

## [Formation] Systèmes de communication sans fils – Chaîne de transmission

### OBJECTIFS

A l'issue de la formation, les stagiaires seront capables de :

- Expliquer des connaissances théoriques sur les mécanismes de propagation des ondes radio, le rôle des dispositifs, les différents types de démodulation et leurs caractéristiques
- Expliquer les mécanismes de propagation des ondes radio et les modèles associés
- Étudier un bilan de liaison
- Identifier le rôle des dispositifs d'une chaîne de communication numérique
- Caractériser les types de modulation
- Établir la relation entre débit et bande occupée
- Expliquer l'intérêt des modulations multi-porteuses (OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)
- Différencier les structures d'égalisation
- Expliquer les rôles des dispositifs analogiques et des impacts de leurs caractéristiques et spécifications sur les performances d'une chaîne de communication numérique

### PROGRAMME

#### Introduction

#### Propagation des ondes radio

- Propagation des ondes radio, modèles et bilan de liaison
- Principes de modélisation
- Ondes électromagnétiques (EM)
- Antennes et rayonnement
- Propagation des ondes électromagnétiques
- Trajets multiples, variabilité, canal multi- antennes (MIMO – Multiple-Input, Multiple Output)
- Exemple de modélisation
- Modèles d'affaiblissement
- Modèles déterministes type lancé/tracé des rayons
- Modèles statistiques large bande
- Notion de dimensionnement

### DATES ET LIEUX

Du 23/06/2025 au 26/06/2025 à Paris

### PUBLIC / PREREQUIS

Tout personnel (technicien, ingénieur) ayant à acquérir des connaissances approfondies dans un domaine technique des télécommunications et/ou des réseaux. Cadres techniques, techniciens, ingénieurs, souhaitant mieux comprendre les problématiques liées à la propagation des ondes radioélectriques.

Connaissances sur la propagation des ondes, traitement du signal. Des connaissances en filtrage (analogique et numérique), probabilités (variable aléatoire discrète et continue, densité de probabilité, espérance mathématique, variance, etc.), traitement du signal déterministe et aléatoire (Transformée de Fourier, autocorrélation, densité spectrale de puissance, Transformée en Z, Parseval, Inégalité de Schwartz, etc.), théorie des circuits, sont nécessaires pour tirer le meilleur profit de cette formation.

### COORDINATEURS

#### Daniel BOURREAU

Ancien enseignant-chercheur au département Micro-Ondes d'IMT Atlantique. Ses domaines d'activité sont les suivants : systèmes (RF, hyperfréquences, millimétriques et optoélectroniques), dispositifs et circuits micro-ondes (amplificateur, mélangeur, oscillateur et synthétiseur de fréquence), électromagnétisme,

- Techniques de mesures du canal radio
- Mesures bande étroite et large bande
- Caractérisation spatio-temporelle

## Le principe de modulation/démodulation

- Modulation/Démodulation
  - Présentation des modulations mono porteuse (M-PSK/M-QAM/MFSK/GMSK)
  - Filtrage adapté et critère de Nyquist
  - Démodulation cohérente
  - Égalisation (Zéro forcing/MMSE/Aveugle)
  - Principe et inconvénients de l'OFDM :
- PAPR/Synchro
- Ouverture sur les MIMO

## Revue des composants et des architectures radios

- Paramètres S, adaptation et abaque de Smith
- Amplificateurs faible bruit
- Définition et principe de conception, quelques relations
- Bilan de liaison (C/N et C/(N+I))
- Amplificateurs de puissance
- Technologies, classes de polarisation (A, AB, C) et de fonctionnement (F)
- Combinaison de puissance
- Distorsions, rendement, compression et intermodulation
- Architecture de la charge utile d'un satellite
- Spécification C/I d'un récepteur GSM
- Dimensionnement d'un amplificateur
- Signaux sinusoïdaux, modulés ... WiFi (OFDM)
- PEP, PAPR, CCDF, back-off
- Mélangeurs de fréquences
- Architecture du GSM (FDD/FDMA/TDD/TDMA)
- Repliement de spectre, choix de la FI
- Allocation de fréquences
- Modulateur IQ-BLU, bruit DSB/SSB, inversion du spectre ou pas
- Oscillateurs
- Précision, stabilité, bruit
- VCO, Quartz, PLL (bruit et temps d'acquisition)
- Incidence du bruit de phase sur le NF d'un mélangeur et sur le TEB
- Contrôle automatique de gain
- ADC/DAC (quantification, SFDR)

## Avantages et limitations de chaque architecture

- Architectures Tx et Rx
- Dimensionnement signal et bruits
- Architecture avec FI et en '0' FI (avantages & inconvénients)
- Exemple de réalisation d'un système MIMO

bancs de test et techniques de mesure.

## MODALITES PEDAGOGIQUES

Des exemples illustrent les concepts théoriques.

Un accès aux moyens techniques utilisés dans les laboratoires de recherche universitaires de Télécom Paris est proposé aux stagiaires de la formation.

## Synthèse et conclusion

Appelez le 01 75 31 95 90  
International : +33 (0)1 75 31 95 90

[contact.exed@telecom-paris.fr](mailto:contact.exed@telecom-paris.fr) / [executive-education.telecom-paris.fr](http://executive-education.telecom-paris.fr)