

Résumé du PROGRAMME DE FORMATION

Master Réseaux et Télécommunications, parcours Télécom, 1^{ère} et 2^{ème} année

CONTENU

<p>SEMESTRE 1 : Tronc commun</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ TNS : Traitement Numérique du Signal ▪ SPG : Supports de Propagation Guidée ▪ AOCRC : Architecture d'un Objet Communicant et Réseaux de Communication ▪ PPP : Gestion de Projets et de Process de télécommunication ou Projet IoT (choix contraint) ▪ ANGLAIS : Anglais 	<p>SEMESTRE 2 : Parcours TÉLÉCOMMUNICATIONS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ AROC-1: Antennes pour les Réseaux Mobiles et les Objets Connectés - 1 ▪ SMC : Smartphone Multimedia Codecs (en Anglais) ▪ RM2G : Réseaux Mobiles 2G ▪ CN : Communications Numériques ▪ TIC : Théorie de l'Information et du Codage ▪ CCFM : Chaîne de Communication Fixe et Mobile ▪ PRM2G : Planification des Réseaux Mobiles 2G (logiciel Atoll-Forsk) ▪ PPP : Projet Professionnel et Personnel de l'étudiant (choix libre)
<p>SEMESTRE 3 : Parcours TÉLÉCOMMUNICATIONS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RM3G : Réseaux Mobiles 3G ▪ RM4G : Réseaux Mobiles 4G ▪ RTRC : Réseaux de Transport et Réseaux Coeur ▪ CAT : CAnal de Transmission ▪ SRD : Stratégies pour Réseaux Denses ▪ TEC : Transports et Cybersécurité ▪ SVD : Séminaires et Valorisation des Projets ▪ PTBE : Projet Technique Bureau d'Etude 	<p>SEMESTRE 4 : Parcours TÉLÉCOMMUNICATIONS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ MEE : Management Et Entrepreneuriat ▪ CR4G : Conception d'un réseau 4G (logiciel Atoll-Forsk) ▪ ANGLAIS : Anglais ▪ STAGE : Stage en Entreprise ou Laboratoire

SEMESTRE 1 :

AOCRC : Architecture d'un Objet Communicant et Réseaux de Communication

Partie 1 : Architecture d'un Objet Communicant : chaîne Emission/réception

- Architecture d'une chaîne d'émission/réception, intérêt des modulations
- Emetteur hétérodyne : rôle des mélangeurs, oscillateur et amplificateur de puissance (AP)
- Récepteur hétérodyne : rôle des mélangeurs, oscillateur et amplificateur faible bruit (LNA)
- Limitations à l'émission (puissance maximale, intermodulation) ---> (IP1, IP3 de l'AP)
- Limitations à la réception (sensibilité) ---> (facteur de bruit du LNA)
- Bilan de liaison d'une chaîne d'émission/réception (exemple chiffré)

Partie 2 : Réseaux de Communication

1. Principes de base des réseaux informatiques et télécommunications
 - Description de la pile des protocoles (OSI)
 - Eléments de constitution et topologies de base
 - Commutation de circuits et commutation de paquets
 - Les protocoles : Fonctions élémentaires, Mécanismes de base
 - Le réseau IP
2. Les réseaux de transport
3. Les réseaux locaux et les réseaux d'accès fixes et radio-mobiles
 - Les technologies x-DSL
 - Les réseaux LAN - (Ethernet IEEE 802.3)
 - Les réseaux W-LAN (Wifi IEEE 802.11)
 - Les réseaux mobiles (de la 2G à la 5G)
 - Les réseaux pour l'Internet des objets (LoRa, SigFox, 4G et 5G, LPWaN)

SPG : Supports de Propagation Guidée

Partie RadioFréquences :

- Les structures de propagation usuelles : ligne coaxiale, guide d'onde métallique, diélectrique, lignes microruban, fente, coplanaire,...
- Notion de schéma électrique équivalent,
- Comportement fréquentiel, diagramme de dispersion, aspects monomode et multimode, filtrage modal.
- Propriétés des supports de propagation, comportement liée aux pertes métalliques et diélectriques
- Règles de conception des supports de propagation en HF/Hyperfréquences.
- Présentation et utilisations de l'Abaque de Smith (en impédance et admittance).
- Adaptation d'impédance au sens des lignes et en puissance (par éléments localisés, semi-localisés, distribués).

Travaux Pratiques:

- TP1 : Méthodes de détermination du Diagramme de dispersion de structures de propagation.
- TP2 : Détermination de dipôles inconnus, adaptation d'impédance.
- TP3 : Initiation à l'utilisation de l'Analyseur de Réseau Vectoriel, mesure des paramètres S et caractérisation de lignes de propagation,
- TP4 : CAO sur l'étude et la conception de lignes de propagation
- TP5 : CAO sur la synthèse des réseaux d'adaptation

Partie Fibres Optiques :

- Rappels sur l'optique : Description géométrique de la lumière : Indice de refraction, coefficients de Fresnel, réfraction, réflexion totale interne, Description électro-magnétique de la lumière : Longueur d'onde, fréquence, amplitude, phase, polarisation, puissance, intensité, Impulsion, vitesse de groupe, spectre, ...
- Optique guidée : Formalisme de rayons, Formalisme électro-magnétique, modes
- Propriétés de fibres optiques : Atténuation et pertes : Absorption du matériau, diffusion de Rayleigh, pertes par courbure, Dispersion et bande passante : Dispersion de matériau, dispersion de guide d'onde, ...
- Exemples de fibres optiques courantes : Fibres monomodes : G652, G657, Fibres multimodes : OM1, OM2, OM3, OM4
- Aperçu des composants passives : Coupleur, WDM
- Aperçu des composants actifs : Sources, modulateurs, transmetteurs, Détecteurs, récepteurs, répéteurs, Amplificateurs
- Aperçu des différents réseaux de fibre optiques : Réseau bâtiment, Réseau d'accès, Réseau métro, Réseau longue portée.
- Lien entre taux d'erreur binaire et rapport signal sur bruit : Bilan de liaison, photométrie, Modulation OOK, Facteur de qualité Q, SNR, BER(Q).
- Fabrication de fibres optiques
- Mise en œuvre de fibres optiques : soudure, connecteurs, ...

TNS : Traitement Numérique du Signal

- Transformée de Fourier discrète et FFT
- Fenêtres d'interpolation – propriétés des principales fenêtres de pondération
- Notions sur l'échantillonnage
- Spectre d'un signal échantillonné
- Réponse impulsionnelle et produit de convolution
- Fonctions de corrélation et densité spectrale ; applications
- Rappels sur le filtrage. Filtrage adapté et corrélation – cas particulier d'un bruit blanc
- Systèmes échantillonnés et transformée en Z
- Notions générales sur les filtres numériques. Structures types pour les filtres RII et RIF
- Filtres à réponse impulsionnelle finie. Algorithme de calcul. Synthèse.
- Filtres à réponse impulsionnelle infinie. Méthodes d'étude. Synthèse.
- Architecture des microprocesseurs DSP
- Arithmétiques spécifiques des DSP et parallélisation
- Introduction aux interruptions matérielles
- Port de Communications extérieur
- Notions de temps réel

Phase Expérimentale

- Introduction et prise en main du logiciel matriciel Scilab
- Etude des propriétés de la FFT
- Convolution Numérique et Filtrage Numérique
- Corrélation Numérique et Densité Spectrale de Puissance

Phase Applicative

Architecture spécifique d'un processeur DSP

- Accès parallèle des mémoires de codage et de données.
- Unités de calcul spécifiques du CPU dédiées au traitement du signal (unités MAC, Shifter, Générateur d'adresse)
- Gestion des interruptions matérielles

Applications dans le domaine du traitement numérique du signal :

- Etude de la communication entrée/sortie via un CODEC audio
- traitement des signaux audio, filtrage numérique, reconnaissance vocale.

PE : Projet de l'Étudiant (Gestion de projet et process)

Définition d'un projet et d'un process industriel dans le domaine des systèmes de télécommunications, planification des tâches, gestion des coûts, analyses des risques, préparation de business cases, communication écrite et orale.

ANGLAIS

La première partie concerne un travail en laboratoire de langue. L'étudiant s'entraîne à la compréhension orale de documents audio ou vidéo. Des documents récents lui permettent d'être au courant des dernières innovations du domaine de la haute technologie, des ressources humaines ou du management.

La deuxième partie du cours est consacrée au commentaire du document présenté en laboratoire. Ceci permet à l'étudiant de parfaire sa production orale. Des revues de presse hebdomadaires sont également présentées.

SEMESTRE 2 :

AROC-1 : Antennes pour les Réseaux Mobiles et les Objets **Connectés-1**

Partie Rayonnement d'une antenne :

- Description des antennes élémentaires : dipôle de Hertz, antenne filaire et boucle.
- Définition des grandeurs caractéristiques : diagramme de rayonnement, Polarisation, Directivité, Gain, Efficacité, PIRE, bilan de liaison.
- TP (avec Matlab): Dipole et boucle rayonnantes.
- TP : Caractéristiques de diverses antennes (cornet, hélice, parabole, Yagi, patch)

Partie Rayonnement d'un réseau d'antennes :

Expression analytique du rayonnement d'un réseau linéaire et uniforme d'antennes (ULA). Introduction de la fonction réseau, directivité en azimut ou en élévation. Notion de tilt électrique du réseau. Impédance et Couplage mutuel. Illustration du Rayonnement d'un Réseau rectangulaire (URA).

TP (avec matlab) : Diagramme de rayonnement de l'antenne isolée dans l'espace puis diagramme 3D du réseau ULA. Réseau tilté (étude des conséquences d'un tilt élevé sur le diagramme de rayonnement). Diagramme de rayonnement individuel des antennes (effet d'extrémité). Couplage mutuel. Influence de la distance entre antennes sur les caractéristiques de rayonnement (grating lobes). Bilan de liaison (Friis)

TP (sur plateforme C2EM) : caractérisation de diagrammes de rayonnement en chambre anéchoïque d'antennes élémentaires, puis de réseaux d'antennes.

CN : Communications Numériques

1. Communication en bande de base
 - Filtres de mise en forme, transcodage
 - Densité spectrale
 - Probabilité d'erreur en canal gaussien
2. Communication en bande transposée
 - Modulations
 - Modulation de phase (M-PSK)
 - Modulation d'amplitude sur deux porteuses en quadrature (M-QAM)
 - Modulation de fréquence (M-FSK, MSK, GMSK)
 - Transmission sur canal à bande passante limitée
 - Critère de Nyquist, répartition optimale du filtrage entre l'émission et la réception
 - Performances des démodulateurs
 - Démodulateurs cohérents et non cohérents
 - Probabilité d'erreur sur les canaux de Gauss

TIC : Théorie de l'Information et du Codage

1. Codage source
 - a. Convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique
 - b. Caractéristiques de l'Information, lois de compression
2. Codage canal
 - a. Les codes en blocs
 - b. les codes convolutifs, application aux codes utilisés dans les standards des réseaux mobiles

SMC : Smartphone Multimedia Codecs

- Codeurs de la parole : Principe de la production de la parole humaine
- Techniques de codage différentielles et prédiction linéaire
- Codeurs image : Transformées de couleur et DCT
- Codeurs vidéo : Compensation de mouvement et algorithme d'identification de bloc

RM2G : Réseaux Mobiles 2G

1. Architecture et protocoles du GSM
 - Services GSM
 - Architecture du réseau GSM (MS, BSS, NSS, OSS)
 - Architecture de protocoles : Modèle de référence du GSM, signalisation sémaphore SS7, protocole des interfaces dans le BSS et NSS
 - Gestion du réseau: sécurité, itinérance, déroulement des appels
2. Interface radio du GSM
 - Partage de la ressource radio: Bandes de fréquences, techniques de duplexage, stratégie d'accès multiples, canaux physiques et canaux logiques
 - Procédures de gestion de la ressource radio: sélection de cellule, gestion des canaux dédiés, optimisation du lien radio, handover
 - Chaîne de transmission numérique: codage source, codage canal, construction de burst.
3. Travaux pratiques avec un logiciel de trace de type Nemo.

CCFM : Chaîne de Communications Fixe et Mobile

Partie Chaîne de Communication Mobile :

Cours/TD :

1. Les blocs constituant une chaîne de transmission micro-ondes
2. Influence du bruit dans les systèmes micro-ondes
3. Influence des non linéarités dans les systèmes
4. Faisceau Hertzien
5. Exposition aux ondes radio

Travaux pratiques

1. Caractérisation d'un amplificateur de puissance et caractérisation des non-linéarités
2. Mesures des éléments d'une transmission RF à l'analyseur de réseau vectoriel
3. Caractérisation d'une chaîne antennaire et exposition au champ rayonné

Partie Chaîne de Communication Fixe :

1. Les éléments constituant une chaîne de transmission optique
 - Câbles et lignes de transmission,
 - Atténuateurs, isolateurs
 - Emetteur et récepteur optique
 - Coupleurs, multiplexeurs et routeur
2. Sources de bruit dans les systèmes
 - Modélisation du bruit
 - Facteur de bruit et sensibilité des systèmes
3. Le réseau FTTx
 - Les normes
 - Les spécificités terrains
 - La colonne montante
 - Du NRO au client
 -

Travaux pratiques sur

- maquette FTTx: mesures et contrôles et diagnostics des réseaux FTTx, du NRO au client, la colonne montante
- les techniques de mesure optique (photométrie et réflectométrie), caractérisation de Mux demux, coupleurs, isolateurs optiques.
- modélisation de la chaîne de transmission optique

PRM2G : Planification des Réseaux Mobiles 2G

- Les modèles de propagation
- L'architecture cellulaire d'un réseau GSM et la qualité de service
- La planification de la capacité d'un système TDMA - FDMA
- Le bilan de liaison radio d'un système point à zone
- Les seuils d'ingénierie
- Travaux Pratiques de CAO sur logiciel Atoll :
 - Planification d'un réseau GSM en environnement rural et urbain

PE : Projet de l'Etudiant (libre de choix)

A choisir dans le catalogue des formations transversales proposées par l'Université sur ses 3 sites.

SEMESTRE 3 :

RM3G : Réseaux Mobiles 3G

Architecture et protocoles du GPRS

- Principe du GPRS: services, architecture, gestion de l'itinérance
- Interface radio du GPRS: canaux physiques, canaux logiques, gestion de flux de données.

Architecture et protocoles de l'UMTS

- Service UMTS, Architecture du réseau UMTS et modèle des protocoles
- Gestion de la sécurité, de l'itinérance et de la mobilité
- Gestion d'une connexion en mode paquet (activation d'un contexte PDP)
- Gestion de l'allocation des ressources radio

Interface radio de l'UMTS

- Partage de la ressource radio: duplexage FDD et TDD, accès multiple CDMA large bande, canaux physiques, canaux de transport
- Procédures de gestion de la ressource radio: sélection de cellule, contrôle de puissance, handovers, estimation du niveau d'interférences, contrôle d'admission
- Chaîne de transmission numérique: codes de scrambling, codage canal, ...

RM4G : Réseaux Mobiles 4G

1. Architecture et protocoles du LTE

- Services LTE
- Architecture du réseau LTE (UE, eNodeB, MME, ...)
- Signalisation de contrôle PHY-MAC, HARQ, NAS, ...
- Accès au réseau, gestion des appels, sécurité, mobilité en mode veille ou connecté

2. Interface radio du LTE

- Partage de la ressource radio: Bandes de fréquences, techniques de duplexage, stratégie d'accès multiples, canaux physiques et logiques
- Gestion d'allocation de la ressource radio

3. Dimensionnement, planification et déploiement d'un réseau d'accès LTE (LTE RAN)

- Bilan de liaison
- Capacité d'une cellule 4G

4. Travaux pratiques avec un logiciel de planification de type Atoll.

RTRC : Réseaux de Transport et Réseaux Cœur

Partie Architecture et planification des réseaux fibres optiques

Réseaux d'accès optiques haut débit

- Réseaux ATM Passive Optic Network (PON), broadband PON, gigabit PON
- Réseau Ethernet PON
- Réseau PON -WDM

Protocole de transmission SDH :

- Principes de la hiérarchie numérique synchrone,
- Topologie des réseaux SDH
- Alarmes et exemple de réseaux

Faisceaux Hertziens :

- Paramétrage des fréquences, puissances et polarisations
- Facteurs d'atténuation géo-climatiques des micro-ondes
- Définition de la fiabilité et des performances des FH

Partie Protocole internet IP

- Caractéristiques et Protocoles de routage,
- le modèle TCP/IP et le protocole UDP,
- la QoS et la sécurité dans les réseaux IP,
- les applications de voix sur IP et TV sur IP,
- l'architecture IMS et les Rich Communication Suites (RCS).

Partie Principes des réseaux de transport à haut débit

- Planification de réseaux optiques (WDM et FTTx)
- Architecture des réseaux FTTx
- Influence des dispersions et des non linéarités dans les réseaux optiques
- Analyse des différents types de dispersions et de non linéarités.
- Vers les liaisons multi-térabits
- L'agilité et sécurisation dans les réseaux optiques
- Bilans de liaisons dans les réseaux WDM et FTTx
- Travaux pratiques sur
- logiciels d'ingénierie de réseaux optiques: Calcul d'ingénierie dans les réseaux optiques, terrestres et sous-marins, Calcul d'ingénierie des réseaux FTTx sur zone géographique

CAT : Canal de transmission

Canal de propagation

- Propagation au voisinage de la terre et phénomènes de propagation
- Paramètres pertinents décrivant le canal de propagation en bande étroite et en large bande
- Modèles de canal (empirique, déterministe, stochastique)

Techniques de diversité

- Diversité spatiale
- Diversité fréquentielle
- Etalement de spectre. Illustration avec 3G
- Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). Illustration avec 4G

Etude de cas- synthèse: l'objectif est, pour un scénario de propagation donné, d'en déduire les caractéristiques des techniques de diversité les mieux adaptées permettant de répondre au mieux au cahier des charges d'un opérateur (bande passante et/ou débit, taux d'erreur, portée etc.).

SRD : Stratégies pour les Réseaux Denses (5G)

- Réseaux de capteurs et actionneurs
 - Capteurs et actionneurs intelligents
 - Technologies radio pour capteurs passifs (RFID)
- 5G massive MIMO
 - Contexte
 - Les paramètres du canal de propagation pour le Massive MIMO
 - Technique de transmission pour massive MIMO

TEC : Transports (véhicules) Et Cybersécurité

Partie I : Systèmes de communication embarqués

- Rappels sur les systèmes de communication
- Les systèmes embarqués dans les transports
- Les systèmes de communication embarqués dans le domaine automobile
- Spécificités des systèmes de communication dans le domaine ferroviaire et avionique

Partie II : Cybersécurité

- Généralités sur la sécurité pour les systèmes de communication sans fil (GSM-R, LoRa, LTE, WiFi, Eurobalise, TETRA)
- Les interférences électromagnétiques (EM) intentionnelles et les cyberattaques
- Une Etude détaillée d'une attaque sur du Wifi ou LTE ou LoRa

SVP : Séminaires et Valorisation des Projets

Partie Séminaires :

Séminaires proposé par des experts du domaine en matière de déploiement de réseaux mobile, ingénierie indoor, ingénierie et déploiement des réseaux fibre optique, information métier, ...

Partie Valorisation des projets :

Découverte des bases de la communication multicanal et de méthodes de communication permettant de transmettre des informations sur des projets techniques, d'innovation, de création d'activité, etc

PTBE : Projet Technique Bureau d'Etudes

Projet des étudiants NON alternants :

Activités du bureau d'études :

- Choix ou Réalisation et test des antennes
- Choix ou Réalisation et assemblage des supports d'antennes
- Programmation des nœuds radiofréquences constituant le réseau
- Programmation du mobile
- Caractérisation de la couverture radioélectrique du réseau

Projet des étudiants alternants :

Activités du bureau d'études :

- Etude de la technologie spécifique de transmission
- Choix des équipements
- Choix du modèle de propagation
- Etude marketing des besoins
- Chiffrage de la solution
- Bilan de liaison

SEMESTRE 4 :

MEE : Management Et Entrepreneuriat

Partie Marketing :

Connaissances globales du marché des télécoms et de l'IoT

Partie Entrepreneuriat, communication :

Connaissances globales des problématiques de création d'entreprise (aspects marketing, vente, gestion comptable, financiers, ressources humaines, réglementation, droit des affaires, ...)

Connaissances des techniques de communication écrites, orale et web avec gestion des réseaux sociaux

Remarque : les étudiants alternants ne participent pas au projet. Ils suivent les cours magistraux.

CR4G : Conception d'un Réseau 4G

Grâce au logiciel Atoll de la société Forsk, les étudiants pourront :

- Planifier un réseau 4G dans une grande ville
- Choisir le matériel adapté
- Réaliser des simulations en termes de niveaux de champs, de signal/bruit, de capacité, de qualité de service
- Améliorer le réseau en fonction des simulations réalisées
- Etablir des liaisons FH ou en fibre optique entre les différentes stations bases
- Utilisation d'une base de données et d'un tableur pour analyser les résultats et les présenter

Anglais

La première partie concerne un travail en laboratoire de langue. L'étudiant s'entraîne à la compréhension orale de documents audio ou vidéo. Des documents récents lui permettent d'être au courant des dernières innovations du domaine de la haute technologie, des ressources humaines ou du management.

La deuxième partie du cours est consacrée au commentaire du document présenté en laboratoire. Ceci permet à l'étudiant de parfaire sa production orale. Des revues de presse hebdomadaires sont également présentées.

Parallèlement à ces travaux, une préparation au TOEIC est organisée régulièrement.