

## CENTRE ÉNERGIE MATÉRIAUX TÉLÉCOMMUNICATIONS DE L'INRS

## DOCTORAT EN TÉLÉCOMMUNICATIONS

Code	Titre	Grade	Crédits
3670	DOCTORAT EN TÉLÉCOMMUNICATIONS	Philosophiae doctor, Ph. D.	Quatre-vingt-dix

## OBJECTIFS

Ce programme d'études a pour but de former des chercheuses et chercheurs en télécommunications aptes à contribuer à l'avancement des connaissances dans un contexte industriel ou académique. Il leur donnera les bases tant méthodologiques que scientifiques, ainsi que la maîtrise des outils nécessaires pour mener à bien la recherche et concevoir des solutions dans des secteurs de pointe des télécommunications.

À cette fin, l'accent sera placé sur :

- une connaissance des outils nécessaires en mathématiques, en génie électrique et en informatique pour mener à bien la recherche ;
- l'aptitude à identifier un sujet de recherche et à planifier un projet ;
- l'acquisition de connaissances propres au domaine de spécialisation ;
- une compréhension des besoins reliés à l'industrie des télécommunications.

## CONDITIONS D'ADMISSION

La personne candidate doit être titulaire d'une maîtrise ou l'équivalent en télécommunications ou dans une discipline telle que le génie électrique ou l'informatique, ou dans tout autre domaine pertinent ; ou être titulaire d'un grade de bachelier, ou l'équivalent, et posséder les connaissances requises et une formation appropriée. De plus, il doit y avoir adéquation entre la formation antérieure de la candidate ou du candidat et celle requise pour entreprendre des études dans le programme d'enseignement visé.

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

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

La personne candidate doit avoir choisi une direction de recherche et obtenu une acceptation motivée.

Tout candidate ou candidat doit respecter les conditions d'admission précisées dans la [Politique linguistique de l'INRS](#).

L'INRS admet de nouveaux membres étudiants à ce programme en vue d'une première inscription à l'un ou l'autre des trois trimestres.

## RÉGIME D'ÉTUDES ET DURÉE DES ÉTUDES

- Temps complet : 4 ans
- Temps partiel : 6 ans

## LISTE DES ACTIVITÉS

Le doctorat en télécommunications comporte 90 crédits, dont 71 pour la thèse, 9 pour les cours, et 10 pour l'examen de synthèse et l'examen doctoral.

## ACTIVITÉS OPTIONNELLES (9 CR.)

## CHOISIR 3 ACTIVITÉS PARMI LES SUIVANTES :

## TEL100 TRAITEMENT DES SIGNAUX NUMÉRIQUES (3 CR.)

Théorie des systèmes échantillonnes linéaires ; techniques de synthèse des filtres numériques, étude des effets de quantification dans les filtres numériques ; transformation rapide de Fourier et algorithmes FFT, techniques de convolution et de corrélation rapides ; applications au traitement des signaux de la parole et des signaux vidéo.

## TEL101 PROCESSUS STOCHASTIQUES POUR LE TRAITEMENT DES SIGNAUX (3 CR.)

Modélisation et analyse des suites temporelles aléatoires du type que l'on rencontre dans la recherche en traitement du signal. Révision de la théorie élémentaire de la probabilité. Processus stochastiques (temps continu, temps discret).

Les calculs des processus à deuxième ordre, l'analyse harmonique, le filtrage de Wiener et de Kalman, processus ARMA, le mouvement brownien, éléments de la théorie d'estimation et d'autres matières en fonction du temps disponible.

**TEL102 TÉLÉCOMMUNICATIONS NUMÉRIQUES (3 CR.)**

Conception des systèmes cohérents et interférence intersymboles : traitement du signal (codes de mise en forme spectrale), récepteur PAM (filtre adapté, égalisation, estimation des séquences par le maximum de vraisemblance). Systèmes non cohérents : PSK différentiel, FSK, OOK. Synchronisation et phase, brouilleurs. Contrôle d'erreur et ARQ.

**TEL122 ÉTUDE DE PERFORMANCE (3 CR.)**

Rappels théoriques de stochastique. Modèle de Markov à temps continu et discret, processus de vie et de mort. Caractérisation des files d'attente et modélisation des services : différentes lois, leurs propriétés, leur utilité et les limites d'utilisation. Modèles de réseaux de file d'attente pour des systèmes en équilibre ; variations sur le modèle M/M. Applications des chaînes de Markov. Autres modèles de files d'attente et leur étude : modèles M/G et G/M. Principes de l'ordonnancement ; étude de diverses solutions et de leurs limites. Outils de simulation et de calcul.

**TEL130 OPTIMISATION (3 CR.)**

Introduction à la programmation mathématique. Programmation linéaire (méthode du simplexe, dualité). Réseaux (algorithme du flot maximum, flots de coût minimum, multiflot). Programmation non linéaire (avec ou sans contraintes), programmation quadratique et géométrique, problèmes combinatoires. Programmation dynamique.

**TEL221 PROTOCOLES DE COMMUNICATIONS (3 CR.)**

Introduction aux concepts généraux des réseaux. Principe de la commutation, de la connexion et du routage. Notion de service, de qualité de service, de protocole et d'interface (APIs). Principe d'architecture, modèles OSI et IETF. Les éléments fonctionnels d'un protocole et leur place dans une architecture. Couches de haut niveau et de bas niveau. Les éléments de session et présentation. Exemples d'application, principes du modèle client/serveur et applications réparties. Problématique du multimédia. Introduction aux différents mécanismes de transport. Étude de l'accès aux réseaux, des réseaux à relayage de trame, des réseaux à commutation de cellule. Principes des réseaux locaux et les différents standards les plus populaires. Les standards de fait dans la microinformatique. Évolution vers les réseaux informatiques à longue distance et les réseaux à haut débit. Les réseaux téléphoniques. La signalisation, les services et le principe des réseaux dits intelligents (Q.1200). L'évolution vers les communications personnelles et leurs problèmes spécifiques. Gestion de réseaux et problèmes particuliers : ponts, routeurs et passerelles.

**TEL222 INGÉNIERIE DES SYSTÈMES RÉPARTIS (3 CR.)**

Ce cours permettra à l'étudiante ou à l'étudiant d'apprendre à concevoir des systèmes répartis répondant à des exigences données sur la base de concepts et d'approches connus et éprouvés.

Présentation de la problématique du travail en environnement réparti : l'incertitude dans l'espace et dans le temps.

Étude de problèmes classiques divers et de leurs solutions : localisation, dénomination, authentification, fiabilité, sécurité, horloge commune, contraintes temporelles, performance. Mise

en œuvre de solutions réparties : modèles clients-serveurs, mémoire répartie, diffusion, transactions.

Quelques notions d'algorithmique répartie : présentation d'un langage formel et étude de quelques cas généraux, tels les algorithmes d'élection, de calcul d'état global cohérent, de propriété stable et autres. Études de cas : norme ODP, CORBA, systèmes de fichiers répartis, services de pages blanches et jaunes, SAP. Projet.

Une très bonne connaissance de l'informatique et de la programmation est requise.

**TEL224 CONCEPTION DE PROTOCOLES (3 CR.)**

Rappels sur les modèles de référence OSI, sur l'historique des télécommunications, sur l'évolution des protocoles. Définition d'un protocole et de ses éléments. Outils et théorie de la validation des protocoles, langages standardisés, l'outil SPIN et son langage PROMELA. Les éléments classiques des protocoles de bas niveau : tampons, temporiseurs, numérotation, multiplexage, fragmentation. Gestion du contrôle du flux et optimisation de l'utilisation de la bande passante ; fenêtres coulissantes. Problème du routage et extension aux algorithmes répartis. Cas d'étude : HDLC et ses variantes, couche transport. Problèmes des protocoles de haut niveau : conversion de représentation, modélisation et transfert de données. Utilisation de Z dans les couches de haut niveau, illustration avec X.900 (ODP). Problèmes particuliers du temps réel. Techniques d'implantation des protocoles.

**TEL241 RECONNAISSANCE DES FORMES (3 CR.)**

Base mathématique pour la reconnaissance des formes, méthodes syntaxiques et statistiques, applications en reconnaissance de la parole et reconnaissance de caractères.

**TEL250 COMMUNICATIONS VERBALES (3 CR.)**

Production de la parole humaine : descriptions acoustiques et de l'articulation ; modèles de production de la parole ; perception de la parole ; traitement numérique du signal de parole ; « vocoders » (formant, à prédiction linéaire, cepstral) ; reconnaissance automatique de la parole par ordinateur ; synthèse de la parole basée sur l'application de règles ; reconnaissance-vérification du parleur. Préalable : TEL100 Traitement des signaux numériques (3 cr.).

**TEL260 RADIOPRÉPARATIONS MOBILES (3 CR.)**

Caractéristiques de propagation du canal radio-mobile. Variations à grande et petite échelles. Modulations analogiques et numériques en radio-mobile. Interférences. Diversité. Égalisation. Codage de canal. Principe des systèmes mobiles, cellulaires, portatifs, communications personnelles. Préalables : TEL101 Processus stochastiques pour le traitement des signaux (3 cr.) ; TEL102 Télécommunications numériques (3 cr.).

**TEL261 TECHNIQUES RADIOFRÉQUENCES (3 CR.)**

Éléments rayonnants. Sources ponctuelles et demi-ondes. Ouvertures et grandes antennes. Effets mutuels. Antennes large-bande et indépendantes de la fréquence. Mesures des caractéristiques. Méthodes numériques et hautes fréquences. Méthodes des éléments et différences finis. Méthodes des moments. Analyse spectrale. Prétraitement. Prédition linéaire. Maximum de vraisemblance. Estimation de signaux

multiples. Préalable : TEL102 Télécommunications numériques (3 cr.).

**TEL262 CIRCUITS ACTIFS ET SYSTÈMES MICRO-ONDES (3 CR.)**

Design d'amplification mixers et d'oscillateurs micro-ondes utilisant une technologie intégrée à l'aide de logiciels commerciaux, abaque de Smith, paramètres S et autres paramètres de caractérisation de transistors.

**TEL263 RÉSEAUX DE FIBRES/SANS FIL ET CONCEPTION ENTREPRENEURIALE (3 CR.)**

Ce cours présente une introduction à l'intégration des réseaux d'accès à large bande fibre-sans fil (FiWi) qui combine non seulement la fiabilité, la robustesse et la haute capacité des réseaux de fibres optiques, mais également la flexibilité, l'ubiquité, et les économies de coûts offerts par les réseaux sans fil. Les membres étudiants pourront acquérir une compréhension clé des technologies des réseaux optiques et sans fil, des architectures, des protocoles, des algorithmes et des différentes techniques d'amélioration des performances. Le cours fournit également une introduction aux techniques d'innovation qui adaptent les résultats de la recherche universitaire aux produits sur le marché.

Les sujets abordés dans ce cours sont : *Native et carrier Ethernet, next-generation passive optical networks (NG-PONs), Gigabit-class WLAN, RoF vs. R&F networks, mobile-edge computing, cloudlet, recombinant innovation, lean startup, etc.*

**TEL300 PROBLÈMES SPÉCIAUX I (3 CR.)**

Problèmes spéciaux I

**TEL301 PROBLÈMES SPÉCIAUX II (3 CR.)**

Problèmes spéciaux II

**TEL302 PROBLÈMES SPÉCIAUX III (3 CR.)**

Problèmes spéciaux III

**TEL350 LECTURES DIRIGÉES I (1 CR.)**

Lectures dirigées I

**TEL351 LECTURES DIRIGÉES II (2 CR.)**

Lectures dirigées II

**TEL352 LECTURES DIRIGÉES III (3 CR.)**

Lectures dirigées III

**TEL353 PROBLÈMES SPÉCIAUX III (3 CR.)**

Problèmes spéciaux III

**TEL354 PROBLÈMES SPÉCIAUX III (3 CR.)**

Problèmes spéciaux III

**TEL355 PROBLÈMES SPÉCIAUX III (3 CR.)**

Problèmes spéciaux III

**ACTIVITÉS OBLIGATOIRES (10 CR.)****TEL400 EXAMEN DE SYNTHÈSE (4 CR.)**

Cet examen assure que la candidate ou le candidat démontre une compétence, tant sur son sujet de thèse que dépassant le cadre de celui-ci.

L'examen portera sur deux sujets de son champ de spécialisation et deux sujets extraits de chacun de deux domaines parmi les mathématiques, l'informatique et le génie électrique.

De tels sujets seront choisis à partir d'une liste approuvée par la direction de programme.

**TEL500 EXAMEN DOCTORAL (6 CR.)**

L'objectif principal de l'examen doctoral est de vérifier d'une part, si le projet de recherche de l'étudiante ou l'étudiant a été suffisamment bien défini et, d'autre part, si l'étudiante ou l'étudiant possède une préparation suffisante pour mener à bien son projet.

Elle ou il pourra, par la même occasion, tirer profit de recommandations susceptibles de favoriser la progression de ses travaux.

Elle ou il devra présenter par écrit et défendre oralement devant jury sa problématique de recherche.

**THÈSE (71 CRÉDITS)****THÈSE (71 CR.)**