

## Objectifs :

*A l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de maîtriser les principes d'une transmission radioélectrique et les diverses causes de brouillage ou de désensibilisation. Il saura protéger un système radio (filtrage, isolation, multiplexage, protection foudre).*

## Le but de cette formation est de :

- Appréhender les principes de base d'une transmission radioélectrique
- Comprendre les principaux modèles de propagation, du fading et du niveau de bruit radioélectrique en pied d'antenne
- Savoir effectuer des mesures radiofréquences (bruits radioélectriques, harmoniques, produits d'intermodulation active ou passive...)
- Savoir appliquer la méthode d'analyse et d'évaluation chiffrée d'une liaison radio
- Être capable de trouver des solutions pratiques à différents problèmes : blocage, désensibilisation, RNE, intermodulations, protection foudre...

## À SAVOIR

### Public

- Ingénieurs et techniciens de conception ou de maintenance en radiocommunication
- Ingénieurs et techniciens d'installation de systèmes ou de mesures radio sur site
- Personnel de planification ou de maintenance de sites ou services radioélectriques

### Prérequis

- Niveau de base en physique de tout technicien supérieur
- Niveau de base en mathématique de tout technicien supérieur
- Une connaissance du vocabulaire radioélectrique est souhaitable

### Méthodes pédagogiques

- Vérification des prérequis
- Action de formation :
  - Support de cours
  - Exercices pratiques
  - Démonstrations pratiques si possible
- Évaluation des acquis :
  - QCM en fin de session

### Modalités pédagogiques

- Formation d'adaptation et de développement des compétences dispensée en présentiel
- Programme adaptable en durée et contenu en intra entreprise
- Attestation de fin de formation

### Intervenant

- Formateur et consultant terrain de plus de 10 ans d'expérience

### Informations pratiques

- Durée : 4 jours soit 28 h
- Paris, du 16 au 19 novembre 2021

### Tarif

1 970 € HT

## PROGRAMME

### 1 – INTRODUCTION

- Aspects de CEM impliquant la radio
- Spectre et liaisons radioélectriques
- Modulations AM, FM, M ou OFDM
- Principales modulations numériques
- Codage et multiplex FDMA, TDMA, CDMA
- Rappels sur les décibels et conversions
- Perturbations bande étroite/bande large

### 2 – BASES DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME

- Qu'est-ce qu'un champ et une onde ?
- Impédance des champs selon la distance
- Réciprocité d'une liaison radioélectrique
- Antenne isotrope de référence
- Directivité, gain, facteur d'antenne
- Aire équivalente / plan d'onde
- Diagramme de rayonnement
- Zones de Fresnel et de Fraunhofer
- Impédance et facteur de réflexion
- Équations et formules de conversion

### 3 – NOTION DE PROPAGATION

- Propagation théorique en espace libre
- Modèles de propagation / Okumura Hata
- Effets de l'atmosphère / ionosphère
- Onde de sol / effets des précipitations
- Réception radio en déplacement
- Réflexions locales et fading
- Distribution de Nakagami et Rice
- Radio Mobile – Planification de réseau
- Niveau reçu par les mobiles

### 4 – BRUITS

- Facteur de bruit en réception
- Principales sources de parasites
- Capacité du canal selon le SNR radio
- Fréquences ISM / Bandes de plein droit
- Distribution de probabilité d'amplitude
- Taux d'erreurs binaires (BER / BEP)
- Valeur moyenne de bruit reçu
- Puissance d'émission nécessaire
- Calcul du champ minimal protégeable

### 5 – OUTILS ET DIFFICULTÉS DE MESURES

- Représentation d'un signal
- Principe d'un analyseur de spectre
- Filtre FI (RBW) et facteur de forme
- Confusion entre les RBW
- Lissage (« smoothing ») sur site
- Détecteurs CISPR
- Choix du mode de détection pour analyse
- Choix des RBW et VBW en radio
- Valeurs crête et moyenne
- Analyse spectrale temps réel par FFT
- Points d'interception PI2 et PI3
- Mesure pratique d'IP2 et IP3
- Bruit d'une chaîne de réception
- Bruit de phase

- Pertes des câbles coaxiaux
- Impédance de transfert des câbles
- Choix d'un connecteur coaxial
- Erreur due au ROS / « Return Loss »
- Incertitudes des mesures en radio
- Exemples d'analyses de spectres
- Démodulation en « Span Zero »

### 6 – ÉMETTEURS – RÉCEPTEURS

- Principe d'un émetteur et modulateur
- Boucle à verrouillage de phase (PLL)
- Rayonnements non essentiels (RNE)
- Spectre d'un émetteur radio
- Facteur de conversion d'un émetteur
- Principe d'un récepteur radio
- Sélectivité / rapports de protection
- SINAD et BER avec codage
- Mesure du blocage (« blocking »)
- Principaux services radio
- Rapport de protection / blindage
- Ordres de grandeur d'atténuations

### 7 - ANALYSE DES BROUILLAGES

- Les 5 types de brouillages radio
- Paramètres de partage entre services
- Compatibilité radio à l'émission
- Brouillage co-canal ou canal adjacent
- Blocage du récepteur
- Intermodulation en réception
- Intermodulation à l'émission
- Intermodulation par structures / aériens
- Intermodulation passive (PIM)
- Calcul de compatibilité entre services

### 8 - MAÎTRISE DES SITES

- Optimisation du système d'émission
- Techniques de multiplexage
- Coupleurs directs et hybrides
- Duplexeurs, filtres à cavités
- Multiplexeur à point commun
- Circulateur, isolateur et réglages
- Découplage entre antennes
- Maîtrise pratique des sites

### 9 – PROTECTION Foudre

- Élévation de potentiel du sol
- Rayonnement d'un choc de foudre
- Pénétration et protection des feeders
- Dispositifs de protection radio
- Montage des parafoudres télécom

### 10 - NORMALISATION ET RÉGLEMENTATION

- Normes et documents de l'ETSI
- Directive RED 2014/53/UE
- Exigences essentielles et marquage
- Évaluation / déclaration de conformité
- Hiérarchie des normes européennes
- Mesures normalisées en radio
- Acronymes et bibliographie en radio