, systèmes photovoltaïques solaires, etc.

### INF9083

#### Lecture dirigée en sciences et technologies de l'information

**Objectifs** : L'étudiant devra réaliser une analyse critique d'articles ou d'ouvrages portant sur un sujet spécifique en sciences et technologies de l'information pertinent à son projet de thèse.

**Contenu** : Lectures d'ouvrages et d'articles touchant le domaine de recherche de l'étudiant et dont l'analyse contribue à l'approfondissement de ses connaissances et à l'avancement de son projet de thèse. Le professeur soumet un plan de lecture à l'étudiant et détermine avec lui les objectifs visés, le contenu du programme de lectures et les activités.