



## Annexe : Programme de la formation

Public visé : Concepteurs, testeurs ou donneurs d'ordres de produits électroniques communicants

Prérequis : Connaissances générales en électronique et/ou protocoles de communication

Effectif : 10 participants maximum

Lieu : Laboratoire d'ALCIOM

## Journée 1 :

9h-9h15 : Accueil

9h15-9h35 : **Propagation radio-fréquence**

Rappels de la notion de dB, bilan de liaison, formule de Friis, influence de la fréquence, pertes indoor, pertes par trajets multiples, pertes de polarisation

9h35-10h05 : **Liaisons RF et réglementation**

Bandes « libres » et réglementation européenne, Marquage CE (directives vs normes), gestion des risques sanitaires liés aux liaisons RF, grandes lignes des normes RTTE classiques (EN300220, EN300328, EN300440)

10h05-10h20 : **L'analyseur de spectre**

Principe, familles, principaux réglages, mise en œuvre, applications

10h20-10h30 : Pause

10h30-11h10 (travaux pratiques en 2 groupes) :

**TP1 : Sensibilisation à la propagation RF**

Expérimentation du phénomène de perte par trajets multiples à 2,4GHz

**TP2 : Mise en œuvre d'un analyseur de spectre hyperfréquence**

Analyse du spectre ambiant

11h10-11h30 : **Paramètres RF et sensibilité d'un récepteur**

P1dB, linéarité, IP3, facteur de bruit, analyse en cascade, notion d'Eb/NO, sensibilité, influence du débit.

11h30-12h30 (travaux pratiques en 2 groupes) :

**TP3 : caractérisation d'un amplificateur bas bruit**

**TP4 : Simulation système : exemple sous AWR VSS**

12h30-13h30 : Déjeuner

13h30-14h10 : **Modulations**

Principe d'une modulation, modulations simples (FSK/ASK/PSK), notion d'orthogonalité, démodulateurs incohérents/cohérents, largeur de modulation, filtrage bande de base (Nyquist, gaussien, raised cosine)

14h10-14h30 : **Techniques niveau liaison de donnée**

Rappels sur les protocoles de communication, couches OSI, préambules et synchronisation, détection d'erreur, accès au canal, retransmissions, gestion des collisions

14h30-15h30 (travaux pratiques en 2 groupes) :

**TP5 : Tests de pré-qualification CE d'un émetteur en conduit**

Puissance dans le canal adjacent, harmoniques, influence de la modulation

**TP6 : Mise en œuvre d'un analyseur de spectre vectoriel avancé**

Démodulation numérique, analyse d'un entête niveau 1

15h30-15h40 : pause

**15h40-15h55 : Quelle solution technologique pour quelle application ?**

Chaînes RF discrètes, transceivers intégrés, modules bas niveau, modules avancés, conseils de choix

**15h55-16h40 : Techniques d'amélioration du bilan de liaison**

Diversité d'espace, diversité de polarisation, diversité de fréquence, bande étroite, étalement de spectre (DSSS), notions d'OFDM, notion de codes correcteurs d'erreurs (hamming, bloc code, codes convolutifs), notion de soft-decoding et algorithme de Viterbi

**16h40-17h : questions/réponses**

17h : Fin de la journée

## Journée 2 :

**9h30-9h45 : Chiffrement et authentification**

Quelques bases

**9h45-10h20 : Protocoles standardisés**

Panorama de leurs caractéristiques techniques principales : Bluetooth, BLE, wifi, zigbee, RF4CE, wireless Mbus, 6lowpan, etc

10h20-10h30 : pause

10h30-11h30 (travaux pratiques en 2 groupes) :

**TP7 : Mise en œuvre d'un kit d'évaluation 868MHz**

Etude de l'influence des paramètres

**TP8 : Mise en œuvre d'un module Bluetooth**

Configuration via commandes AT, analyse des séquences de saut de fréquence à l'aide d'un analyseur de spectre temps réel

**11h30-12h15 : Adaptation d'impédance**

Exemple en DC et en AC, réseau d'adaptation, lignes de transmission, ondes stationnaires, notion de paramètres S

**12h15-12h30 : L'analyseur de réseaux vectoriel**

Principe, applications, calibration, exemples d'équipements

12h30-13h30 : Déjeuner

13h30-14h10 (travaux pratiques en 2 groupes) :

**TP9 : Adaptation d'impédance AC**

Expérimentation en basse fréquence

**TP10 : Mise en œuvre d'un analyseur de réseau vectoriel**

Calibration, analyse d'un filtre

**14h10-14h50 : La conception de circuits imprimés RF**

Microstrip, stripline, outils de calcul, bonnes pratiques, substrats, exemples de routage, notions de composants imprimés, précautions industrielles

14h50-15h : Pause

### 15h-15h50 : **Les antennes embarquées**

Généralités sur les antennes, caractéristiques, types d'antennes classiques, antennes imprimées et céramiques, notions d'antennes compactes et d'antennes multibandes, Outils de conception et de simulation

15h50-16h20 (Démonstrations de logiciels en 2 groupes) :

**DEMO1 : Simulation d'antenne filaire (AN-SOF)**

**DEMO2 : Simulation d'antenne imprimée (SONNET)**

16h20-17h : questions/réponses

17h : Fin de la journée

## Journée 3 :

### 9h30-9h50 : **Optimisation et mesure des antennes**

Adaptation d'impédance, influence de l'environnement, packaging, liaisons externes, mesure de performance

9h45-12h00 (travaux pratiques en 2 groupes, 10 minutes de pause) :

**TP11 : Adaptation d'impédance d'une antenne imprimée**

Mesure d'impédance, calcul et implantation d'un réseau correcteur, vérification de l'impédance finale, étude expérimentale de l'influence d'un boîtier sur les performances

**TP 12: Mesure de champ rayonné d'un émetteur en chambre anéchoïde**

Mesure de la puissance rayonnée, spurious, mesure du diagramme de rayonnement

12h : Fin de la journée