

## Résumé du PROGRAMME DE FORMATION

Master Réseaux et Télécommunications, parcours Syscom, 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année

### CONTENU

<p><b>SEMESTRE 1 : Tronc commun</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ TNS : Traitement Numérique du Signal</li> <li>■ SPG : Supports de Propagation Guidée</li> <li>■ AOCRC : Architecture d'un Objet Communicant et Réseaux de Communication</li> <li>■ PPP : Projet Technique ou Gestion de Projets IoT (choix contraint)</li> <li>■ ANGLAIS : Anglais</li> </ul>	<p><b>SEMESTRE 2 : Parcours SYSCOM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AROC-1: Antennes pour les Réseaux Mobiles et les Objets Connectés - 1</li> <li>■ ISE-1 : Ingénierie des Systèmes Electroniques - 1</li> <li>■ SNC-1 : Systèmes Numériques de Communication - 1</li> <li>■ FPRF : Fonctions Passives RF/HyperFréquences</li> <li>■ CN : Communications Numériques</li> <li>■ CCEC : Conception de Circuits sous Environnement CADENCE</li> <li>■ BGSCC : Bruit et Génération de Signal dans les Composants et Circuits</li> <li>■ PPP : Projet Professionnel et Personnel de l'étudiant (choix libre)</li> </ul>
<p><b>SEMESTRE 3 : Parcours SYSCOM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AROC-2 : Antennes pour les Réseaux Mobiles et les Objets Connectés - 2</li> <li>■ ISE-2 : Ingénierie des Systèmes Electroniques - 2</li> <li>■ SNC-2 : Systèmes Numériques de Communication - 2</li> <li>■ FARF : Fonctions Actives RF/HyperFréquences</li> <li>■ TCCDRF : Techniques de Caractérisation des Composants et Dispositifs RF/Hyperfréquences</li> <li>■ TCCD : Technologies de Communications à Courtes Distances</li> <li>■ CM : Composants pour la Microélectronique</li> </ul>	<p><b>SEMESTRE 4 : Parcours SYSCOM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ MEE : Management Et Entrepreneuriat</li> <li>■ PFE : Projet de Fin d'Etude</li> <li>■ ANGLAIS : Anglais</li> <li>■ SE : Stage en Entreprise ou Laboratoire</li> </ul>

## SEMESTRE 1 :

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

#### Partie 1 : Architecture d'un Objet Communicant : chaîne Emission/réception – 6h cours /2h TD

- 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 – 6h de cours/13h TD

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)

Côté Emetteur, l'accent sera mis sur l'élément clé « Amplificateur de Puissance » (AP). Un rappel succinct du fonctionnement des transistors utilisés pour des AP sera effectué et les différentes classes de fonctionnement énoncées. Les montages fondamentaux en Classe A, B et D seront à la suite étudiés.

Côté Récepteur, l'accent sera mis sur les mélangeurs. Après avoir expliqué leur rôle et fonctionnement générique, des exemples de mélangeurs basés sur des multiplieurs ou exploitant la non-linéarité d'un transistor seront développés. Un exemple de démodulateur (détecteur d'enveloppe faible consommation pour démodulation OOK), sera également enseigné.

## 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, réflexion, 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 actives : 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

## ISE-1 : Ingénierie des systèmes électroniques

### Partie I : TP exploratoire – Mise en situation (TP)

### Partie II : Ingénierie des systèmes (cours)

1. CEM et sûreté de fonctionnement
2. Principes et règles d'ingénierie électronique analogique et numérique
3. Gestion de l'énergie

### Partie III. Réalisation d'un sous-système (TP)

- a. Cahier des charges
- b. choix des composants, Routage, réalisation
- c. Mesures et tests de caractéristiques et performances
- d. Rédaction d'une documentation technique

## SNC-1 : Systèmes Numériques de Communication-1

- Fonctionnalités avancées de VHDL
- Composants à réseaux logiques programmables
- Étude, implantation au sein d'un FPGA et test de circuits : émetteur et récepteur d'une liaison numérique en bande de base

## FPRF : Fonctions Passives RF/Hyperfréquences

- Paramètres S et matrice de Répartition des multipôles passifs, plans de référence
- Relations entre les paramètres S,Z,Y,C
- Dispositifs passifs réciproques et non réciproques
- Diviseurs de puissance
- Circuits résonnants
- Transformation d'impédance et filtrage
- CAO pour la conception et l'optimisation de dispositifs passifs

## CCEC : Conception de circuits sous environnement CADENCE

- Notions sur la technologie et la conception de circuits intégrés CMOS (analogiques et numériques)
- Présentation des outils de la plate-forme CADENCE
- Design kit et étapes (flot) de conception d'un circuit (du schéma au layout)
- Travaux pratiques sous environnement CADENCE: familiarisation avec les outils, apprentissage des
- étapes de développement d'un circuit spécialisé, mise en œuvre physique d'un oscillateur en anneau
- (DRC, LVS, extraction de parasites) et caractérisation complète (corners, variations PVT, optimisations)

## BGSCC : Bruit et Génération de signal dans les composants et circuits

- Bruit: (i) bruit dans les systèmes (sensibilité), (ii) théorie du bruit dans les dipôles et quadripôles, (iii) exemple conception LNA.
- Génération de signal: (i) principe, (ii) architectures fondamentales oscillateurs sinusoïdaux et VCO, (iii) oscillateur à quartz, (iv) principe synthèse de fréquence.

## PE : Projet de l'Étudiant (libre de choix)

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



## SEMESTRE 3 :

### TCCD : Technologies de Communications à Courte Distance

- Couplage magnétique de transpondeur en HF
- Communication par propagation UHF avec un transpondeur
- La modulation de charge
- Bilan de liaison
- Généralités et applications des systèmes à courte portée
- Normes et réglementation
- Algorithmes anti-collisions
- Confidentialité et sécurisation des données d'un système de communication sans fil
- Utilisation d'outils de simulation électromagnétique (type CST ou HFSS), de réalisation (imprimante à jet d'encre, gravure, sérigraphie, ...) et de caractérisation (VNA, ...).

### FARF : Fonctions Actives RF/HyperFréquences

Conception d'amplificateurs RF d'émission et de réception ( démarche, stabilité, circuits de polarisation )  
Amplification faible bruit  
Amplificateurs de puissance  
Conception d'oscillateurs, conversion de fréquences, mélangeurs  
Règles de conceptions, méthodologie de conception des fonctions analogiques RF/Hyperfréquences  
Utilisation de la plate-forme ADS

### CM : Composants pour la Microélectronique

- Rappel succinct des lois usuelles de la physique des semiconducteurs et présentation des matériaux semiconducteurs les plus utilisés (Si, III-V, GaN...)
- Les principales caractéristiques et l'état de l'art des composants actifs haute fréquence (MOSFET, HEMT, HBT) sont présentées ainsi que quelques exemples de circuits utilisant ces composants (LNA, Power Amplifier). Les diodes RF seront aussi abordées (PIN, Schottky, Impatt, Tunnel).
- Afin d'illustrer ces parties, des travaux pratiques seront effectués :
  - Simulation Silvaco-Atlas d'une diode Schottky et d'un HEMT
  - Caractérisations hyperfréquences sous pointe d'un HEMT et extraction du schéma équivalent petit signal
  - Extraction sous Keysight-ADS des 4 paramètres de bruit d'un HEMT à partir du NF50
- Pour terminer, les principaux composants semiconducteurs de l'optoélectronique seront présentés (LED, LASER, photodiode).

## AROC-2 : Antennes pour Réseaux et Objets Communicants

- Comprendre et connaître le fonctionnement d'antennes particulières en utilisant le logiciel CST Microwave Studio. Au travers de la simulation de quelques structures d'antennes particulières les points suivants seront abordés :
  - champ proche et champ lointain
  - les techniques d'excitation ( lignes , couplage par proximité ou fente, balun, adaptation,...)
  - antennes multi-bandes ou large-bande.
  - les techniques de miniaturisation ( choix des matériaux, quart-d'onde, PIFA, résonateur diélectrique, encoche et méandre, antennes chargées par des composants passifs, ...)
- antennes à grand gain ( Parabole, Structure BIE, ...)
- antennes actives ( pour grand gain ou agilité en fréquence )

## TCCDRF : Techniques de Caractérisation des Composants et Dispositifs RF/Hyperfréquences

- Métrologie en RF/Hyperfréquences, mesure de puissance, analyseur de spectres, analyseur de réseau scalaire et vectoriel, techniques de calibrage, mesure du facteur de bruit.
- Caractérisation de dispositifs usuels : filtres, coupleurs, amplificateurs, oscillateurs, mélangeurs...
- Mesure des paramètres S à partir d'une station sous pointes et extraction de grandeurs physiques de composants. Méthodes d'exploitation des mesures.
- Techniques de mesures pour la CEM, chambres anéchoïque et réverbérante.

## ISE-2 : Ingénierie des Systèmes Electroniques - 2

L'accent est mis sur la conception et la fabrication des circuits RF/Hyperfréquences. L'objectif est d'appréhender les problématiques liées au développement des circuits au travers de modélisations à partir de l'utilisation de logiciels de CAO professionnels et de réalisations pratiques qui seront ensuite caractérisées.

Dans cet enseignement, seront abordés les thèmes suivants :

- les topologies de circuits RF/Hyperfréquences sur substrat diélectriques ( lignes, coudes, Tés,...fonctions passives,...) et les règles de design.
- les caractéristiques des substrats utilisés en HF/Hyperfréquences ( mono et multicouches )
- les techniques de gravure ou de dépôt métalliques sur substrats rigides et souples
- l'examen des différentes connectiques et leur implémentation sur un circuit
- les couplages de proximité entre lignes ou composants, la réalisation des via holes ( mise à la masse, suppression de modes sur les lignes )
- les effets liés à la mise en boîtier
- savoir interpréter et réaliser une documentation technique

## SNC-2 : Systèmes Numériques de Communication - 2

- Étude, implantation au sein d'un FPGA et test de circuits : émetteur et récepteur d'une liaison numérique en bande transposée, synthèse des signaux à contrôle numérique.
- Interface FPGA/Arduino, capteurs, acquisition et traitement de l'information.

## SEMESTRE 4 :

### PFE : Projet de Fin d'Etude

Projet de conception, réalisation et caractérisation d'un système de communication hyperfréquences.

### 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.

### 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.