

# 30 Contrôles des chaînes de mesures CEM & incertitudes

## Objectifs :

A l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de proposer, de réaliser, et contrôler des chaînes de mesure pour essais de validation et d'investigation CEM en maîtrisant tous les maillons dont les antennes, amplificateurs, sites de mesures, réglages des appareils conformément aux normes ou à des demandes particulières.

## Le but de cette formation est de :

- Savoir mesurer / vérifier les caractéristiques des antennes utilisées en CEM
- Savoir mesurer/ vérifier les caractéristiques des transducteurs utilisés en CEM
- Savoir identifier et résoudre les difficultés en fréquentiel et en temporel, effets du bruit, des non-linéarités et tous les sources d'erreur déterminant les incertitudes de mesure
- Concevoir des protocoles de validation de chaînes de mesure et de logiciels de mesure en CEM
- Maîtriser l'évaluation des incertitudes de mesures des essais de CEM pour rédiger les documents exigés par les normes

## À SAVOIR

### Public

- Ingénieurs et techniciens de laboratoire impliqués dans la mise en place et la maintenance de chaînes de mesure en CEM.
- Ingénieurs et techniciens impliqués dans le développement de logiciel de mesures et essais CEM.
- Responsables de laboratoires d'essais.

### Prérequis

- Les stagiaires sont supposés avoir une expérience de mesures de CEM en laboratoire ou avoir suivi le module « Mesures CEM civiles » ou « Mesures CEM Aéronautiques et Militaires »

### 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 : 3 jours soit 21 h
- Paris, du 12 au 14 octobre 2021

### Tarif

1 490 € HT

## PROGRAMME

### 1 – RAPPELS DES PARAMÈTRES DES CHAINES DE MESURE

- Références documentaires : Normes CISPR 16 XXX
- Analyseurs de spectre : Facteur de bruit, dynamique, détecteurs, filtres RBW ...
- Récepteur de mesure : Facteur de bruit, dynamique, détecteurs, filtres RBW
- Préamplificateurs : Bande, Facteur de bruit, Température de bruit, non-linéarités
- Paramètres d'adaptation : ROS, RL, S11, S22
- Paramètres de transmission : Gain / pertes, S21, S12
- Rappels sur les non-linéarités en RF & CEM Harmoniques, intermodulations
- Antennes : Gain, facteur d'antenne, impédance, diagramme de rayonnement ...
- Câbles : Affaiblissement, impédance, Impédance de transfert
- Synthétiseurs de signaux : Fréquence, niveau, bruit de phase, modulation,
- Amplificateurs de puissance : Bande, distorsion harmonique, intermodulations.
- Cage de Faraday : Affaiblissement normalisé de site, efficacité de blindage
- Site de mesure espace libre : Affaiblissement normalisé de site

### 2 – APPAREILS DE VÉRIFICATION DES CHAINES DE MESURE

- Étalons de fréquence
- Atténuateurs étalons / charges coaxiales
- Générateurs de signaux synthétisés
- Analyseurs de spectre
- Récepteurs de mesure
- Générateur de poursuite des analyseurs de spectre
- Analyseurs de réseau ou vectoriels
- Wattmètres à diodes, bolomètres.
- Sites de mesure en espace libre.
- Antennes dipôle accordables
- Calibrateurs de champ
- Sources pour inter-comparaisons de laboratoires

### 3 – PROCÉDURES DE VÉRIFICATION DES CHAINES DE MESURE

- Références documentaires ; normalisation
- Validation de logiciels de mesures et essais CEM
- Vérification des capteurs de perturbations conduites
- Vérification des R.S.I.L
- Vérification des réseaux de couplage/ découplage
- Vérification des sondes de courant
- Calcul d'un capteur de courant à tore coupé
- Vérification des sondes de tension
- Distinguo : Fonction de transfert et perte d'insertion
- Vérification des filtres et réseaux de découplage
- Vérification des coupleurs directifs
- Vérification des préamplificateurs
- Points d'interception du 2ème ordre et 3ème ordre
- Amplitudes des produits de distorsion
- Produits d'intermodulation du 3ème ordre
- Mesure pratique des PI2 et PI3
- Méthode des 2 tons
- Calcul des produits d'intermodulation d'ordre 3
- Vérification des amplificateurs large bande de puissance
- Vérification des câbles et connecteurs
- Vérification / étalonnage des antennes
- Vérification de l'affaiblissement normalisé des sites de mesures
- Vérification des cages de Faraday
- Vérification des cages de Faraday à brassage de modes

- Mesure d'effet réducteur de câble ; impédance de transfert, efficacité de blindage

### 4 – INCERTITUDES DE MESURES

- Rappels de terminologie
- Guide pour l'expression de l'incertitude GUM
- Rappels de statistiques et probabilités
- Analyse des sources d'incertitude en CEM
- Incertitudes liées au ROS
- Erreur maximale de mesure
- ROS et facteur de réflexion (RL)
- Perte de puissance par ROS / RL
- Incertitudes d'un étalonnage
- Loi de propagation de l'incertitude
- Incertitude type/composée/élargie
- Evaluation d'incertitudes de mesure en perturbations conduites
- Evaluation d'incertitudes de mesure en perturbations rayonnées
- Evaluation d'incertitudes de mesure en immunité rayonnée
- Evaluation d'incertitudes de mesure en immunité rayonnée
- Essais d'inter-comparaison entre laboratoires
- Critères de jugement : les 4 cas

### 5 – ACCESSOIRES, MONTAGES D'AIDE, ASTUCES

- Logiciels gratuits pour adaptation d'impédance
- Logiciels gratuits pour du filtrage
- Utilisation de Ltspace : Conversion MC / Mdiff
- Problèmes de mesure au RSIL
- Séparateur monophasé MC / MD
- Mesure d'un bruit de masse
- Mesure pratique de l'impédance d'une ligne
- Choix des connecteurs coaxiaux
- Construire une sonde de courant à tore coupé
- Construire des coupleurs directifs
- Construire des sondes très large bande 1/10
- Construire des boîtiers écrêteurs de surtensions
- Construire une antenne en champ E active
- Construire un atténuateur de puissance
- Impédance de transfert / mesure
- Mesure de dissymétrie de paire
- Coupleur directif / Vérification
- Analyseur vectoriel (de réseau)
- Perte d'insertion / Paramètres S
- Amélioration du ROS par atténuateur
- Mesure d'atténuation de blindage avec récepteur radio sur clef USB
- Mesure d'atténuation de blindage avec générateur d'harmoniques
- Mesure d'atténuation de blindage avec Smartphone
- Vérification rapide de modulations avec l'outil AdalmPluto
- Autres réseaux de couplage CEI
- RSIL 5µH aéronautique
- Applications sur smartphones pour les RF & CEM

### 6 – PRÉCAUTIONS POUR L'EXPOSITION HUMAINE

- Exposition humaine aux courants induits BF
- Exposition humaine au champ électrique BF
- Exposition à l'induction magnétique BF
- Résumé des niveaux déclenchant l'action
- Effet biologique d'une impulsion brève

### 7 – CONCLUSIONS

- Récapitulatif des sites Web intéressants
- Récapitulatif des logiciels utiles
- Bibliographie