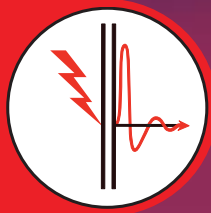




**AEMC**  
CONSEIL - FORMATION  
www.aemc.fr



## PROGRAMME DES STAGES 2015

# COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

FORMATION - ASSISTANCE  
INGÉNIERIE - MESURE

### **AEMC**

Immeuble "Le Saint Georges"  
86, rue de la Liberté  
38180 Seyssins  
Tél. 04 76 49 76 76  
Fax 04 76 21 23 90  
www.aemc.fr  
e-mail : mail@aemc.fr

Antenne **AEMC-Paris**  
10, rue de Vouillé  
75015 PARIS  
Tél. 01 48 56 62 57

### **AEMC Lab**

LABORATOIRE DE MESURES ET D'ESSAIS  
en Compatibilité Electromagnétique Radio  
et Sécurité Electrique

19, rue François Blumet  
ZI de l'Argentière  
38360 Sassenage  
aemc.lab@wanadoo.fr  
www.aemc-lab.fr  
Tél. 04 76 27 83 83  
Fax 04 76 27 77 00



INTER ENTREPRISES  
**AEMC**  
**CALENDRIER  
DES STAGES  
2015**

Bulletin  
d'inscription  
disponible  
en p. 31

**Stages  
UNIQUEMENT  
en Intra :**  
Voir pages  
28, 29 et 30

Les inscriptions pour  
les formations sont  
gérées à Seyssins :  
04 76 49 76 76  
ou mail@aemc.fr  
ou [www.aemc.fr](http://www.aemc.fr)

N'oubliez pas  
que nous pouvons  
aussi organiser  
chez vous un stage Intra :  
voir en page 3.

Prix hors taxes  
Frais pédagogiques  
+ frais de repas

Dates sous réserves  
de confirmation.

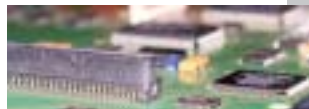
Frais d'annulation :  
- 1 mois avant le début du stage :  
aucun  
- 15 jours avant le début du stage :  
30 % du montant H.T.

	Titre du stage	Public concerné - Objectifs
Généralités	Introduction à la CEM 1 700 € - H.T.	Tout public - Présentation générale
	Exposition humaine aux champs électromagnétiques 950 € - H.T.	Tout public - Ingénieurs et techniciens de sécurité
Conception	Conception des Equipements ( <b>Module 1</b> ) 2 000 € - H.T.	Tous les ingénieurs et techniciens en électronique
	Conception des Equipements ( <b>Module 2</b> ) 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens confirmés - Conception circuits et équipements Hi-Tech
	Méthodes pratiques d'analyse et d'évaluation chiffrée en CEM ( <b>Module 1</b> ) 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens de conception électronique - Evaluation chiffrée des situations CEM
	Méthodes pratiques d'analyse et d'évaluation chiffrée en CEM ( <b>Module 2</b> ) 1 700 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens de conception électronique - Evaluation chiffrée des situations CEM
	Mise au point CEM des équipements 1 300 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens - Mise au point et optimisation des coûts avant mesure normalisée
	Tracé des Cartes électroniques 1 300 € - H.T.	Techniciens ou implanteurs de B.E. électronique
	Blindage des équipements 950 € - H.T.	Techniciens de B.E. mécanique
	Simulation électromagnétique en CEM 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens confirmés en BE électronique
	Intégrité du signal 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens confirmés en BE électronique
	Aéronautique	CEM en Aéronautique 1 300 € - H.T. <b>NOUVEAU</b>
Installation	CEM des Systèmes et Installations 1 700 € - H.T. <b>NOUVEAU</b>	Installateurs - Ingénieurs et techniciens d'installation et de maintenance
	Protection foudre des installations industrielles 950 € - H.T.	Techniciens concernés par la protection foudre des sites industriels
	CEM des Mesures Physiques 1 300 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens - Mise en œuvre des mesures sensibles
Mesures	Mesures CEM ( <b>Module 1</b> ) 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens de mesures CEM normalisées : Principe
	Mesures CEM ( <b>Module 2</b> ) 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens de mesures CEM : difficultés et incertitudes de mesures
Radiocom.	CEM des radiocommunications 1 700 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens spécialistes des sites radio
	Radiocom professionnelles privées 1 700 € - H.T. <b>NOUVEAU</b>	Ingénieurs et techniciens spécialistes des sites radio
	Systèmes Radio sans licence 1 300 € - H.T. <b>NOUVEAU</b>	Ingénieurs et techniciens chargés de mise en conformité de SRD avec la directive RTT
Convertisseurs	Conception des convertisseurs d'énergie 1 700 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens concepteurs de convertisseurs à découpage, variateur...
	CEM des convertisseurs 1 700 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens - Mise au point CEM des convertisseurs à découpage, variateurs, onduleurs...
Thermique	Thermique des équipements électroniques 2 000 € - H.T.	Ingénieurs et techniciens - Dimensionnement et maîtrise des échauffements

	Jours	Mars	Avril	Mai	Juin	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
	4	Paris 10-13				Grenoble 15-18			Paris 15-18	P.4
	2								Paris 01-02	p.5
	5	Paris 23-27			Grenoble 15-19			Paris 30/11-04/12		p.6
	5							Paris 16-20		p.7
	5				Paris 15-19					p.8
	4								Paris 15-18	p.9
	3							Paris 03-05		p.10
	3						Paris 13-15			p.11
	2							Paris 17-18		p.12
	5		Paris 13-17						Grenoble 14-18	p.13
	5	Paris 16-20							Paris 07-11	p.14/15
	3			Paris 19-21		Toulouse 29/09-01/10				p.16
	4				Paris 02-05			Grenoble 24-27		p.17
	2								Paris 03-04	p.18
	3						Paris 13-15			p.19
	5	Paris 16-20					Paris 05-09			p.20
	5				Paris 08-12				Paris 07-11	p.21
	4							Paris 03-06		p.22
	4					Paris 29/09-02/10				p.23
	3			Paris 19-21						p.24
	4				Paris 16-19					p.25
	4					Paris 15-18				p.26
	5						NOUVEAU LIEU Grenoble 05-09			p.27

# ACTIVITÉS

## Prestation - Ingénierie



Depuis plus de 25 ans, AEMC vous propose ses services en ingénierie.

Que ce soit pour quelques jours ou pour plusieurs mois vous pouvez, vous aussi, bénéficier de l'expérience pratique et à bande large de nos ingénieurs en CEM :

- Accompagnement de projets
- Assistance en développement
- Dossier d'études ou de justification
- Analyse de vulnérabilité
- Protection des personnes ou des biens
- Étude de système de protection foudre
- Protection contre les décharges électrostatiques
- Validation CEM de systèmes
- Audit et corrections sur site
- Formation des personnels



**AEMC** possède  
l'habilitation CEFRI  
et propose également des  
prestations en zone.

AIRBUS  
ADETEL GROUP  
ANFR  
AREVA  
ARCELOR MITTAL  
ALCATEL  
CEA  
CERN  
Compagnie Nationale du  
Rhône (CNR)  
CNRS  
DISTECH  
EADS  
EDF  
EDF ENERGIES NOUVELLES  
EUROCOPTER  
GEMS  
INTERTECHNIQUE  
ITER  
JCI  
MBDA  
PSA  
RATP  
ROLLS ROYCE  
SCHNEIDER  
SEB  
SIEMENS  
SNCF  
SONY  
THALES



## Formations

### FORMATIONS INTRA-ENTREPRISES

- Tous les stages du catalogue peuvent être assurés en Intra Entreprise
- Adaptation du programme à vos besoins
- Durée du stage optimale
- Possibilité de manipulations sur vos matériels.

### Stages proposés UNIQUEMENT en Intra :

- > Décharges électrostatiques
- > CEM des automobiles
- > Mesures de terre

Voir pages 28, 29 et 30

### FORMATIONS INTER-ENTREPRISES

Programme et dates définies par AEMC (voir calendrier)

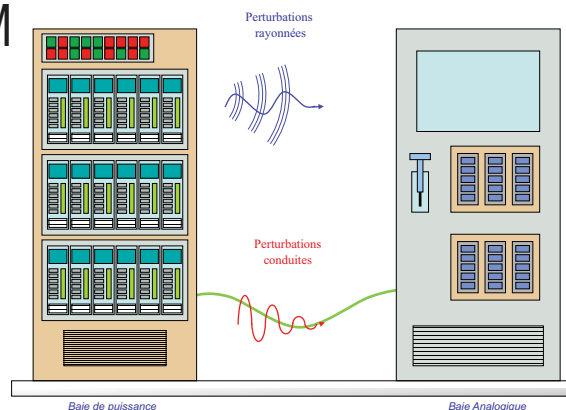
ILS FONT  
CONFIANCE  
à **AEMC**

- La CEM est un vaste domaine, qui fait appel à de nombreuses spécialités : électronique, électrotechnique, radioélectricité, mécanique mais aussi marketing, qualité, management, etc.
- AEMC a, dès 1985, choisi de proposer ses stages par métier, pour parler le langage de chacun et pour répondre de façon optimale aux problèmes concrets de tous les stagiaires.
- Loin des exposés magistraux, les phénomènes sont présentés simplement, avec leurs causes, effets et ordre de grandeur. Notre pédagogie s'appuie sur des manipulations parlantes et surprenantes, des abaques, des dessins, des exemples basés sur l'expérience. Nous vous donnons tous les éléments pour sentir les phénomènes - souvent peu intuitifs - et pour bâtir rapidement votre propre expérience.



Quel que soit votre besoin, en France ou à l'étranger, en français ou en anglais, n'hésitez pas à nous contacter au 04 76 49 76 76.

Quel que soit votre domaine d'activité, sans mathématiques ardues mais étayé par de nombreuses expériences physiques, ce stage vous donne les bases de la Compatibilité Electromagnétique :



- Définitions, vocabulaire.
- Les diverses sources de parasites et les ordres de grandeur.
- Agir contre les parasites.
- Terre, Masse : leur rôle, leur réalisation.
- Transmission des signaux : quel câble utiliser ?
- Les principes de la protection contre la foudre.
- Les règles d'installation.
- Les régimes de neutre TT, TNC, TNS, IT.
- Les mesures normalisées en CEM.
- La Directive Européenne 2004/108/CE.
- Les principales normes appelées par le marquage CE.

**Ce stage intensif s'adresse à tous les ingénieurs et techniciens qui souhaitent acquérir les connaissances indispensables des phénomènes de perturbations électromagnétiques.**

**De nombreuses applications numériques et des exemples issus de l'expérience sur le terrain vous sont proposés.**

### 1 - Introduction

- Définitions et vocabulaire de la CEM.
- Perturbations conduites, perturbations rayonnées.
- Les champs électromagnétiques.
- Puissance rayonnée, propagation, réciprocity.
- Unités relatives en dB.

### 2 - Sources intentionnelles de parasites

- Bandes de fréquence des émetteurs radio usuels.
- L'Impulsion Electromagnétique Nucléaire.
- Caractéristiques des ondes "Bell" et "CEI".
- Comparaison foudre / I.E.M.N.

### 3 - Sources non intentionnelles de parasites

- Foudre : mécanisme physique.
- Caractéristiques électriques, onde normalisée.
- Niveaux isokérauniques.
- Elévation de potentiel du sol : dôme de potentiel.
- Protection d'un bâtiment contre la foudre par paratonnerre (modèle Electrogéométrie)
- Décharges électrostatiques.
- Sensibilité des composants.
- Chaîne antistatique.
- Surtensions à l'ouverture des contacts de relais.
- Rayonnement des équipements numériques.
- Alimentation à découpage
- Installation des variateurs de vitesse.
- Bandes de fréquence "I.S.M."
- Limitation des perturbations à la source.

### 4 - Victimes

- Victimes des champs EM
- Détection d'enveloppe des circuits analogiques.
- Effets biologiques des ondes radioélectriques.
- Brouillage d'un récepteur radio, intermodulation.

### 5 - Couplages en conduction

- Isolement galvanique.
- Couplage par impédance commune.
- Diaphonies capacitive et inductive.

### 6 - Limitation des surtensions

- Les dispositifs de protection.
- Les éclateurs et varistances.
- Les couplages mixtes.
- Parafoudre.
- Principe de la protection étagée.

### 7 - Filtrage des perturbations et filtres

- Filtres antiparasites : rôles et spécifications.
- Structure et spécificité des filtres CEM.

- Connecteurs filtrant et filtres d'alimentation.
- Utilisation des tores de ferrite.
- Traitement du signal.

### 8 - Câbles blindés : impédance du transfert

- Définition de l'impédance de transfert.
- Impédance de transfert des câbles et des connecteurs.
- Raccordement des blindages des câbles.

### 9 - Couplages par rayonnement

- Champ proche / Champ lointain.
- Champ des émetteurs - récepteurs portatifs.
- Risques des champs E.M., ordres de grandeur

### 10 - Coffrets blindés

- Quand un écran est-il nécessaire ?
- Réflexion / Absorption.
- Efficacité de blindage.
- Influence des ouvertures.
- Continuité électrique.

### 11 - Installation

- Réseaux de Terre et de Masse / unicité.
- Prise de Terre, principe du Tellurohmmètre.
- Interconnexion des systèmes.
- Définition et effets des boucles de masse et entre masses.

### 12 - Alimentation et régimes de neutre

- Distribution du secteur en étoile.
- Harmoniques secteur.
- Régimes (Schémas) de neutre TT, TNC, TNS, IT.

### 13 - Mesure

- Bande étroite, bande large.
- Emission en rayonnement / conduction.
- Récepteurs de mesures, analyseurs de spectre.
- Antennes, facteur d'antenne.
- Mesure de champ magnétique / électrique.
- Mesure du courant sur les câbles.
- Mesure de tension par R.S.I.L.

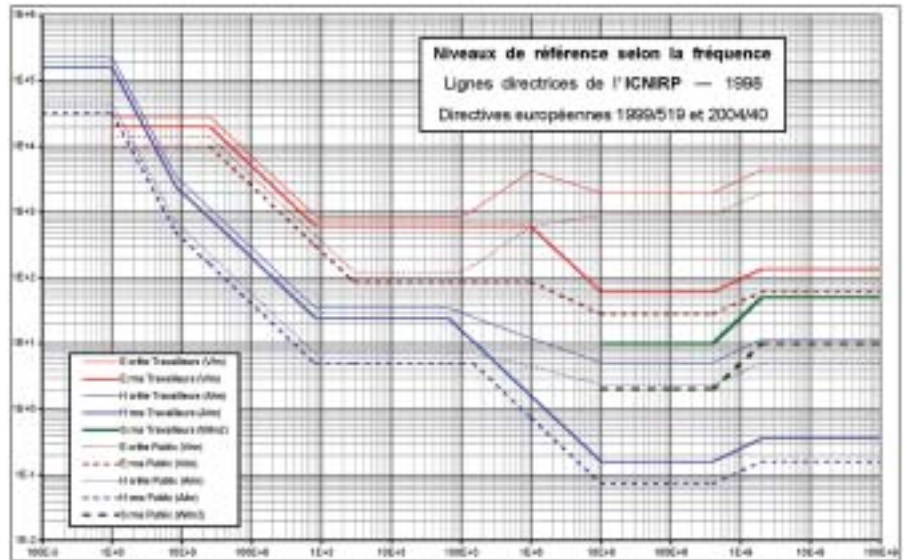
### 14 - Directive européenne

- Exigences essentielles de la directive C.E.M. 2004/108/CE
- Organismes compétents et notifiés.
- Normes génériques, normes familles de produits, normes produits.
- Instances de normalisation en CEM.

### 15 - Normes

- Classification des essais.
- Limites et méthodes de mesure CISPR.
- Normes d'émission et d'immunité.
- Normes CEI / EN 61000-4-2 à 61000-4-11
- Normes militaires françaises et étrangères.

Ce stage intensif de deux jours s'adresse aux personnes exposées à des champs électromagnétiques élevés, ainsi qu'à celles qui ont en charge la formation ou la protection de personnes contre les rayonnements non-ionisants.



**Ce cours présente succinctement les effets biologiques et sanitaires sur les personnes des champs électrique, magnétique et des ondes électromagnétiques. Il expose les restrictions de base (valeurs limites d'exposition) et les niveaux de référence (valeurs déclenchant l'action) des directives européennes 1999/519 et 2004/40. Il présente les calculs d'exposition des personnes et les divers moyens de mesure. Les méthodes de protection (balisage, travail en champ fort) sont illustrées par des exemples.**

### 1 - Les grandeurs physiques

- Champ et déplacement électrique (E et D)
- Champ et induction magnétique (H et B)
- Impédance d'onde selon la distance (Zc)
- Perméabilité ( $\mu$ ) et permittivité ( $\epsilon$ )
- Impédance des tissus biologiques
- Courants de contact et courant induit
- Densité surfacique de puissance
- Débit d'absorption spécifique (DAS, SAR)
- Énergie d'absorption spécifique (SA)
- Gain d'antenne et plan d'onde
- Décroissance du champ avec la distance

### 2 - Les effets biologiques

- Effets biologiques et sanitaires
- Actions contre un risque sanitaire
- Présentation de l'ICNIRP
- Méthode d'évaluation des risques
- Définitions légales et techniques
- Classes de protection de l'ICNIRP
- Effets biologiques avérés
- Mesures d'échauffement
- Effets du courant selon la fréquence
- Effets de E ou de H selon la fréquence
- Pénétration du champ dans les tissus
- Effet acoustique d'une impulsion
- Effets non thermiques
- Les divers types d'études
- Principaux résultats scientifiques
- Difficultés d'une étude épidémiologique
- L'hypersensibilité électromagnétique
- Champs modulés ou impulsifs
- Valeurs limites d'exposition

### 3 - Niveaux de référence et valeurs limites

- Restrictions de base (valeurs limites)
- Distinction public / travailleurs
- Conditions d'évaluation d'exposition
- Variation du SAR en fréquence
- Calcul de densité du courant induit
- Fréquence équivalente à une impulsion
- Durée d'intégration de la puissance
- Courants déclenchant l'action
- Champs de référence
- Évaluation d'une exposition multiple
- Cas des implants médicaux
- Limites des valeurs de crête
- Évolution des niveaux de l'ICNIRP

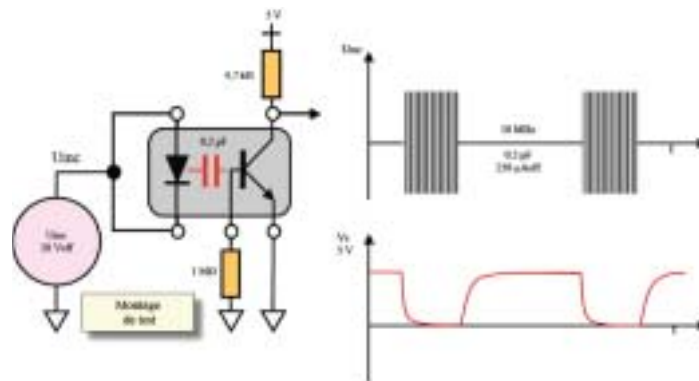
- Réglementation et normalisation
- Directive européenne 1999/519/EC
- Décret français N°2002-775
- Directive européenne 2004/40/CE
- Principaux textes législatifs
- Quelques normes produits
- Résumé et risques de confusion

### 4 - Mesures d'exposition

- Mesure des champs magnétiques
- Champmètre basse fréquence
- Antenne passive à réponse ICNIRP
- Mesure des champs électriques HF
- Précautions de mesure au champmètre
- Mesure de la densité de puissance
- Mesure de SAR par un fantôme
- Protocole de mesure de l'ANFR V3
- Mesure de champ pulsé type radar
- Incertitudes et difficultés de mesure
- Rapport de mesure type
- Le cas des lignes à très haute tension
- Pylônes radio et sites partagés
- Évaluation des risques d'une machine

### 5 - Travail en champ fort

- Rapport 101 870 de l'ETSI
- Classification/formation de travailleurs
- Méthode de surveillance du champ
- Méthode des distances limites
- Limitation d'accès par zonage
- "Dosimètres" individuels
- Environnements à champ élevé
- Le cas des IRM
- Évaluation de conformité EN 50499
- Vêtements de protection
- Balisage et logotype
- L'instruction DREP 302 143
- Balisage d'un site radio
- Exemples de zonages
- Exemple de plaquette informative
- Formulaire médical STANAG 2345
- Bibliographie et sites WEB



Ce stage traite de l'origine et des remèdes des perturbations électroniques, qu'elles soient analogiques, numériques ou de commutations. L'explication et la compréhension des différents phénomènes physiques permettent d'établir des règles génériques de bonne conception.

Les composants de protection CEM sont passés en revue et expliqués.

L'optimisation du schéma ainsi que la mise en œuvre des protections CEM sont clairement exposées.

Enfin les règles de blindage, de filtrage, de câblage, d'interconnexion et de mise à la masse sont définies de manière concrète.

*Ce stage intensif s'adresse à tous les ingénieurs et techniciens qui conçoivent, interconnectent ou intègrent des cartes ou modules électroniques. Tous les effets des perturbations sont analysés et leurs remèdes discutés. Les méthodes de calculs, illustrées par de nombreux exemples tirés de la pratique, n'exigent pas de connaissance mathématique supérieure.*

#### 1 - Introduction

- Méthode d'analyse de la CEM.
- Mode différentiel et mode commun.
- Utilisation des décibels.
- Conversion temps – fréquence.

#### 2 - Circuits analogiques

- Rapport signal / bruit.
- Bande passante et vitesse de balayage.
- Impédance et courant de sortie.
- Détection d'enveloppe.

#### 3 - Circuits numériques

- Marge de bruit des logiques courantes.
- Forme d'onde et fréquence équivalente.
- Surconsommation de transition.

#### 4 - Circuits de commutation

- MD et MC d'une alimentation à découpage.
- Calcul et filtrage du mode commun.
- Calcul et filtrage du mode différentiel.
- Condensateurs chimiques.

#### 5 - Couplage par impédance commune

- Principe du couplage par impédance commune.
- Impédance d'un plan de cuivre.
- Impédance des pistes et des fils.
- Alimentation en étoile.
- Comparaison analogique / numérique.
- Cartes mixtes analogiques / numériques.
- Plans de masse et d'alimentation.
- Solution optimale en 4 couches.

#### 6 - Couplage carte à châssis

- Couplage capacitif carte à châssis.
- Capacité entre carte et masse.
- Capacité d'une piste.
- Ecran électrostatique et anneau de garde.
- Exemple de tracé.
- Masse mécanique / masse électrique.

#### 7 - Couplage par diaphonie

- Capacité linéique piste à piste et fil à fil.
- Couplage inductif fil à fil.
- Exemple de diaphonie piste à piste.
- Diaphonie des câbles plats.
- Réduction de la diaphonie par plan de masse.

#### 8 - Couplage champ à boucle

- Calcul de la tension de boucle.
- Exemple de susceptibilité.
- Cas du champ magnétique.
- Torsade des conducteurs.

#### 9 - Couplage champ à fil

- Antennes fouet et dipôle.
- Calcul du courant induit.
- Réduction du champ par plan de masse.

#### 10 - Câbles blindés

- Câbles blindés et coaxiaux.

- Impédance de transfert.
- Effet réducteur d'une paire blindée.
- Terminaison des blindages.
- Où relier les écrans aux châssis ?

#### 11 - Protections en conduction

- Limitation des surtensions.
- Filtres secteur commerciaux.
- Les 3 règles de montage des filtres secteur.
- Transformateurs à écrans.
- Filtrage des entrées à bas-niveaux.
- Les tores de ferrite, choix du nombre de spires.
- Composants anti-mode commun BF.
- Emetteurs / récepteurs de ligne.
- Liaisons isolées.
- Lignes symétriques.
- Détection d'enveloppe des optocoupleurs.
- Intérêts des fibres optiques.

#### 12 - Lignes en impulsions

- Qu'est-ce qu'une ligne de transmission ?
- Impédance et vitesse de propagation.
- Déformation des fronts.
- Quand doit-on adapter une ligne ?
- Techniques d'adaptation.
- Circuits microstrip et stripline.

#### 13 - Rayonnement de mode différentiel

- Spectre d'un train trapézoïdal.
- Rayonnement d'une petite boucle.
- Exemple de rayonnement d'une horloge.
- Réduction des surfaces de boucles.
- Réduction du rayonnement de M.D.

#### 14 - Rayonnement de mode commun

- Rayonnement d'un petit fouet.
- Origines du courant de mode commun.
- Spectre rayonné en mode commun.
- Alerte avant la mesure du rayonnement.
- Réduction du rayonnement de M.C.

#### 15 - Théorie du blindage

- Rayonnement d'une petite antenne.
- Champ proche / champ lointain.
- Pertes par réflexion et par absorption.
- Efficacité de blindage.
- Choix du matériau de blindage.
- Efficacité de blindage : Application.

#### 16 - Coffrets réels

- Nécessité des ouvertures.
- Ouverture dans un blindage.
- Couples électrochimiques.
- Joints conducteurs et doigts ressorts.
- Métallisation des plastiques.

#### 17 - Revue de conception

- Accompagnement CEM d'un projet.
- Maîtrise des choix initiaux.
- Les revues CEM.
- Bibliographie.



Ce cours intensif de cinq jours s'adresse aux concepteurs impliqués dans la conception de circuits pointus : logique rapide, conversion A/N ou N/A rapide ou de précision, vidéo...  
Il est recommandé aux participants de posséder une expérience en conception et en CEM, par exemple d'avoir suivi le stage "Conception des équipements Module 1".

**Ce cours aide les concepteurs à relever les défis des nouvelles technologies : différentiel numérique, analogique à large bande passante ou à faible bruit. La fonctionnalité (intégrité du signal) et la CEM (respect des normes) sont de plus en plus liées. Des transitions inférieures à la nanoseconde nécessitent des technologies proches de celles en hyperfréquence, mais à coût réduit. Les choix initiaux, des composants et de leurs mises en œuvre conditionnent désormais à la fois les performances et la CEM des systèmes, dont la réjection du mode commun.**

#### 1 - Introduction : rappels

- Maîtrise de la CEM et des choix initiaux
- Environnement isolant / conducteur
- Symboles terre / masse / 0 V
- Impédance des conducteurs rectilignes
- Réactance et résistance d'une paire courte
- Densité spectrale d'une impulsion
- Rappel : formulaire général de CEM

#### 2 - Caractéristiques des circuits

- Bruit d'une chaîne linéaire
- Bruit thermique et en  $1/F$
- Détection d'enveloppe des amplificateurs
- Risque d'oscillation de transistors
- Repères chiffrés en analogique
- Marge statique / dynamique des logiques
- Comparaison des technologies
- Risque au passage à haute impédance
- Métastabilité et double synchronisation
- Track & hold : absorption diélectrique
- Conversion analogique / numérique
- Jitter et son effet en conversion A/N
- Le phénomène de latch-up
- Immunité aux surcharges
- Planification CEM des logiciels

#### 3 - Oscillateurs

- Oscillateurs à 1 ou 2 portes logiques
- Réseau de réaction, modes de résonance
- Oscillateur à Quartz, schéma équivalent
- Points de fonctionnement
- Risque du non démarrage et de casse
- Fonctionnement en mode "overtone"

#### 4 - ASICs

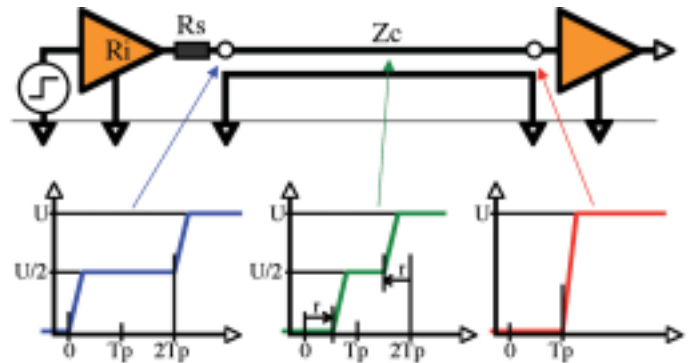
- La question du courant dans les puces
- Bruits et couplages dans les puces
- Le bonding et le "ground bounce"
- Origines, effets et maîtrise des  $di/dt$
- Calcul du nombre de VDD / VSS
- Répartition des broches d'un ASIC
- Dimensionnement des drivers de sortie
- Effets collectifs dans un ASIC
- Distribution des horloges
- Les contentions : mesures et effets
- « Road Map » des circuits VLSI
- Normes CEM sur les circuits intégrés
- Utilisation de sondes de champ proche
- CEM à la conception des puces

#### 5 - Circuits imprimés

- Budget théorique de bruit
- Capacité et self de piste / plan de masse
- Nombre et choix des couches en numérique
- Implantation et routage des circuits rapides
- Effets des trous dans un plan de 0 V
- Effets des vias et des fentes dans un plan
- Effets de bord d'un plan de 0 V
- Les 3 types de pistes ou anneaux de garde

#### 6 - Lignes

- Équation de propagation
- Ligne sans perte en régime sinusoïdal
- Impédance caractéristique d'une ligne
- Mesures par câbles coaxiaux.
- Vitesse de propagation et retards
- Mesures pratiques de  $Z_c$



- Circuits d'adaptation série / parallèle
- Adaptation d'un fond de panier
- Pertes par effet de peau

#### 7 - Diaphonies

- Diaphonies capacitive et inductive sur CIP
- Circuits imprimés mixtes ana / num
- Mesure d'une faible diaphonie capacitive
- Diaphonies dans un connecteur / Mesures
- Microstrip et stripline : directivité
- Diaphonie entre lignes adaptées
- Diaphonie progressive et régressive
- Prédiction d'une diaphonie numérique

#### 8 - Filtres

- Fonction de transfert et Perte d'insertion
- Impulsions sinus et cosinus amorties
- Réponses impulsives de passe-bas
- Filtrage des entrées / sorties
- Schémas équivalents de condensateurs
- Extraction des valeurs d'une inductance
- Nécessité d'une hystérésis sur signal lent
- Filtrage : erreurs à éviter
- Filtrage d'une sortie d'amplificateur
- Déphasage d'un filtre du premier ordre
- Conversion par déphasage du MC en MD
- Dissymétrie d'un filtre différentiel
- Nouvelles modulations numériques

#### 9 - Câbles et connecteurs

- Réjection du MC en BF par isolement
- Réjection du MC par liaison symétrique
- UTP / STP : Conversion du MC en MD
- Mesure de la dissymétrie d'une paire
- Dissymétrie de transfos Ethernet 100 Mbps
- Modélisation d'un test BCI
- Mesure de l'effet réducteur d'un câble
- Relation entre  $Z_t$  et efficacité de blindage
- Mise à la masse d'un connecteur
- Impédance de transfert d'un connecteur
- Réjection totale du mode commun
- Dissymétrie de carte Ethernet 100 BaseTX
- Mesure du Return Loss d'entrée symétrique
- Perte maximale d'un câble USB 2.0

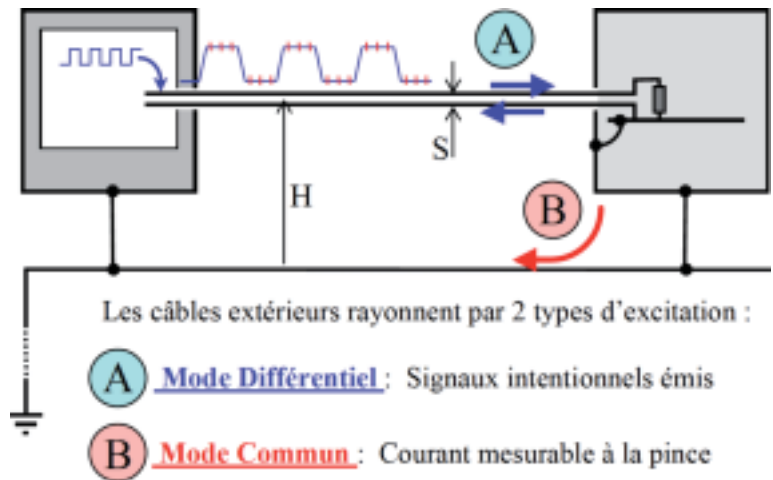
#### 10 - Emission rayonnée

- Utilisation du théorème de réciprocité
- Les 2 types de rayonnements d'un système
- Émission de 2 signaux superposés
- Harmoniques pairs et impairs de l'horloge
- Cas des horloges multiples
- Rayonnement des oscillateurs et des SSC
- Attention aux couplages en champ proche
- Mise au point d'un blindage
- Effet de chicane
- Résonances géométriques de coffret

#### 11 - Outils de modélisation

- Mesures ou modélisation en CEM ?
- Schémas équivalents des composants passifs
- Modélisation d'un filtre en mode commun
- Acronymes et bibliographie

Les participants reçoivent un entraînement intensif à l'évaluation chiffrée de situations CEM complexes, en émission et en susceptibilité. Pour chaque mécanisme de couplage, de nombreux exercices en cours permettent d'acquérir une méthode organisée, progressive, de calcul des perturbations intra et inter-système, ainsi que l'interaction de mécanismes complexes.



**Ce stage est recommandé aux praticiens de la CEM ayant déjà suivi au minimum une formation de base, comme "Conception des Équipements", "Mesures de CEM", ou ayant au moins 2 ans d'expérience réelle. Aucun bagage mathématique particulier n'est requis, toutes les estimations étant faites par des routines extrêmement simples et logiques.**

### 1 - Définitions & Fondamentaux

- Routines de prédictions
- Exemple de profil d'essai
- Approche de durcissement
- Occurrence des D.E.S. selon le courant
- Principales menaces EMI ambiantes
- Interprétation des spécifications CEM
- CEM inter et intra-système
- Matrices de couplages
- Table de conversion en décibels
- Spectre Bande Etroite / Bande Large
- Conversion temps - fréquence
- Rapport signal / bruit
- Détection d'enveloppe des amplificateurs
- Marge de bruit et fréquence équivalente des familles logiques
- Comportement hors-bande des logiques
- Structure des tests type MIL - 461
- Limites en conduction et en rayonnement
- Normes CEI / EN 61000-4-2, 4-3 et 4-4

### 2 - Prédiction-couplage par impédance commune

- Couplage par impédance commune.
- Impédance des conducteurs et des pistes.
- Impédance d'un plan et d'un plan perforé.
- Calcul du bruit d'alimentation.
- Exercices.

### 3 - Couplage par champ reçu

- Distinction Champ-Boucle / Champ-Fil
- Coefficient de couplage champ - boucle
- Exercice : couplage champ-boucle MD
- Torsade des conducteurs
- Coefficient de couplage champ à fil
- Réduction du champ par plan de masse
- Câbles blindés et coaxiaux
- Impédance de transfert et tension induite
- Relation entre  $Z_t$  et efficacité d'écran
- Impédance de transfert des connecteurs
- Conversion MC - MD lignes bifilaires et coax.
- Capacité parasite carte à masse
- Exercice récapitulatif, (Tableau de prédiction)

### 4 - Diaphonie

- Diaphonie capacitive fil à fil
- Diaphonie inductive fil à fil
- Diaphonie entre câbles : routine de calcul
- Diaphonie en fonction de la hauteur
- Exercice de diaphonie capacitive et magnétique
- Diaphonie des câbles plats
- Capacité linéique piste à piste
- Exercice : Diaphonie sur circuit imprimé

- Diaphonie dans les connecteurs
- Exercice de bilan système

### 5 - Blindages

- Champ proche / champ lointain
- Impédance intrinsèque
- Effet de peau
- Choix du matériau de blindage
- Pertes par réflexion et par absorption
- Application numérique
- Efficacité de blindage de plastiques chargés
- Atténuation d'une ouverture
- Efficacité de blindage d'un treillis
- Efficacité d'une ouverture guide
- Efficacité de blindage des joints CEM
- Exercice blindage : Etude coffret / Bilan dB

### 6 - Couplage par le secteur

- Vue générale parasitage - secteur
- Impédance d'alimentation
- Couplage secteur vers équipement

### 7 - Emissions conduites

- Calcul du mode commun d'une alimentation
- Exercice : parasitage MC, alim. à découpage
- Calcul du MD d'une alim. à découpage
- Réseau stabilisateur d'impédance de ligne
- Impédance des condensateurs
- Parasitage secteur par circuits numériques

### 8 - Emissions rayonnées

- Méthode simplifiée des asymptotes
- Champ rayonné par une boucle
- Exercice : rayonnement d'une horloge
- Exercice : construction d'un spectre
- Effet d'un plan de masse
- Réduction des surfaces de boucles
- Réduction du rayonnement M.D.
- Rayonnement d'une ligne ouverte
- Origines du courant de mode commun
- Utilisation de ferrites
- Rayonnement des câbles ; exemple
- Alerte avant la mesure de rayonnement
- Formulaire conduction et rayonnement
- Table de conversion
- Bibliographie

Faisant suite au module 1 du même stage, ce complément renforce et parachève la maîtrise de prédictions chiffrées simples mais globales vis-à-vis d'objectifs CEM d'un équipement. L'accent est mis sur l'optimisation de choix utilisant des solutions, offrant une marge raisonnable mais sans excès, en immunité et en émission. La participation de chaque stagiaire à de très nombreux exercices, émaillés de démonstrations pratiques, consolide encore les acquis du module 1.



**Ce stage est recommandé aux praticiens de la CEM ayant déjà suivi le Module 1 (ce pré-requis est indispensable).**

**Aucun bagage mathématique particulier n'est nécessaire, toutes les estimations étant faites par des routines extrêmement simples et logiques.**

### 1 - Introduction

- Rappel Méthodologie de Prédiction : Susceptibilité/Emission
- CEM intra-système - matrice coup./victime
- Matrices coupables / victimes CEM externe
- Réponse des Circ. Intégrés An. & Num. aux signaux parasites
- Exercice d'application

### 2 - Prédiction - Couplage par impédance commune

- Impédance des plans (réel vs. idéal)
- Impédances des grilles et plans perforés
- Exercice : bruit de masse (Ground bounce) sur C.I. hte densité
- PCB : couplage mutuel entre circuits sur plan partagé
- Bâtiment foudroyé : diff. de potentiel entre structures

### 3 - Couplage des champs dans les conducteurs

- Rappel : notions champ-boucle / Champ-fil
- Cas particulier du champ magnétique impulsionnel
- Exercice : couplage MD champ - carte / champ-nappe
- Impédance de transfert : câbles blindés et connectique
- Correspondance entre Zt et efficacité du blindage
- Zt : influence de l'impédance des raccordements
- Facteur de conversion MC - MD
- Conversion MC-MD pour câble coaxial & paire blindée
- Capacité parasite carte à masse
- Techniques de réduction du Mode

Commun : comparaison

- Exercice complet champ-câble/champ-carte, en ambiance sévère
- Câble blindé agressé par une impulsion : modèle & exercice
- Corrélation Couplage champ-câble/ Injection BCI

### 4 - Diaphonie

- Rappel Diaphonie capacitive / magnétique
- Quelques configurations particulières
- Diaphonie sur circuit imprimé: microstrip & stripline
- Cas des lignes longues ( $l > \lambda / 4$ )
- Diaphonie capacitive dans les connecteurs "Sub-D"
- Exercice Diaphonie combinée : système cartes/câble/connectique
- Diaphonie entre câbles blindés

### 5 - Blindages

- Rappels : pertes par réflexion / absorption
- Impédance intrinsèque, Effet de peau
- Calcul : efficacité de blindage d'une paroi pleine
- Calcul d'efficacité dans le cas de films minces
- Atténuation d'ouvertures types
- Efficacité de blindage des treillis métalliques
- Efficacité de blindage des vitres conductrices
- Correction en champ proche : parois et ouvertures
- Atténuation supplémentaire par effet tunnel / chicane
- Efficacité de blindage des joints EMI : apparente & réelle
- Exercice blindage : coffret avec fuites et résonances propres

### 6 - Emissions conduites

- Rappels :
  - Vue générale du parasitage réseau / équipement
  - Parasitage en MC & MD d'un convertisseur à découpage
  - Réseau Stabilisateur d'Impédance de Ligne
- Exercice : parasitage combiné MC & MD d'un convertisseur
- Calcul optimisé filtre MC/MD pour conformité normes Civ/Mil

- Parasitage du secteur par circuits numériques côté secondaire
- Filtrages signaux sur PCB : choix des structures / composants (L, C, Pi, T)

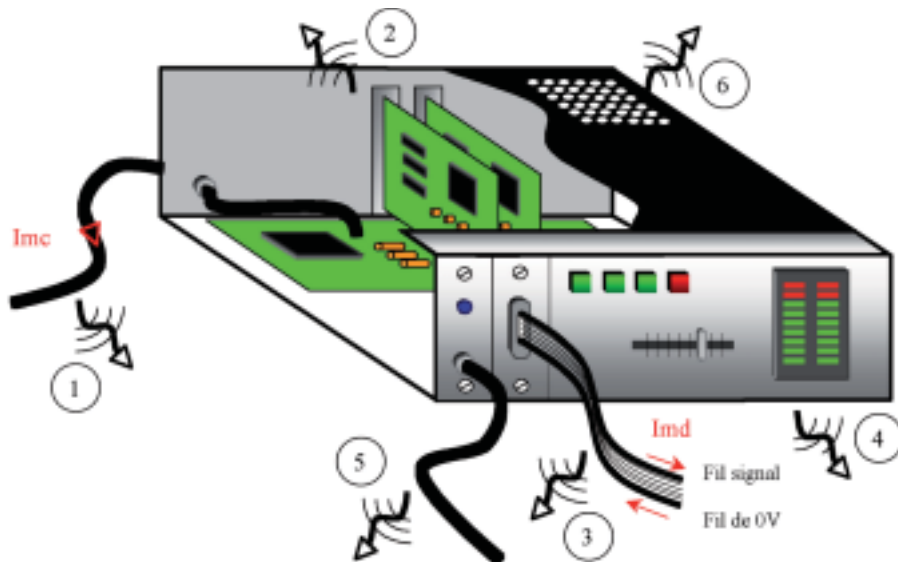
### 7 - Emissions rayonnées

- Rappels : calculs simples du champ rayonné par une boucle, un fil
- Champ rayonné à 1m et 3m d'une boucle de  $1 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ V}$
- Champ H rayonné par une boucle -  $1 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ A}$
- Exercice : bilan complet du rayonnement d'une carte
- Effets d'un plan de masse : rayonnement d'une piste microstrip
- Origines du courant de MC, réversibilité conversion MD-MC
- Rayonnement des câbles externes : excitation
- Exercice : calcul de rayonnement des résidus d'horloge sur un câble
- Réversibilité de Zt : émission rayonnée d'un câble blindé
- Formulaires: Conduction/ Rayonnement
- Table de conversion dBm / Volts / Watts / dBµV
- Bibliographies
- Quelques sites Internet intéressants

Gagnez des semaines sur le développement de votre produit ! Economisez de coûteuses journées de laboratoires de mesure !

De nombreux tests et mesures peuvent être effectués simplement, sans cage de Faraday, avec des matériels simples et peu coûteux, dès la mise à disposition des premiers prototypes.

Les choix de base : architecture, connectique, coffret, cartes, filtres, sont immédiatement validés ou corrigés.



**Ce stage s'adresse aux ingénieurs et techniciens chargés de la mise au point CEM des équipements électroniques. Il propose des méthodes d'investigation simples et rapides, et présente notamment des techniques d'optimisation CEM à partir des premiers tests sur prototypes. Il s'articule autour de travaux pratiques permettant d'évaluer très rapidement la CEM des équipements électroniques. Les mesures de qualification CEM seront réalisées sur un matériel largement débogué.**

### PROGRAMME DU STAGE

#### 1 - Introduction

- Directive CEM 2004 / 108 / CE.
- Les normes en CEM.
- Organisation des essais.
- Mode commun et mode différentiel.
- Les 6 modes de couplages.
- Filtres, parasurtenseurs, câbles blindés, coffrets blindés.

#### 2 - Emission conduite

- Configuration d'essai : normes civiles et militaires.
- Réseau de stabilisation d'impédance de ligne RSIL ou LISN.
- Normes EN 55011, EN 55014, EN 55022 : limites.
- Détecteurs crête, quasi-crête et valeur moyenne.
- Origine du mode différentiel et du mode commun.
- Filtrage en mode différentiel et en mode commun.
- Utilisation du RSIL et du séparateur MC / MD.
- Travaux pratiques avec l'analyseur de spectre.
- Normes 61000-3-2 : courants harmoniques.

#### 3 - Immunité conduite

- Norme CEI / EN 61000-4-4.
- Application du test de transitoires rapides.
- Mise au point à l'aide du test 61000-4-4.
- Méthode additive et méthode soustractive.
- Outillage pour immunité aux Transitoires Rapides en Salves TER/S.
- Travaux pratiques.
- Norme CEI / EN 61000-4-6.
- 61000-4-6 : configuration d'essai.
- 61000-4-6 : réseaux de couplage.
- Travaux pratiques.

#### 4 - Emission rayonnée

- Spectre d'un train trapézoïdal.
- Origines des rayonnements : câbles et cartes.

- Réduction des rayonnements.
- Représentation du spectre radioélectrique.
- Norme CISPR EN 55 022, 55011 etc...
- Evaluation des émissions rayonnées.
- Réalisation d'une pince de courant HF.
- Réalisation d'une sonde de Moebius.
- Travaux pratiques avec l'analyseur de spectre.

#### 5 - Immunité rayonnée

- Norme CEI / EN 61000-4-3.
- Configuration d'essai.
- Immunité aux Talkies Walkies.
- Travaux pratiques.
- Normes EN 61000-4-8, EN 61000-4-9 et EN 61000-4-10 : immunité aux champs magnétiques B F.

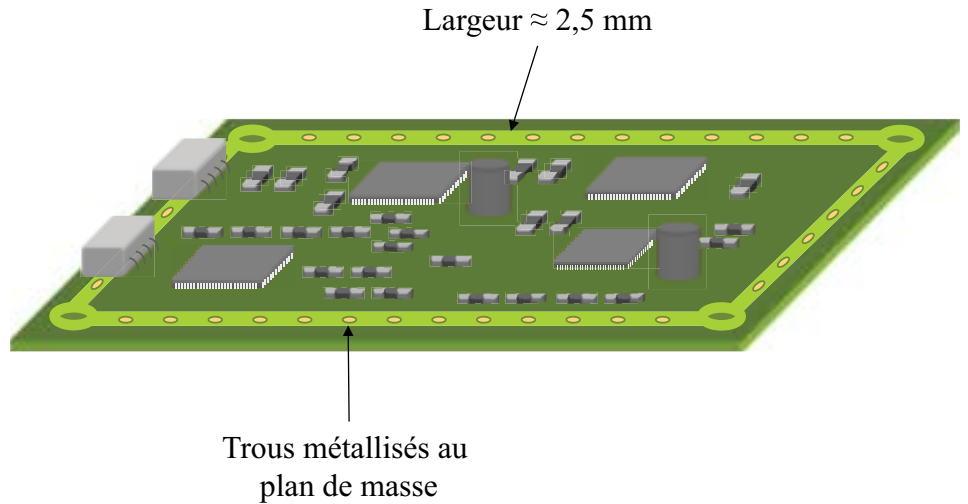
#### 6 - Décharges électrostatiques

- Norme CEI / EN 61000-4-2.
- Application du test de Décharges Electrostatiques DES.
- Essais DES sur cartes prototypes.
- Travaux pratiques.
- Norme EN 61000-4-5 : ondes de choc.

#### 7 - Conclusion

- Un bon spécialiste CEM suffit-il ?
- Suivi CEM de projet.
- Outils de préqualification : synthèse.
- Formulaire.

Ce stage a pour but de vous présenter les règles à respecter lors du tracé des circuits imprimés. Après une définition pratique de la compatibilité électromagnétique et de ses différents effets, nous proposons des règles simples pour maîtriser l'implantation des composants et le tracé des pistes. Des exemples pratiques tirés de la réalité illustrent chaque point délicat.



**Ce stage intensif s'adresse à tous les traceurs, implanteurs de circuits imprimés et à tous les utilisateurs de C.A.O. Aucune connaissance de base en compatibilité électromagnétique et en mathématiques n'est indispensable.**

#### 1 - Introduction

- Caractérisation CEM des équipements
- Mode commun/mode différentiel
- Représentation d'un signal sinusoïdal/trapézoïdal
- Evolution des circuits imprimés
- Gestion et planning d'un circuit imprimé

#### 2 - Masses et alimentations

- Couplage par impédance commune
- Impédance d'un plan de masse
- Retour des courants HF
- Fente dans un plan de masse
- Impédance d'une piste de C.I.
- Alimentation en étoile
- Distribution de l'alimentation analogique
- Découplage en multicouches
- Maillage de l'alimentation
- Intensité maximale d'une piste
- Bruit d'alimentation
- Impédance des condensateurs
- Découplage en multicouche
- Plan de masse/plan d'alimentation
- Flex
- Cartes mixtes analogiques / numériques
- Cas des isollements galvaniques.
- Raccordement du OV au châssis

#### 3 - Pistes sensibles

- Principe du couplage capacitif carte à châssis
- Capacité totale entre carte et plan de masse
- Capacité parasite des pistes
- Anneaux de garde
- Exemple de tracé
- Couplage piste à piste
- Piste écran
- Diaphonie dans les fonds de panier
- Qu'est ce qu'un champ ?
- Tension induite dans les boucles
- Réduction de la surface de boucles

#### 4 - Rayonnements des électroniques

- Les 2 types de rayonnement des électroniques
- Rayonnement d'une petite boucle

- Tracé des horloges
- La maîtrise des trajets verticaux
- Rayonnement des bords de carte / Fond de panier
- Implantation et tracé des pistes
- Origine du courant de mode commun

#### 5 - Placement

- Effet mécanique et thermique sur référence de tension
- Répartition optimale des couches de CIP
- Tracé des pistes sensibles
- Raccourcir le côté sensible
- Implantation des composants

#### 6 - Protection des entrées - sorties

- Filtrage capacitif des entrées / sorties
- Erreurs à éviter
- Implantation et routage de filtres
- Diaphonie entrée - sortie de filtres
- Routage des liaisons différentielles

#### 7 - Lignes de transmission

- Définitions
- Ligne en impulsion : réflexion des fronts
- Forme des signaux
- Topologies des lignes
- Quant doit-on adapter une ligne ?
- Liaisons différentielles
- Vitesse de propagation et retard
- Retard en grec

#### 8 - Simuler pour gagner un "RUN"

- Le diagramme de l'œil
- Œil ouvert et fermé
- Calcul de l'impédance caractéristique
- RF Calc
- Effet de stub
- Adaptation d'impédance répartie

#### 9 - Influence de la fabrication

- Tolérance de fabrication
- Augmentation des pertes cuivre par rugosité
- Tropicalisation et protection des circuits

Ce stage très pratique a pour but de présenter les règles à respecter lors de la conception d'un coffret afin d'optimiser le blindage et la compatibilité électromagnétique d'un système.

Après une présentation simple de la compatibilité électromagnétique et de ses effets, nous étudions les problèmes de blindage et proposons de bonnes règles pour réaliser les coffrets ou armoires.

Des exemples pratiques tirés de la réalité illustrent chaque point délicat.



**Ce stage intensif s'adresse à tous les dessinateurs, mécaniciens et concepteurs de coffret ou de blindage monté sur carte. Aucune connaissance en compatibilité électromagnétique n'est indispensable.**

### 1 - Introduction

- Caractérisation CEM des équipements
- Mode commun / Mode différentiel
- Origines du courant de mode commun
- Les 2 types de rayonnements électroniques
- Rayonnement carte / fond de panier
- Impédance des conducteurs cylindriques
- Rôles d'un écran
- Définition de l'efficacité de blindage
- Raccordement du 0 V au châssis
- Utilisation des décibels

### 2 - Blindages : théorie

- Qu'est-ce qu'un champ ?
- Couplage entre les champs E et H
- Zone de champ proche / champ lointain
- Modes de fonctionnement d'un écran
- Impédance d'un écran
- Réflexion selon l'impédance du champ
- Épaisseur de peau / absorption
- Nomogrammes de Cowdell
- Calcul de blindage optimal
- Blindage : critères de choix
- Matériaux magnétiques ou non
- Champs très basse fréquence
- Champ magnétique et induction
- Déflexions des lignes de champ
- Risque de saturation

### 3 - Blindages réels

- Nécessité des ouvertures
- Principe de calcul
- Atténuation de blindage d'une fente
- Atténuation d'une grille
- Cas des ouvertures multiples
- Efficacité d'une ouverture guide
- Exemple de guide / Nids d'abeilles
- Efficacité de blindage d'un coffret
- Exemples d'écran "électrostatique"
- Exemple d'écran magnétique
- Exemples de blindages sur carte
- Exemples d'écrans soudés / amovibles
- Utilisation de sondes de champ proche

### 4 - Traitement des câbles

- Effet d'antenne des câbles
- Effet réducteur d'un plan de masse
- Exemple de câblage interne
- Les 3 méthodes anti-mode commun H.F.
- Circulation des courants HF
- Mise en œuvre des connecteurs
- Regroupement des entrées / sorties
- Filtres en traversée de paroi
- Montage des filtres / exemples
- Impédance de transfert de câbles blindés

- Relation entre  $Z_t$  et efficacité de blindage
- Raccordement des connecteurs blindés
- Étapes de mise au point d'un blindage
- Tubes et textiles pour surblindage

### 5 - Amélioration d'un blindage

- Principe général
- Points "chauds"
- Criticité des fuites
- Réduction de fuite par effet de chicane
- Valeur de l'effet de chicane
- Exemple d'effet de chicane
- Capot en fer étamé
- Résonances de coffret et amortissement
- Exemple de matériau absorbant
- Les 2 topologies pour visualisation
- Interrupteurs et axes de potentiomètres
- Traitement des organes accessibles
- Accessoires de blindage / exemples
- Efficacité d'un joint conducteur
- Effet de la pression / déformation
- Mise en œuvre d'un joint conducteur
- Attention à la colle des joints adhésifs
- Doigts conducteurs et ressorts
- Couples électrochimiques
- Utilisation des doigts-ressorts
- Qualité nécessaire selon la zone
- Couples électrochimiques
- Câblage interne
- Coordination électronique / mécanique
- Connecteurs filtrants de fortune
- Erreurs récurrentes
- Contrôle visuel
- Coffrets blindés industrialisés
- Méthode de l'ampoule électrique
- Chromage de l'aluminium

### 6 - Boîtiers plastiques

- Composites conducteurs
- Peintures conductrices
- Zingage par arc / à la flamme
- Métallisation sous vide / cathodique
- Dépôts chimiques / électrolytiques
- Coffrets plastiques métallisés
- Blindage simple en boîtier plastique
- Mesure simple d'un revêtement

### 7 - Mesures de blindage

- Mesure pratique d'atténuation
- Calibrage avant mesure
- Mesure d'un petit coffret
- Norme CEI 61587-3
- Norme IEEE 299
- Procédure de mesure recommandée

Ce stage constitue un point de départ pour une expertise en modélisation CEM.

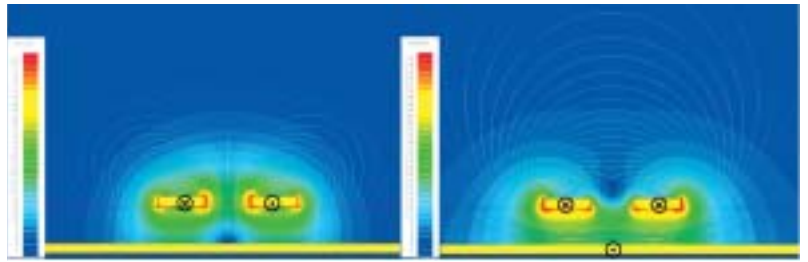
Ses objectifs sont :

- Comprendre les principes de calcul des logiciels et leurs limites.
- Choisir les codes de calcul adaptés aux problèmes posés.
- Savoir construire des modèles et utiliser les fonctions de base des logiciels présentés.
- Prévoir le comportement d'un système afin de réaliser des expériences de pensée, de rechercher les pires cas, d'optimiser une solution, etc.
- Donner des exemples de simplifications pour réduire les temps de calcul.
- Détecter des erreurs de divers ordres sur des exemples.

Un PC équipé des logiciels gratuits présentés sera mis à disposition de chaque stagiaire pour la durée du stage.

Les stagiaires apprendront à réaliser les simulations décrites dans le cours.

Attention : Ce stage n'est pas destiné à détailler l'utilisation des logiciels commerciaux ni à présenter des concepts pointus en radiofréquences.



*Ce stage s'adresse aux ingénieurs et techniciens impliqués dans la CEM (prédiction, optimisation, validation.....)*

*Des bases d'Anglais technique sont souhaitables car la plupart des interfaces et des documents d'aide sont en anglais.*

*Les notions de base de l'électromagnétisme (Tension, courant, champs, décibels...) doivent être connues.*

## 1 - Introduction

- Notice importante
- Intérêts des logiciels libres
- Les approches pour résoudre un problème
- Rappel des couplages en CEM
- Analyse temporelle ou fréquentielle
- CEM en Conduction
- CEM en rayonnement
- Fondements théoriques des circuits
- Fondements théoriques des champs EM
- Rappels des ordres de grandeur
- Discrétisation et maillages
- Choix du code approprié
- Principales sources d'erreurs et d'inefficacité
- Limites de validité des logiciels
- Résolution, précision, incertitudes
- Accélération du calcul
- Méthodes de Monte Carlo
- Sensibilité à un paramètre
- Visualisation des grandeurs de sortie
- Post traitement ; Documentation
- Hybridation de méthodes
- Méthodes de Validation d'un logiciel
- Méthodes de Validation d'un résultat

## 2 - Applications en Radio fréquences

- Logiciel Smith (Abaque)
- Application au calcul d'impédances de lignes
- Application aux adaptations d'impédances

## 3 - Simulation en CEM conduite

- Phénomènes conduits et couplage en champs proches
- Logiciels PEEC
- Présentation du noyau de calcul SPICE
- Présentation de LTspice
- Précautions et limites de validité
- Bibliothèque de composants
- Édition d'un composant
- Composants magnétiques
- Fichiers de sortie : Post-traitement
- Phénomènes non-linéaires
- Modélisation de varistances et de Transzorb
- Traitement des circuits logiques
- LTspice : Communautés d'utilisateurs
- Exemples : Convertisseur d'énergie ; symétrie d'une liaison
- Présentation de Simetrix
- Présentation de Simplis
- Présentation de QUCS

## 4 - Simulation des rayonnements

- Champs proches et lointains
- Équations et algorithmes de base
- Méthodes et limites de calcul des champs
- Guide de choix de la méthode
- Méthode des éléments finis MEF
- Méthode des moments MoM

- Méthodes temporelles FDTD et TLM
- Construction d'un modèle (pre-process)
- Grandeurs de sortie (post-process)
- Séquencement des opérations
- Choix du mode 2D, 2,5D ou 3D
- Choix du repère
- Maillage et Discrétisation
- Optimisation du maillage
- Exemples de Maillage
- Notions de conditions aux limites
- Cas des phénomènes de résonances
- Analyses spécialisées : signatures radar ; SAR
- Durée des simulations
- Principaux logiciels MEF
- Principaux logiciels MoM
- Principaux logiciels FDTD et TLM
- Configurations de test

## 5 - Simulation de champs quasi-statiques

- Logiciels gratuits type FEM
- Séquencement d'une simulation
- Présentation de Maxwell 2D
- Limitations de Maxwell 2D
- Paramètres de lignes de transmission
- Présentation de FEMM
- Limites de FEMM

## 6 - Méthode des moments

- Présentation de 4NEC2X
- Création de modèles géométriques
- Exemples : Doublets, effet du plan de masse
- Champ proche ou champ lointain
- Limites de la méthode des moments

## 7 - Méthode TLM

- Présentation de Mefisto 3D
- Mefisto excitation signaux temporel
- Exemples de propagation
- Limites de la méthode TLM

## 8 - Autres simulateurs EM

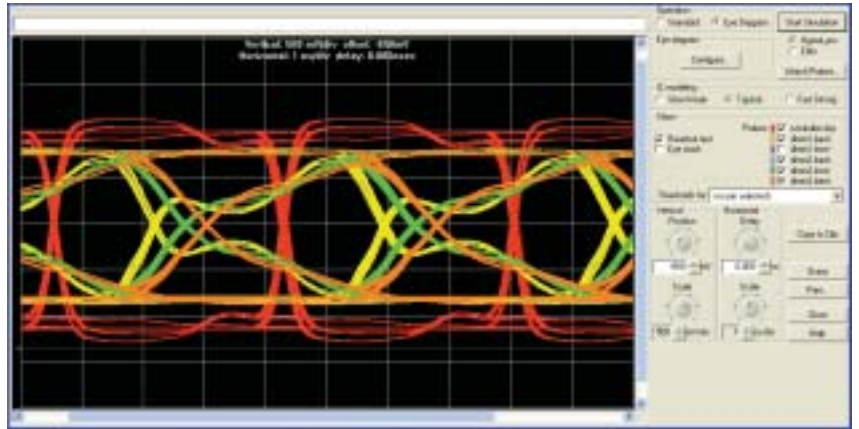
- Présentation de HFSS
- Présentation de FEKO
- Guide de choix du solveur dans Feko
- Présentation de la suite CST
- Guide de choix du solveur dans CST
- Décryptage des spécifications d'un logiciel

## 9 - Logiciels spécialisés

- Traitement du signal : Spectrumlab
- Calculs de lignes de transmission (JAVA)
- Suite Falstad (JAVA)
- Radio mobile
- Sites Web intéressants

Avec l'augmentation des débits de transmission, les problèmes d'intégrité du signal sont croissants, tant pour l'implantation et le tracé des cartes que pour les câbles ou connecteurs.

Négliger la question de l'intégrité des signaux peut conduire à des systèmes vulnérables, aux performances décevantes, voire impossible à faire fonctionner.



**Ce stage s'adresse aux concepteurs de cartes électroniques rapides, à hauts débits ou avec des signaux à grande dynamique. Il ne nécessite pas de connaissance spécifique en CEM, mais une expérience professionnelle de quelques années en conception est souhaitable.**

**Le but de ce stage est de faire profiter les stagiaires des retours d'expérience sur des cartes analogiques à grande dynamique, de liaisons numériques rapides et des règles méconnues de conception. Les bonnes pratiques (plan de masse, implantation, routage de cartes, choix des composants, conditions d'une modélisation réaliste...) sont clairement exposées.**

### 1 - Rapport signal à bruit

- Rappel et définitions
- Mode commun / liaison différentielle
- FFT et FFT inverse
- Bruit des convertisseurs
- Bruit thermique (de Nyquist)
- Modélisation des bruits
- Crête, moyenne et médiane
- Densité de probabilité en amplitude
- Bruit des composants analogiques
- Bruit en 1/F - double échantillonnage
- Choix de la technologie optimale
- Dynamique sans parasite (SFDR)
- Signal sur bruit plus distorsion (SINAD)
- Nombre de bits effectifs (ENOB)
- Dynamique sans compression (CFDR)
- Bruit de quantification d'un CAN / CNA
- Non linéarité intégrale (INL et ILE)
- Non linéarité différentielle (DNL, DLE)
- Taux d'erreurs binaires (BER, BEP)

### 2 - Marge de bruit

- Évolution des circuits intégrés
- Erreurs sur la terre, masse et 0 V
- Marge statique de bruit
- Marge dynamique
- Translation de signaux numériques
- Divers types d'hystérésis
- "Ground bounce" et sa mesure
- Pente des fronts de transition
- Effets du "ground bounce"
- Commutations simultanées
- Jitter - Inductance du boîtier
- Choix des plans de CIP ("stacking")
- Empilage recommandé de couches
- Non linéarité et stabilité thermique
- Effet thermocouple d'un résisteur
- Détection d'enveloppe - Exemple

### 3 - Bruit d'alimentation (PI)

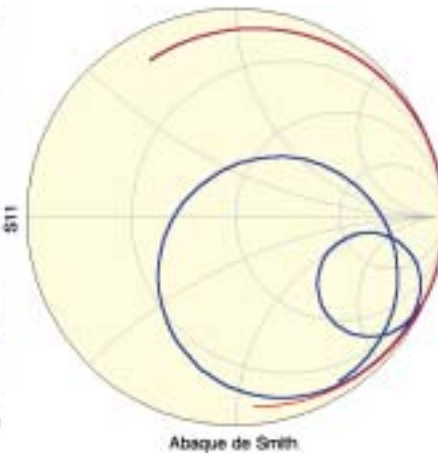
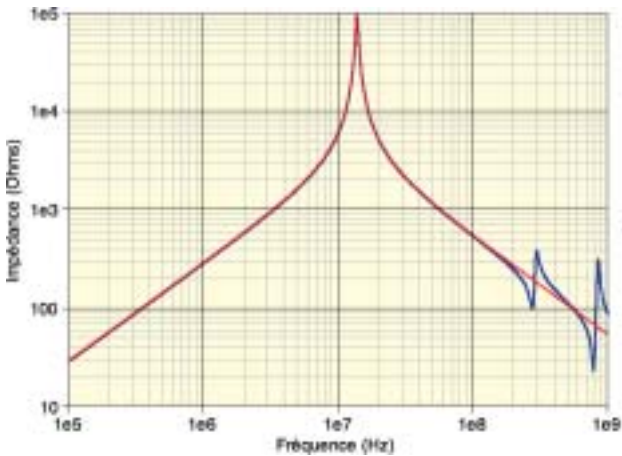
- Bruit en sortie d'alimentation
- Impédance d'un bus d'alimentation
- Retour du courant selon la fréquence
- Problèmes de changement de couche
- Modélisation d'alimentation par plans
- Spectre du courant consommé
- "Jitter" issu du bruit d'alimentation
- Effet de cavité entre plans
- Résonances et anti-résonances
- Effets des vias et des condensateurs
- Distance entre vias de masse
- Impédance d'alimentation en UHF
- Effets des trous dans un plan
- Capacité intégrée ("embedded cap")

- Mesure d'une impédance entre plans
- Notes d'application erronées
- Problèmes des fentes
- Résonances de structures
- Rayonnement par bord de carte
- Attention au PSRR...
- "Power integrity" et PSRR
- Calcul de découplage analogique

### 4 - Effets de ligne

- Énergie électromagnétique
- Perméabilité et permittivité
- Inductances et capacités
- Propagation conduite / rayonnée
- Propagation guidée ou non
- Retour du courant
- Impédance des champs
- Champs proche et lointain
- Impédance caractéristique
- Paramètres de ligne
- Mesures de transition et retard
- Effet de peau
- Inductance de plans finis
- Plans de masse imparfaits
- Les 2 types de résonance
- Adaptation dans 50 Ω
- Qualité du signal et distance
- Pertes d'une ligne
- Effet de la rugosité
- Pertes diélectriques
- Extraction des pertes sur CIP
- Choix du matériau diélectrique
- Égalisation et "Peaking"
- Égalisation auto adaptative
- Rayonnement d'une ligne
- Réflectométrie temporelle (TDR)
- TDR d'un connecteur
- Mesure de capacité par TDR
- Dépassement ("Overshoot")
- Oscillations ("Ringings")
- Lignes à retard et forme d'onde
- Pads de condensateurs
- Paramètres des vias
- Effet de stub d'un via
- Risque de double basculement
- Types d'adaptation de ligne
- Simulations de forme d'onde
- Perte d'insertion
- Paramètres S et leur utilisation
- Incrustation / désincrustation
- Paramètres ABCD
- Abaque de Smith - Calibrage OSM
- Matrice 4-ports
- Connecteurs HF et mesures
- Simulation d'une liaison série





- Routage des horloges rapides
- Adaptation d'impédance répartie
- Simulation d'intégrité du signal

#### 5 - Composants actifs

- Savoir lire une fiche technique
- Attention aux "doubles sources"
- Compatibilité dite "pin à pin"
- Références de tension de précision
- Effets mécaniques et thermiques
- Filtrage en sortie d'amplificateur
- Analyse et contrôle d'un schéma
- Bus parallèles / Liaisons série
- Principales normes de transmission
- Sérialiseur / désérialiseur
- Interconnexions optiques
- Paramètres R-L-C des boîtiers
- "System-in-package" (SiP)
- Interconnexions puce-module-carte
- Drivers LVDS
- Vulnérabilité à haute impédance
- Métastabilité - Double synchronisation
- Diagramme et histogramme de l'œil
- Notion de masque
- Modulation multi-niveaux
- Modulation amplitude et phase
- Modulation orthogonale (OFDM)
- Mesures de la gigue ("Jitter")
- Analyse du jitter (borné et non borné)
- Effet du jitter sur un CAN / CNA
- Horloges à étalement de spectre (SSC)

#### 6 - Diaphonies et champs proches

- Diaphonie capacitive et inductive
- Modélisation en couplage lâche
- Para et télé diaphonie
- Brochage optimal de connecteur
- Modélisation des diaphonies
- "Glitch" par diaphonie
- Pull-in et Push-out
- Diaphonie entre lignes adaptées
- Impédance de charge et transitions
- Résonance inductive
- Risque de diaphonie cumulative
- Rapport diaphonie / atténuation (ACR)
- Diaphonie entre paires unidirectionnelles
- Diaphonies en full-duplex

#### 7 - Liaisons différentielles

- Rôle des composants magnétiques
- Perte de conversion longitudinale (LCL)
- Réjection du mode commun (CMRR)
- Dissymétries d'une liaison
- Symétrie d'implantation et de routage

- Effets des vias de masse
- Routage d'une paire différentielle
- Effet du biais (Skew)
- Autres dissymétries d'un driver
- Mesure de dissymétrie d'une paire
- Modélisation d'une dissymétrie
- Les 2 modes de propagation
- Matrice  $Z_c$  d'une ligne différentielle
- $Z$  pair et  $Z$  impair (Zodd et Zeven)
- Options de routage en stripline
- Choix des topologies de ligne
- Exemples de lignes différentielles
- Émission rayonnée de ligne différentielle
- Précautions d'implantation - routage

#### 8 - Composants de protection

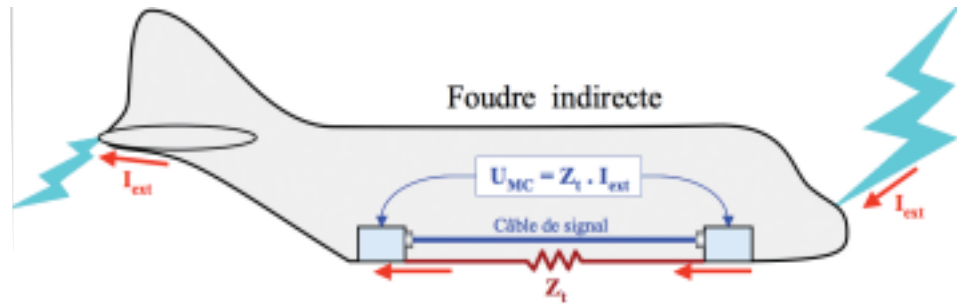
- Taux de panne (courbe de fiabilité)
- Causes de vieillissement
- Loi d'Arrhenius
- L'électromigration
- Vieillissement des optocoupleurs
- Phénomène de "latch-up"
- Respect des valeurs maxi absolues
- Protection en entrée d'alimentation
- Diodes d'écrêtage ("clamping")
- Choix d'un schéma d'écrêtage
- Nécessité de filtrage passe-bas
- Tenue des résisteurs en impulsion
- Synthèse d'un filtre passe-bas
- Réponses indicelles de passe-bas
- Réponse de passe-bas en impulsion
- Amortissement d'un circuit L-C
- Filtres en cascade
- Combinaison passe-haut + passe bas
- Filtres à capacité commutée
- Autres filtrages linéaires
- Schéma équivalent d'un condensateur
- Absorption diélectrique
- Choix d'un condensateur
- Filtrages non linéaires - exemples
- Filtrage par traitement du signal
- Limiteurs de surtension
- Tension aux bornes d'un Transzorb
- Calcul d'une diode Transzorb
- Impédance de transfert de câble
- Effet réducteur de câble blindé
- Types de câbles blindés
- Choix d'un câble blindé
- $Z_t$  d'un connecteur blindé

#### 9 - Modélisation en IS

- Pourquoi simuler l'IS ?
- Limites des mesures
- Solveurs PEEC ou SPICE

- Modèle PEEC et paramètres S
- Effet de peau en temporel
- Échelon avec pertes en F0,5
- Modèle IBIS (norme 62014-1)
- Format de fichier IBIS
- Modèle ICEM (série 62433-x)
- Modélisation par blocs
- Exemple d'émission conduite
- Modèle LECCS - I/O
- Immunité d'un circuit intégré
- Modélisation ICIM (série 62132-x)
- Exemple de susceptibilité de CI
- Écarts de résultats entre codes
- Artefacts de simulation
- Solveurs de champs
- Modélisation d'une inductance
- Validation d'un code
- Limites en précision
- Validation d'un résultat
- Maîtrise des marges

Ce stage expose l'environnement électromagnétique sévère des avions, dont la foudre et les champs forts. Il présente les exigences des cahiers des charges des avionneurs et des tests de CEM DO160 ou MIL-STD-461, variables selon l'appareil et la localisation des équipements. Il propose les règles générales de conception pour satisfaire les exigences de CEM, démonstrations pratiques à l'appui.



**Ce stage de trois jours s'adresse aux ingénieurs et techniciens chargés de développer, de mettre au point ou d'intégrer des équipements ou systèmes aéronautiques. Il n'exige pas de connaissance spécifique préalable.**

### 1 - Introduction

- La CEM et la fonctionnalité
- Méthode d'analyse de la CEM
- Qualification et maîtrise des marges
- Les 6 couplages électromagnétiques
- Mode différentiel et mode commun
- Basses et hautes fréquences
- L'échelle des décibels
- Détection d'enveloppe
- Marge de bruit
- Immunité hors bande des circuits
- Zonage d'un avion

### 2 - Vue d'ensemble de la DO160

- Essais d'émission et d'immunité
- Section 15 : Effet magnétique
- Section 16 : Entrées de puissance
- Section 17 : Pics de tension
- Section 18 : Susceptibilité audiofréquence
- Section 19 : Induction sur les signaux
- Tests d'immunité conduite
- Section 20 : Susceptibilité RF
- Limites d'immunité RF
- Les tests de BCI
- Section 21 : Émission d'énergie RF
- Mesure des perturbations conduites
- RSIL 5 et 50  $\mu$ H et leurs effets
- Mesures à la pince de courant
- Limites d'émission RF en conduction
- Limites d'émission RF en rayonnement
- Section 22 : Effets indirects de la foudre
- Les 5 formes d'onde induites par la foudre
- Catégories de la DO160 ou MIL-STD
- Section 23 : Effets directs de la foudre
- Charges statiques de structure
- Section 25 : Décharges électrostatiques

### 3 - Convertisseurs de puissance

- Convertisseur aéronautique : particularités
- Mode commun d'une alimentation
- Mode commun entrée à sortie
- Différences entre RSIL 5  $\mu$ H et 50  $\mu$ H
- Filtrage du mode commun
- Réduction du mode commun entrée à sortie
- Pièges des filtres d'alimentation
- Mode différentiel d'une alimentation
- Filtrage du mode différentiel
- Amortissement d'une résonance
- Bruit de recouvrement des diodes
- Harmoniques d'un pont dodécaphasé
- Différences de niveau entre lignes
- Influence de la puissance fournie

### 4 - Couplage par impédance commune

- Impédance commune dans un câble
- Impédance d'un plan de cuivre
- Impédance des conducteurs / pistes
- Principe de découplage
- Cartes mixtes analogique / numérique

- Impédances "cachées" d'un connecteur
- Impédance de transfert d'un avion
- "Ground Reference fluctuation" (GRF)
- Nombre de couches et de plans de 0 V

### 5 - Couplage carte à châssis

- Couplage capacitif carte à châssis
- Capacité totale entre carte et masse
- 0 V flottant : dispositions mécaniques
- Raccordement du 0 V au châssis
- Réduction de "l'effet de main"

### 6 - Diaphonies

- Diaphonies capacitive et inductive
- Diaphonies dans les câbles plats
- Diaphonie dans les faisceaux
- Réduction des problèmes de diaphonie

### 7 - Couplage champs à câbles

- Tension de boucle
- Calcul d'une tension de boucle
- Réduction du couplage champ à boucle
- Courant d'antenne
- Effet du plan de masse
- Calcul du courant de BCI
- Réduction du couplage champ à fil

### 8 - Émission rayonnée

- Rayonnement d'une petite boucle
- Enveloppe du spectre rayonné en MD
- Réduction du rayonnement à la source
- Évolution des spectres rayonnés
- Courants de mode commun HF
- Spectre du rayonnement des câbles
- Réduction du courant de MC des câbles

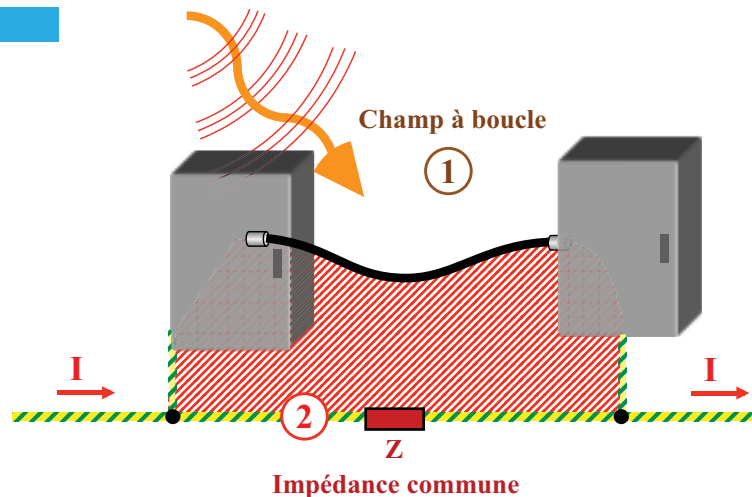
### 9 - Filtres et limiteurs de surtensions

- Types de limiteurs de surtensions
- Nécessité d'un filtrage passif en entrée
- Tenue d'une résistance en impulsion
- Puissance de Transzorb selon son boîtier
- Tension résiduelle crête d'une Transzorb
- Dimensionnement d'une Transzorb
- Composants anti-mode commun BF
- Immunité d'une liaison différentielle
- Exemples de filtres en aéronautique
- Impédances des tores de ferrite

### 10 - Câbles et coffrets blindés

- Impédance de transfert d'un câble blindé
- Calcul de la tension résiduelle induite
- Effet réducteur d'une paire blindée
- Efficacité de blindage selon  $Z_t$
- Raccordement des connecteurs blindés
- Mise en œuvre des câbles blindés
- Fente dans un blindage
- Résonance géométrique de coffret
- Joints conducteurs / vitres blindées
- Mise au point d'un blindage
- Améliorations d'un blindage réel

Ce stage s'adresse aux concepteurs, intégrateurs et agents de maintenance d'installations et de systèmes. Illustré par de nombreux exemples pratiques et manipulations, il ne nécessite aucune connaissance préalable particulière.



Impédance commune

*L'objectif principal de ce stage est de clarifier les "règles de l'art" trop souvent empiriques et mal appliquées.*

*Ainsi, les pratiques encore courantes des terres séparées, des masses en étoile, des ouvertures des boucles de masse, etc. sont remises en cause et leurs limites de validité nettement définies. Les principales causes de perturbations sont discutées et les meilleurs remèdes proposés. Les phénomènes sont expliqués "avec les mains" afin que chacun comprenne la cause réelle des perturbations. Un cours simple sur un sujet réputé difficile.*

### 1. Introduction

- Exemples de perturbations entre systèmes
- Définitions / unités
- Evolutions des électroniques
- Détection d'enveloppe
- Réciprocité émission / susceptibilité
- Réciprocité temps / fréquence

### 2. Perturbations conduites

- Perturbations de mode différentiel
- Perturbations de mode commun
- Impédance commune
- Equipotentialité des masses
- Impédance d'un maillage
- Couplage carte à châssis
- Diaphonies

### 3. Perturbations rayonnées

- Qu'est-ce qu'un champ EM ?
- Champ électrique / magnétique
- Propagation et réflexion des champs
- Effet des champs EM sur les conducteurs électriques
- Fréquences critiques, ordres de grandeur
- Exposition humaine aux champs EM

### 4. Sources de perturbations

- Champ rayonné par un émetteur radio
- Appareils industriels haute fréquence
- Décharges électrostatiques
- Caractéristiques de l'agression foudre
- Effets de la foudre
- Surtensions à l'ouverture des bobines
- Sources de champ magnétique à 50 Hz
- Ponts redresseurs
- Alimentations à découpage
- Variateurs de vitesse

### 5. Alimentation électrique

- Qualité du réseau d'alimentation
- Impact des régimes de neutre sur la CEM
- Schéma TT
- Schémas TN-C et TN-S
- Schéma IT

### 6. Terres

- Rôles de la terre, du neutre, du PE
- Faut-il plusieurs terres ?
- Mesures de la résistance de terre
- Constitution d'un réseau de terre
- Unicité, equipotentialité, maillage
- Protection d'un bâtiment contre la foudre
- Connexion d'un paratonnerre à la terre
- Réglementations et mises à la terre

### 7. Réseaux de masse

- Masses en étoile et boucles de masse
- Effet des boucles de masse
- Réseau de masse maillé
- Liaison à la masse des équipements
- Chemins de câbles et structures conductrices

- Câblage en îlots : armoires, salles techniques
- Connexions des masses à la terre

### 8. Câbles d'interconnexion

- Blindage d'un câble
- Où raccorder les écrans ?
- Nouvelles règles de l'art
- Mise en œuvre de la connectique
- Liaisons bas niveau
- Liaisons numériques
- Isolements galvaniques
- Transformateurs d'isolement
- Classification des câbles, règles de câblage
- Cas spécifiques

### 9. Protections et filtrage

- Limiteurs de surtensions
- Eclateurs / parafoudres / limiteurs
- Montage des parafoudres
- Choix et montage d'un filtre secteur
- Rôle des ferrites
- Choix et mise en œuvre des ferrites

### 10. Ecrans et blindages

- Rôle et fonctionnement d'un blindage
- Fuites de blindage
- Traitement des ouvertures
- Joints conducteurs, contacts, continuité
- Baies et coffrets faradisés
- Exemples d'écrans magnétiques
- Solutions pratiques

### 11. Installation

- Choix des solutions CEM
- Maillage des structures
- Pénétrations des conducteurs
- Coordination des protections
- Transmission de signaux
- Liaisons cuivre ou fibre optique ?

### 12. Validation

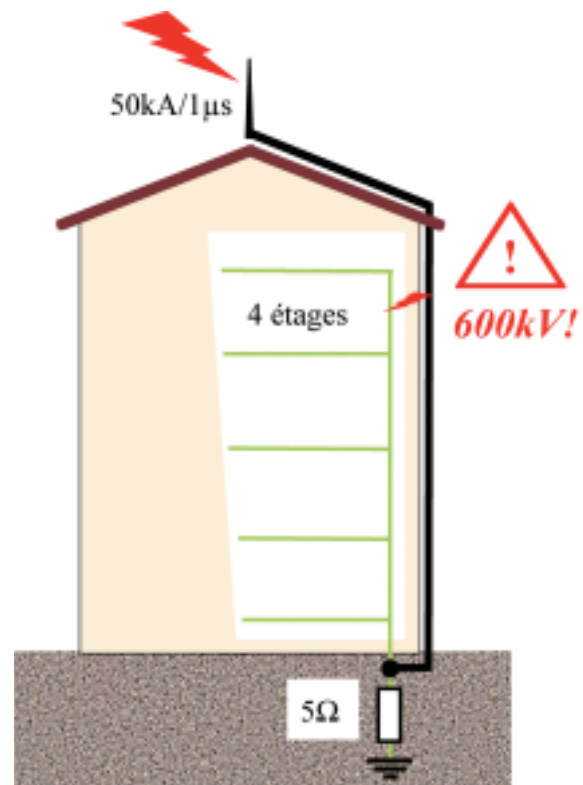
- Comment évaluer l'immunité d'un système ?
- Contrôle des connexions de masse
- Tests d'immunité sur site
- Choix du générateur de test
- Immunité aux transitoires rapides en salves
- Immunité aux Talkies-Walkies

### 13. Remèdes

- Pannes CEM : quels réflexes ?
- Diagnostics et analyse sur site
- Méthode de correction
- Instrumentation spécifique
- Utilisation de la pince Ampèremétrique HF
- Utilisation de la sonde de Moebius
- Ordres de grandeurs, exemples de remèdes
- Surblindage sur site
- Utilisation d'un plancher conducteur
- Cas pratiques

Ce stage a pour but de vous présenter le phénomène foudre, ses effets et les moyens de protection.

Après une définition pratique de la compatibilité électromagnétique et du phénomène foudre, nous proposons des règles simples à prendre en compte lors de la mise en œuvre de systèmes électriques ou électroniques sur site.



*Ce stage intensif s'adresse à toutes les personnes concernées par la mise en œuvre ou par la maintenance des sites industriels ou tertiaires. Aucune connaissance de base en compatibilité électromagnétique et en mathématique n'est indispensable.*

### 1 - Généralités

- Les chiffres, l'histoire.
- Compatibilité Electromagnétique.
- Mode différentiel / Mode commun.
- Conversion temps fréquence.
- Impédance des conducteurs.

### 2 - Phénomène foudre

- Le nuage de la foudre.
- Phénomènes précurseurs.
- La décharge atmosphérique.
- Valeurs typiques d'un choc de foudre.
- La foudre en boule.

### 3 - Les effets de la foudre

- Effets sur les structures.
- Effets sur les conducteurs.
- Effets sur les lignes électriques.
- Protection par fils de garde.
- Risques d'amorçages.
- Rayonnement d'un choc indirect.

### 4 - Protection foudre : structure externe

- Principe général.
- Modèle électrogéométrique.
- Dispositifs de capture.
- Structures de descente.
- Terre.
- Maillage.

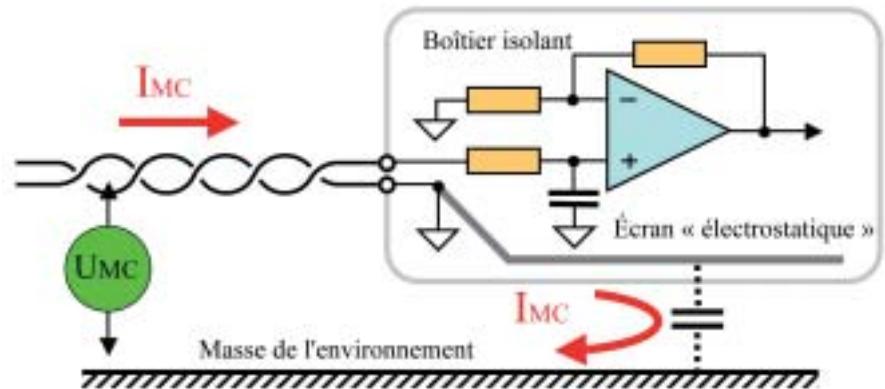
### 5 - Protection des liaisons

- Boucles de masse / boucles entre masses.
- Maillage des conducteurs de masse.
- Effets réducteurs.

### 6 - Composants de protection

- Eclateurs.
- Varistances.
- Dimensionnement des protections.
- Coordination des protections.
- Mise en œuvre des parafoudres.

Ce stage a pour but la maîtrise des installations de mesures sensibles dans la recherche et l'industrie. Après un rappel des sources de perturbations et de couplages, une partie importante du programme est consacrée à la mise en œuvre des liaisons et aux choix des moyens de mesures.



*Ce stage s'adresse aux ingénieurs, techniciens et câbleurs impliqués dans la mise en œuvre de mesures de signaux, principalement à bas niveaux ou en environnement perturbé. Aucune connaissance préalable en CEM n'est requise mais une expérience en électricité ou en électronique est souhaitable.*

### 1 - Introduction

- Rôles d'une terre.
- Terre, masse et 0 V.
- Classes d'environnements.
- Mode commun et mode différentiel.
- Ordres de grandeur des perturbations.
- Rapport S/B et marge d'immunité.
- Détection d'enveloppe.

### 2 - Les 6 couplages

- Couplage par impédance commune.
- Impédance des conducteurs.
- Problème de la masse en étoile.
- Chainage des 0 V.
- Couplage capacitif carte à masse.
- Couplages par diaphonie.
- Couplage "champ à boucle".
- Couplage "champ à fil".

### 3 - Perturbations BF

- Vrai mode commun et mode commun filaire
- Les 4 schémas de neutre.
- Ordre de grandeur des courants dans les masses
- Le danger des terres séparées.
- Sources de champ magnétique 50 Hz.
- Sources de champ électrique 50 Hz.

### 4 - Perturbations HF

- Rayonnement des émetteurs radio.
- Conversion à découpage.
- Variateurs de vitesse.
- Reclaquage de contacts secs.
- Pertes dans les câbles.

### 5 - Réseaux de masse

- Problèmes des boucles entre de masse.
- Avantage des boucles entre masses.
- Les boucles dans les systèmes modernes.
- Impédance d'un maillage.
- Maillage par îlots.
- Liaison entre baies.
- Exemples de maillage.

### 6 - Réjection du mode commun et filtrage

- Le problème du mode commun.
- Réjection du MC par isolement.
- Appareils gardés.

- Transformateurs d'isolement.
- Utilisation d'optocoupleurs.
- Amplificateurs d'isolement.
- Convertisseurs DC – DC.
- Liaisons symétriques.
- Dissymétrie d'une paire.
- Filtrage des capteurs.
- Dissymétrie des filtres d'entrée.
- Réjection hors-bande dès l'entrée.
- Filtrage des entrées / sorties.
- Selfs de mode commun.
- Filtrage d'alimentation.
- Protection contre les surtensions.

### 7 - Câbles blindés

- Principe de l'effet réducteur.
- Mesure simple d'un effet réducteur.
- Effet réducteur d'un chemin de câble.
- Raccordement des écrans de câbles.
- Câblage des capteurs bas-niveaux.
- Terminaison des blindages.
- Exemples pratiques.
- Impédance de transfert d'un câble.
- Classification des signaux.
- Règles de câblage et de pose.
- Écrans "électrostatiques".
- Câbles triaxiaux.
- Choix de la connectique.

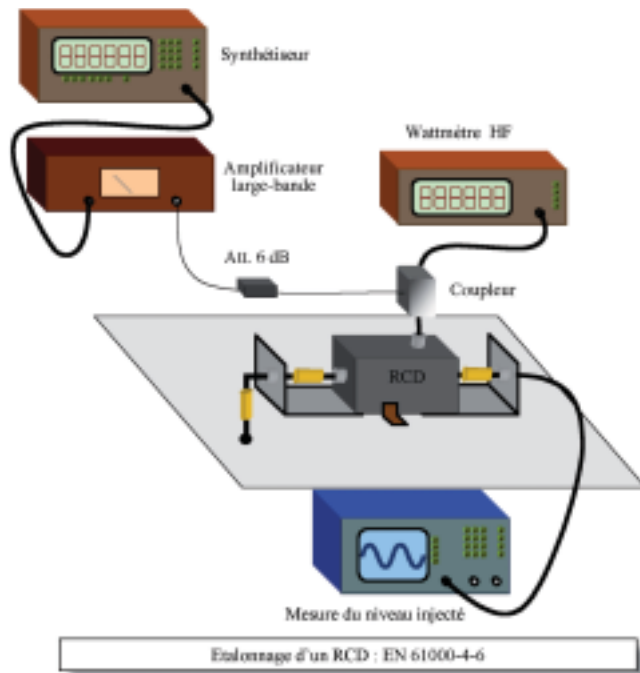
### 8 - Mesures et solutions CEM

- Impédance caractéristique.
- Mesure d'un bruit de 0 V.
- Mesure de tension entre masses.
- Câbles à haute immunité.
- Sondes d'oscilloscope.
- Sondes différentielles.
- Coffrets blindés.
- Test d'immunité BF.
- Plaques de transitoires.
- Câblage d'une armoire.
- Coaxiaux à forts courants.
- Amélioration de mesure coaxiale.
- Retour de courant par les masses.
- Exercice et solution.
- Corrections CEM sur site.

Ce stage intensif de cinq jours s'adresse aux ingénieurs et techniciens concernés par les essais de CEM. Il se déroule en 2 parties :

- 1<sup>ère</sup> partie (4 jours) : Description des essais normalisés avec démonstration expérimentale réalisée par l'instructeur pour comprendre leurs risques et leurs difficultés.
- 2<sup>ème</sup> partie (le dernier jour) : Travaux Dirigés en présence de 2 instructeurs afin que chaque stagiaire se familiarise avec les appareils et méthodes présentés durant la première partie.

Une formation utile avant une création de labo CEM ou un suivi pertinent d'une qualification dans un labo extérieur.



*Ce stage permet aux participants de comprendre et de maîtriser les mesures et tests normalisés en CEM. Les difficultés de ces essais (installation, erreurs, validité, reproductibilité) sont clairement exposées.*

### 1 - Introduction - Rappels

- Rappels des réglementations.
- Grandeurs et unités.
- Puissance et tension.
- Décibels
- Perturbation bande étroite / bande large.
- Réciprocité des couplages.
- Plan de contrôle CEM.
- Organisation d'un laboratoire CEM

### 2 - Principes des analyseurs et récepteurs

- Représentation d'un signal.
- Analyseur FFT.
- Analyseur de spectre.
- Récepteur de mesure.
- Mesureurs C.I.S.P.R.

### 3 - Emission conduite

- Classification des matériels selon CISPR RSIL.
- Mesures au RSIL.
- Sonde de tension.
- Pincés de courant et pince absorbante.
- Claquements CISPR
- Erreurs en émission conduite.
- Courants harmoniques : CEI 61000-3-2

### 4 - Emission rayonnée

- Définition des champs EM
- Emission en rayonnement
- Spectre radioélectrique.
- Site CISPR
- Antennes utilisées en CEM.
- Facteur d'antenne et gain d'antenne.
- Cages de Faraday et matériaux absorbants.
- Site en champ libre, calibration d'un site
- Erreurs en émission rayonnée.

### 5 - Mesures d'immunité

- Norme CEI 61000-4-X.
- Organisation des essais d'immunité.
- Evaluation des résultats d'essais

- Formes des impulsions.

### 6 - Immunité conduite

- Test aux DES CEI 61000-4-2.
- Exemple d'installation d'essai.
- Test de TER/S 61000-4-4
- Application du test de transitoires rapides.
- Test aux ondes de choc CEI 6100-4-5.
- Réseaux de couplage
- Test d'immunité en M.C. CEI 61000-4-6.
- CEI 61000-4-6 : Mise en œuvre.
- Creux de tension et variations de tension.
- Onde oscillatoire amortie
- Erreurs fréquentes en immunité conduite

### 7 - Immunité en rayonnement

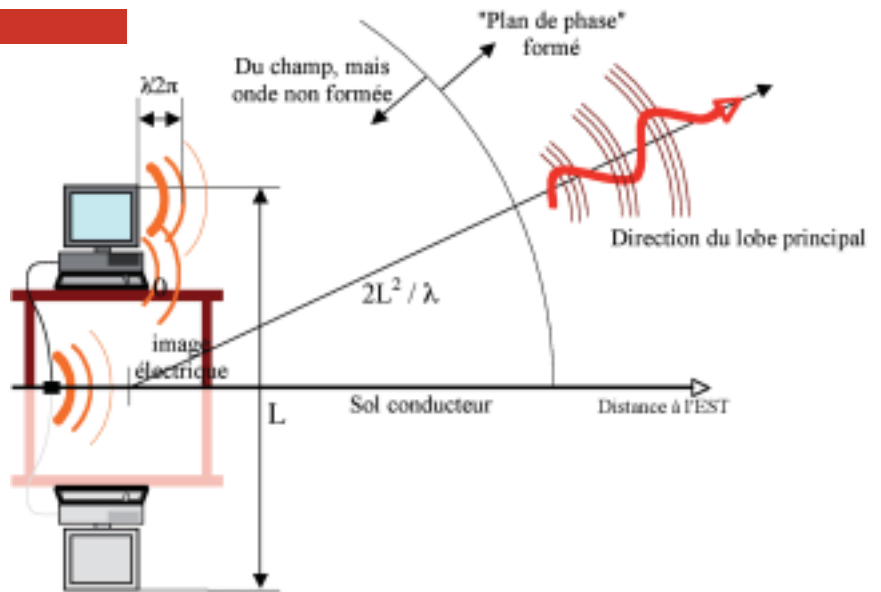
- Immunité en rayonnement radio.
- Classes CEI 61000-4-3.
- Amplificateurs de puissance.
- Expositions humaines aux champs EM
- Immunités aux champs forts.
- Erreurs en immunité rayonnée.

### 8 - Conclusion

- Résumé des différents essais.
- Résumé des mesures CEM.
- Causes de destruction de matériels.
- Abréviations en CEM
- Bibliographie

Ce stage intensif de cinq jours s'adresse aux ingénieurs et techniciens souhaitant maîtriser les difficultés des mesures de CEM.

Les participants devraient avoir préalablement suivi la formation Mesures de CEM – Module 1, ou bénéficier d'une réelle expérience de laboratoire de mesure en CEM.



*Ce stage de haut niveau permet aux participants de comprendre et d'éviter les nombreux pièges des mesures et tests de CEM et de l'utilisation des appareils de mesure. Chaque point important est mis en évidence par des démonstrations. Bien comprendre les erreurs des mesures est la meilleure méthode pour les éviter.*

### 1 - Introduction - Rappels

- Unités et acronymes.
- L'échelle des décibels.
- Les 3 modes en conduction.
- Bande étroite / bande large.
- Spectre et densité spectrale.
- RBW (IF BW) normalisées.
- Cohérence d'un bruit.
- Réponses des détecteurs CISPR.
- Erreurs selon le type de détecteur.

### 2 - Antennes

- Champ couplé / Plan de phase.
- Gain, directivité et aire équivalente.
- Résistance de rayonnement.
- Hauteur effective.
- Facteur d'antenne.
- Étalonnage des antennes.
- Méthode des deux/trois antennes.
- Antennes cadre ou de Van Veen.
- Champmètre électrique.
- Capteur E ou H / préampli associé.
- Facteur de sonde de Möbius.
- Sondes de champ proche.
- Problèmes de mesure du champ E.

### 3 - Mesures temporelles

- Bande passante et forme d'onde.
- Mesure d'un temps de transition.
- Correction d'un temps de montée.
- Bande passante d'échantillonnage.
- Mesure d'impulsion très courte.
- Erreurs des sondes de tension.
- Chaîne de mesure à fibre optique.
- Difficultés de mesure temporelle.
- Principe des analyseurs à FFT.
- Fenêtrage ("windowing").
- "Ripple" des filtres de FFT.
- Taux et facteur de distorsion.
- Récepteurs avec analyse par FFT.
- Valeur moyenne / efficace vraie.
- Erreurs fréquentes en temporel.

### 4 - Difficultés en fréquentiel

- Synoptique d'analyseur de spectre.
- Analyse spectrale BE / BL.
- Générateur de poursuite / ajustage.
- Bruit gaussien (théorique).
- Température et facteur de bruit.
- Bruit de deux étages en cascade.
- Confusions de RBW...
- Bruit selon le mode de détection.
- Points d'interception PI2 et PI3.
- Mesures pratiques de PI2 et PI3.
- Produits de distorsion.
- Produits d'intermodulation / calcul.
- Bruit de phase.
- Passage de BL en BE.
- Spectre d'impulsions répétitives.
- Filtrage d'impulsions par VBW.
- "Smoothing" post-détection.
- Durée de balayage selon le dwell.
- Amplitude somme de 2 signaux.
- Erreur par proximité du bruit.
- Erreurs fréquentes en fréquentiel.

### 5 - Incertitudes de mesure

- Erreur maximale de mesure.
- Incertitudes liées au R.O.S.
- R.O.S et facteur de réflexion (RL).
- Erreurs dues à une réflexion.
- Réduction du ROS par atténuateur.
- Calcul d'atténuateurs.
- Perte de puissance par ROS / RL.
- Incertitudes d'un étalonnage.
- Distributions de probabilité.
- Loi de propagation de l'incertitude.
- Divers sens du mot "incertitude".
- Analyse des sources d'incertitude.

- Incertitude type/composée/élargie.
- EMT, étalonnage et vérification.
- Critères de jugement : les 4 cas.

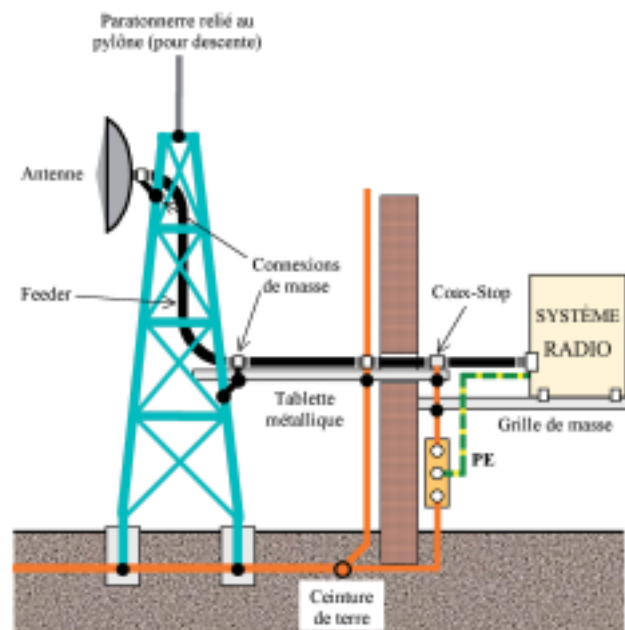
### 6 - Montages d'aide

- Les divers réseaux fictifs CISPR.
- Autres réseaux de couplage CEI.
- RSIL 5μH aéronautique.
- Problèmes de mesure au RSIL.
- Calcul d'un capteur de courant.
- Vérification d'une pince courant HF.
- Problèmes de mesure à la pince.
- Séparateur monophasé MC / MD.
- Mesure d'un bruit de masse.
- Normes CEM de circuits intégrés.
- Émission de CI en champ proche.
- Coupleurs directifs.
- Fonction de transfert.
- Connecteurs coaxiaux.
- Impédance de transfert / mesure.
- Mesure de dissymétrie de paire.
- Coupleur directif / Vérification.
- Mesure pratique de Zc.
- Analyseur vectoriel (de réseau).
- Perte d'insertion / Paramètres S.
- Boîte de mesure d'impédance.
- Mesure d'atténuation de blindage.

### 7 - Tests d'immunité

- Impulsion sinus / cosinus amorties.
- Tests aéronautiques courant foudre.
- Composantes foudre A, B et C.
- DO160 – 6 Formes d'ondes foudre.
- Multiple burst / multiple strokes.
- Transitoires induits selon DO160.
- Immunité « BF » de l'alimentation.
- Susceptibilité aux signaux induits.
- Principe des wattmètres HF.
- Détecteur à diode : effet de la M.A.
- Problèmes des amplis large bande.
- Immunité à la pince (BCI).
- Chambre réverbérante / brasseur.
- Validation / Immunité en CRBM.
- Effet de proximité d'une tôle.
- Cellule TEM (de Crawford).
- Immunité aux RCD.
- Problèmes des tests d'immunité.
- Limites de l'exposition humaine.
- Effet biologique d'une impulsion.
- Bibliographie / Sites web.

Ce stage intensif de quatre jours s'adresse aux ingénieurs et techniciens chargés d'analyser et de résoudre les problèmes de radio (propagation, désensibilisation, blocage, produits d'intermodulation, évolutions de site, fading, etc). Il s'adresse aussi aux techniciens chargés de l'installation ou de la maintenance de sites radio, en proposant des remèdes éprouvés contre les brouillages et la foudre.



**Ce cours présente tout d'abord les bases de la radioélectricité : antennes, propagation, bilan de liaison et les difficultés des mesures sur site. Les divers problèmes radioélectriques sont clairement expliqués, avec leur méthode d'analyse et les remèdes adaptés. Des recommandations permettent de corriger des cahiers des charges mal définis ou des installations défectueuses.**

## 1 - Introduction

- Aspects de CEM impliquant la radio
- Spectre et liaisons radioélectriques
- Modulations AM, FM, M ou OFDM
- Rappels sur les décibels et conversions
- Perturbations bande étroite/bande large

## 2 - Base de l'électromagnétisme

- Qu'est-ce qu'un champ et une onde ?
- Impédance des champs selon la distance
- Zones de Fresnel et de Fraunhofer
- Antenne isotrope de référence
- Antennes : directivité, gain, impédance
- Facteur d'antenne / aire de réception
- Équations et formules de conversion

## 3 - Notion de propagation

- Propagation en espace libre
- Modèles de propagation
- Modèle de Okumura Hata
- Effets de l'atmosphère / ionosphère
- Réception radio en déplacement
- Réflexions et phénomène de fading
- Distribution de Nakagami et Rice

## 4 - Bruits

- Facteur de bruit en réception
- Principales sources de parasites
- Distribution de probabilité d'amplitude
- Taux d'erreurs binaires (BER ou 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")
- Détecteurs CISPR
- Mesures de crête ou de valeur moyenne
- Points d'interception PI2 et PI3
- Bruit d'étages en cascade
- Bruit de phase
- Pertes des câbles coaxiaux
- Impédance de transfert
- Choix d'un connecteur coaxial
- R.O.S. et "Return Loss"
- Incertitudes des mesures en radio
- Exemples d'analyses spectrales

## 6 - Émetteurs / Récepteurs

- Principe d'un émetteur et modulateur
- Rayonnements non essentiels (RNE)
- Spectre d'un émetteur radio
- Facteur de conversion d'une sortie
- Principe d'un récepteur radio
- Sélectivité / rapports de protection
- SINAD et BER avec codage
- Mesure du blocage
- Principaux services radio

## 7 - Analyse des brouillages

- Les 5 types de brouillages
- Paramètres de partage entre services
- Brouillage co-canal ou canal adjacent
- Blocage du récepteur
- Intermodulation en réception
- Intermodulation à l'émission
- Intermodulation par structures / aériens
- Calcul des produits d'intermodulation
- Calcul de compatibilité entre services

## 8 - Maîtrise des sites

- Optimisation du système d'émission
- Coupleurs directifs
- Techniques de multiplexage
- Coupleurs hybrides et diplexeurs
- Circulateur, isolateur et leur réglage
- Découplage des antennes
- Multiplexage pratique des services

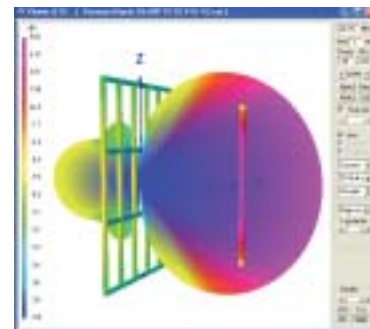
## 9 - Protection foudre

- Élévation de potentiel du sol
- Rayonnement d'un choc de foudre
- Pénétration et protection des coaxiaux
- Dispositifs de protection VHF / UHF
- Montage des parafoudres télécom

## 10 - Normalisation et réglementation

- Normes de l'ETSI
- Directive R&TTE 1999/5/CE
- Procédures d'évaluation et marquage
- Mesures normalisées en radio
- Acronymes et bibliographie en radio





Ce stage appliqué s'adresse aux concepteurs, installateurs, et techniciens de maintenance des réseaux de radiocommunications professionnelles privées (RPP / PMR).

Ce stage expose le dimensionnement de ces réseaux, la couverture radio, les marges de fonctionnement et la CEM des systèmes radio.

*Ce stage intensif présente les notions de l'électromagnétisme des antennes, leurs coupleurs, la propagation des ondes dans des milieux complexes, les modulations et démodulations numériques, les dimensionnements de réseaux, les mesures pour les audits et les corrections en maintenance. L'aspect pratique consiste en démonstrations de logiciels libres et en mesures réalisées par l'instructeur. Les couches physiques seront étudiées mais ni les couches logicielles, ni les réseaux publics. Aucune connaissance en mathématiques supérieures n'est requise.*

## 1 - Introduction

- Introduction aux réseaux de radiocommunications
- Réseaux publics et réseaux PMR
- Couches physiques

## 2 - Electromagnétisme des antennes et principe de leurs coupleurs

- Les champs électromagnétiques
- Voir les champs avec les applets JAVA Falstad
- Le rayonnement d'un fil
- Les relations de Hertz
- Impédance d'onde, source électrique, source magnétique
- Différents types d'antennes
- Les champs proches et les champs lointains
- Hauteur efficace ; facteur d'antenne, directivité, gain
- Impédance d'une antenne, bande passante
- ROS, VSWR, diagramme de Smith.
- Démonstration du logiciel Smith
- Paramètres S
- Les diagrammes de rayonnement 1D, 2D, 3D
- Les réflecteurs
- Le tilt
- Les groupements d'antennes
- La fabrication d'un diagramme de rayonnement avec FALSTAD et 4NEC2X
- Antennes pour milieux fermés : câbles rayonnants
- Découplage d'antennes par polarisation, éloignement
- Cartes de champs électromagnétiques avec le logiciel 4 NEC2X
- Formulaire d'antennes
- Comprendre les données techniques d'une fiche technique

## 3 - Propagation, les modèles

- La propagation en espace libre
- Champs, puissance, gain, distance : relation de Friis
- Zones et ellipsoïdes de Fresnel
- Effet des obstacles
- Effet de la hauteur d'antenne
- Les 3 sources de fading pour un mobile
- Diversité de fréquence, de polarisation et d'espace
- Propagation en tunnel
- Simulation de couverture : modèle de OKUMURA HATA
- Simulation de couverture : importation de données SIG

- Comparaison entre calcul et mesures (Modèle de Longley Rice)
- Logiciel de simulation de couverture radio : Radiomobile

## 4 - Principe des coupleurs d'antennes, des protections

- Câbles coaxiaux : atténuation, impédance de transfert
- Connecteurs d'antenne, Intermodulation
- Systèmes de couplage d'antennes
- Coupleur / diviseur de Wilkinson
- Le coupleur hybride 90°, 3dB
- Association de coupleurs
- Diplexeurs en pont à cavités
- Multiplexeur à point commun
- Association multiplexeur – diplexeur
- Circulateurs
- Isolateurs
- Maîtrise des sites
- Multiplexage des services
- Non-linéarités et leurs sources , IP3
- Bruits des récepteurs et émetteurs, en phase, en amplitude
- Démonstrations du simulateur RF QUCS Studio

## 5 - Les modulations et les démodulations analogiques et numériques

- Signal et spectre
- Analyse de Fourier ; spectres en raies et spectres continus
- Modulation analogique / Démodulation analogique
- Occupation spectrale : formule de Carson
- Comparaison numérique / analogique
- Synoptique d'une transmission numérique
- Représentation de modulations numériques, constellations
- Les modulations NRZ, FSK, MSK, GMSK, CDMA, OFDM
- Efficacité spectrale des modulations numériques
- Bruits en radio et environnements
- Influence du bruit et des fadings sur les modulations numériques
- La qualité des liaisons en numérique (TEB ou BER)
- Relation entre le débit, la largeur de bande et le bruit
- Démonstration du simulateur de signaux numériques WinIQSim2

## 6 - Dimensionnement des réseaux radio

- Principes de conception des réseaux radioélectriques
- Estimation des besoins de trafic d'un réseau radioélectrique
- Probabilité d'échec
- Dimensionnement en situation normale et situation de crise
- Exemple d'un réseau de bus
- Qualité subjective et rapport S/B en analogique
- Effet du taux de disponibilité requis sur la couverture radio
- TEB / BER pour une liaison numérique
- Revue des paramètres influençant le TEB / BER
- Schéma d'une liaison radio standard
- Schéma d'une liaison avec obstacle
- Relais et répéteurs
- Les répéteurs passifs
- Les répéteurs actifs
- Zones de recouvrement
- Les réseaux quasi-synchrones
- Démonstrations du logiciel libre RadioMobile

## 7 - Maîtrise des rayonnements et protection des biens et des personnes

- Phénomène ionisant - phénomène non ionisant
- Mécanisme de couplage avec une onde électromagnétique
- Effets spécifiques ou non-thermiques
- Les limites d'exposition pour les personnes
- Les limites recommandées sur les pylônes et leur environnement
- Exemples de relevés sur sites ; CartoRadio
- Les intempéries
- Vents et effets climatiques
- La foudre ; Effets directs et indirects
- Pièges / 4, CoaxStop

## 8 - Audit et contrôle des sites en radiocommunications

- Gestion des cohabitations
- Liste des essais sur site
- Exemple de moyens d'essais et d'outillage
- Schéma d'un analyseur de spectre
- Mesures à l'analyseur de spectre
- Démonstration de l'atelier logiciel SpectrumLab
- Le wattmètre directif
- Les analyseurs de réseaux scalaires et vectoriels
- Abage de Smith ; Mesures et simulations de ROS d'antennes
- Les sources de perturbations
- Relevés de brouilleurs : émissions FM ; inversion DUPLEX
- Mesures de produits d'intermodulation
- L'oxydation dans les contacts

## 9 - Règlementation

- Les acteurs ART ; ANFR
- Exemples de textes de référence

Ce stage de 3 jours s'adresse aux techniciens et ingénieurs qui désirent inclure une fonction radio à courte portée (SRD, sans licence, moins de 0,5W) dans un équipement technique.

Après présentation de la directive RTTE 1999/5/CE (partie radio), les normes et les essais radio sont abordés.

Un exemple de dossier technique illustre le stage de façon à le rendre immédiatement opérationnel.



### 1 - Directive RTTE

- Directive 1999/5/CE : Domaine d'application
- Directive 1999/5/CE : Exigences essentielles
- Procédures d'évaluation de la conformité
- Annexe II : Contrôle interne de la fabrication
- Annexe III : Contrôle interne de la fabrication + essais spécifiques
- Annexe IV : Dossier de construction technique
- Annexe V : Assurance qualité complète
- Annexe VI : Organismes notifiés
- Annexe VII : Marquage des équipements
- Organisation des normes : équipement de classe 1, équipement de classe 2
- Subclasses
- Recommandation REC 70 - 03
- Le portail EFIS
- Normes harmonisées
- Bandes non harmonisées

### 2 - Liaisons Radio

- Caractéristiques du bruit en réception
- Bilan d'une liaison radio
- Puissance nécessaire à la conception
- Incertitude de mesure liée au ROS
- ROS et facteur de réflexion en dB
- Erreur due au ROS du récepteur
- Perte de puissance due au ROS

### 3 - Analyseur de spectre et récepteur de mesure

- Représentation d'un signal
- Puissance et tension
- Récepteurs de mesure
- Synoptique d'un mesureur de perturbations
- L'analyseur de spectre superhétérodyne
- Synoptique d'un analyseur de spectre
- Générateur de tracking

- Largeur d'analyse
- Les 3 principaux modes de détection
- Mesureurs CISPR
- Durée des essais
- Perte de puissance due au RL
- Amélioration du ROS par atténuateur

### 4 - Essais Radio

- Short Range Device (SRD) et directive RTTE
- Spécification des émetteurs : EN 300 220
- Méthode de substitution
- EN 300 220 : Dérive en fréquence
- EN 300 220 : Puissance d'émission
- EN 300 220 : Niveaux de rayonnement autorisés
- EN 300 220 : Spurious des émetteurs
- EN 300 220 : Largeur de modulation
- EN 300 220 : Stabilité en fréquence (batterie)
- EN 300 220 : Spécification des récepteurs
- Les 5 brouillages entre émetteur et récepteur
- Spurious des récepteurs
- EN 300 220 : Blocking / Désensibilisation

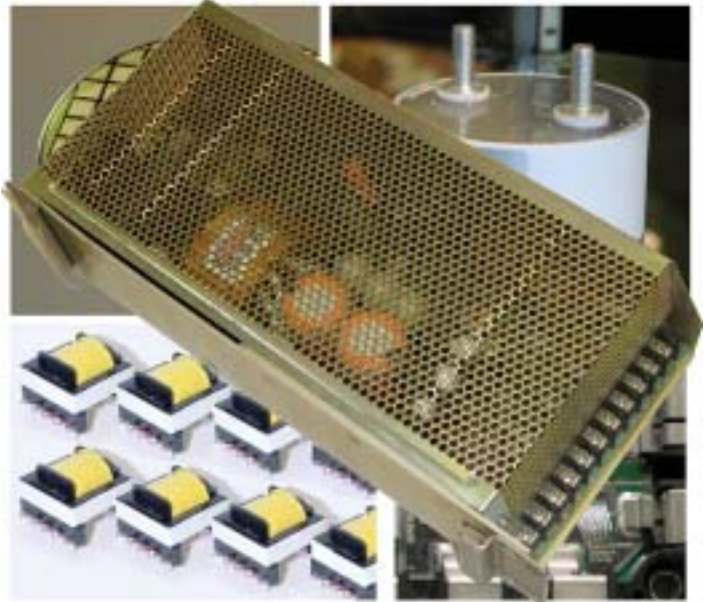
### 5 - Exemple de dossier technique

Les alimentations à découpage comprennent des semiconducteurs de puissance qui orientent les flux d'énergie vers des composants de stockage inductifs et capacitifs, des transformateurs, différentes charges...

Elles permettent de mettre l'énergie électrique sous la forme requise pour l'utilisation, tout en assurant un excellent rendement et une régulation précise.

La puissance va du W au GW.

Ce stage introduit au fonctionnement de ces convertisseurs, apprend à les dimensionner et à les mettre au point, et à choisir la structure la mieux adaptée à une application.



*Ce cours s'adresse aux ingénieurs et techniciens impliqués dans la conception d'équipements d'électronique de puissance.*

*Le bagage mathématique nécessaire correspond à Bac+2.*

### 1 - Introduction

- But de l'électronique de puissance
  - Adaptation de l'énergie électrique
- Principe de la commutation
  - Semiconducteurs de puissance
  - Stockages intermédiaires
- Fréquence et pertes de commutation
- Réglages
- Exemples d'applications

### 2 - Alimentations de charges statiques

- Pour chaque type : structure, fonctionnement, applications
- Convertisseurs continu/continu :
  - Buck, Boost
- Alimentations avec isolement :
  - Flyback, Forward
  - Push-pull
  - Demi-pont asymétrique
- Ponts
- Power Factor Correctors (PFC)
- Convertisseurs à résonance :
  - ZVS, ZCS
- Ponts à thyristors
  - Redresseur, onduleur autonome
  - Gradateur

### 3 - Alimentations de moteurs

- Types de moteurs électriques :
  - Synchrones, induction, balais
- Onduleurs, hacheurs

### 4 - Technologies Semiconducteurs

- Types
  - MOS, IGBT
  - Diode
  - Thyristor
- Contrôle des di/dt et dv/dt
- Dimensionnement :
  - Pertes conduction, commutation
  - Dissipation thermique

### 5 - Transformateurs H.F.

- Principe, dimensionnement
- Effet de proximité ; planar
- Inductances et capacités parasites

### 6 - Composants de stockage

- Inductances, condensateurs
- Technologies, matériaux
- Dimensionnement

### 7 - Câblage - Montage

- Inductance de commutation
  - Ligne bifilaire, Strip Line
- Capacité de mode commun

### 8 - Choix d'une structure

- Topologies pour applications
- Fréquence, impédance et puissance

### 9 - Commande semiconducteurs

- Isolement galvanique
- Alimentations auxiliaires
- Transmission des signaux

### 10 - Contrôle en boucle fermée

- Commutation et échantillonnage
- Fonctions de transfert :
  - Identification Puissance
  - Synthèse Commande
- Contrôle discret : transformée en Z
- Électronique de contrôle :
  - Amplificateurs, DSP, FPGA
  - Autres circuits intégrés
- Composants de mesure :
  - Courant, tension

### 11 - Simulation

- Réglage des convertisseurs
- Contraintes sur les composants
- Boucle fermée
- Logiciels

Cours dispensé par :

**Jacques LAEUFFER**

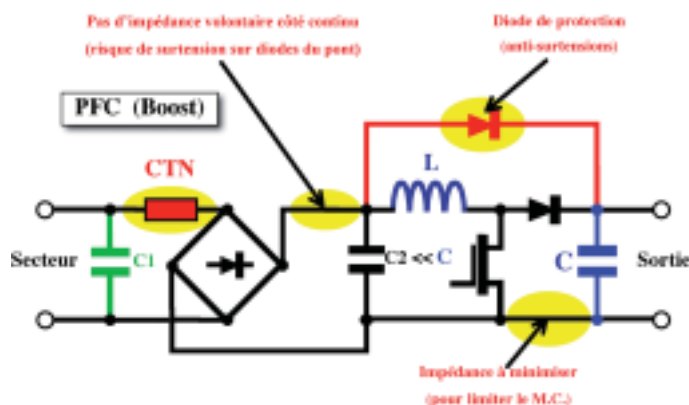
Ingénieur ENSIEG  
H.D.R. Paris 6

Ce stage explique et prédit de façon simple les perturbations conduites et rayonnées par les convertisseurs à découpage.

Une excellente méthode de mise au point et d'optimisation des filtres y est proposée.

Ce stage détaille tous les aspects de CEM à maîtriser : émission, immunité, choix des composants, de la technologie, erreurs à éviter...

Les points clés sont appuyés par des démonstrations pratiques claires et convaincantes.



**Ce stage de 4 jours s'adresse aux ingénieurs et techniciens chargés de développer ou de mettre au point un convertisseur (hacheur, alimentation, variateur de vitesse, PFC, onduleur...). Il n'exige aucune connaissance mathématique poussée, mais connaître les principales structures (buck, boost, pont en H) et les décibels est souhaitable.**

## 1 - Introduction

- L'échelle des décibels.
- Modes commun et différentiel.
- Spectre fréquentiel bande étroite.
- Densité spectrale d'une impulsion.
- Modes de détection et CISPR.
- Réseaux fictifs (RSIL).
- Normes et méthodes de mesure.
- Limites civiles, militaires et DO160.
- Spécificités en aéronautique.
- Limiteurs de surtensions.
- Les 5 types de perturbations.
- Charte de réactance BF.
- Le plan U . I.

## 2 - Immunité des convertisseurs

- Réponse du 2<sup>nd</sup> ordre à un échelon.
- Surtension à l'enclenchement.
- Le risque de latch-up.
- Normes d'immunité aux surtensions.
- Stabilité d'un convertisseur DC/DC.
- Varistances et leur mise en œuvre.
- Protection d'un PFC ou d'un boost.
- Le cas des surtensions longues.
- CTP et fusibles réarmables.
- Risque des optocoupleurs linéaires.
- Savoir lire les "data sheets".
- Inductances et capacités parasites.
- Routage d'un circuit de commande.
- Aspects de sécurité électrique.
- Conduction continue / discontinue.
- Règles pour une bonne immunité.
- Corrections CEM sur site.

## 3 - Convertisseurs de puissance

- MC et MD d'un pont de Graetz.
- Distorsion de l'onde d'alimentation.
- Facteurs de puissance et de forme.
- Distorsiomètre et mesure de THD.
- Effets d'un PFC sur la CEM.
- Pont dodécaphasé à autotransfo.
- Compensation statique / filtre actif.

- Recouvrement des diodes.
- Rôles et calcul d'un snubber.
- Mise au point pratique d'un damper.
- Convertisseurs multi-niveaux.
- Maîtrise des boucles à fort  $\Omega / \alpha$ .

## 4 - Perturbations de mode commun

- La question des  $\Omega / \alpha$ .
- Calcul d'une perturbation en MC.
  - Réduction des capacités chaudes.
  - Attention aux effets de bord.
  - Choix d'un bloc de commande.
  - Courants de MC sur câble interne.
  - Cas de 2 couplages en cascade.
  - Mode commun des hacheurs.
  - Mode commun entrée à sortie.
  - Faut-il faire flotter les sorties ?
  - Les 3 cas de MC entrée à sortie.
  - Mesure de courant entrée à sortie.
  - Transformateurs à écran interne.
  - Choix d'un écran de MC bobiné.
  - Alimentation sans self de MC.
  - Erreurs de topologie.
  - Séparateur monophasé MC / MD.
  - Spectre émis avant filtrage.
  - Perte d'insertion en MC.
  - Résonance d'un filtre de MC.
  - Attention aux filtres en cascade !
  - Choix de simple / double cellule.
  - Conversion MD - MC par le filtre.
  - Mode commun d'un pont en H.
  - MC d'un onduleur sans transfo.
  - Saturation d'une self de MC.
  - Méthodes de mesure et d'analyse.
  - Vue d'ensemble d'un gros convert.
  - Mode commun induit par champ H.
  - Résonance structurelle en MC.
  - Pièges des filtres d'alim en MC.
  - Méthode d'optimisation en MC.

## 5 - Perturbations de mode différentiel

- Impédance d'un condensateur.
- Calcul d'une perturbation en MD.
- Extraction des valeurs capa / self.
- Maîtrise du câblage.
- Erreurs les plus fréquentes.
- Critiques d'un filtre de CEM.
- Spectre en MD avant filtrage.
- Perte d'insertion en MD.
- Résonance d'un filtre de MD.
- Choix de simple / double cellule.
- Amortissement d'un L-C en MD.
- Filtrage sur un bus continu.
- MD induit par champ magnétique.
- Effets des RSIL 5  $\mu$ H / 50  $\mu$ H.
- Pièges des filtres d'alim en MD.
- Mesure d'une tension résiduelle.
- Réduction de bruit par multiphasés.
- Filtre définitif MC + MD.
- Influence de la puissance fournie.
- Différences entre phases.
- Petites alimentations capacitives.

- Filtrage optimal d'une petite alim.
- Procédure de mise au point.

## 6 - Rayonnement des convertisseurs

- Rayonnement en champ E et H.
- Petite boucle / petit fouet.
- Rayonnement du câble d'alimentation.
- Pot magnétique et rayonnement BF.
- Risque d'oscillation d'un pont en H.
- Sources de rayonnement HF.
- Réduction de l'émission à la source.
- Revue du tracé d'un convertisseur.
- Pièges en émission rayonnée.
- Réalisation d'une pince sensible.
- Évaluation de l'émission rayonnée.
- Tôle de référence de potentiel.
- Méthode de réduction de l'émission.

## 7 - Composants et structures

- Effet de proximité en alternatif.
- Effet de peau d'un fil en alternatif.
- Champ et induction magnétiques.
- Diagramme de Fresnel.
- Perméabilités magnétiques  $\mu'$  et  $\mu''$ .
- Attention aux ferrites à fort  $\mu$ .
- Épaisseur de peau des matériaux.
- Mesure de la perméabilité initiale.
- Les matériaux à très fort  $\mu$ .
- Saturation d'un tore magnétique.
- Capacité : Méthode de bobinage.
- Inductance à flux compensé (PFC).
- Bobinage haute tension / Paschen.
- Rôles d'un entrefer et  $\mu$  apparent.
- Entrefers physique et électrique.
- Mesure de self BF selon le courant.
- Matériaux à entrefers répartis.
- Matériau amorphe / "mag amp".
- Schéma équivalent d'un transfo.
- Mesures scalaires d'un transfo.
- Champ magnétique dans un transfo.
- Self de fuite / bobinages entrelacés.
- Pertes cuivre et ampères - tours.
- Pertes cuivre supplémentaires.
- Circuits magnétiques planar
- Couplages entre secondaires.
- Mise de condensateurs en parallèle.
- Redresseurs de tension.
- Circuits sur SMI
- Réduction des pertes / abaisseur.
- Alim. capacitives à faibles pertes.
- Choix d'une sonde différentielle.
- Topologies de résonance.
- Courbe de puissance en fréquence.
- Résonance série / parallèle.
- Autres types de résonance.
- Simulation SPICE en MD et en MC.
- Bibliographie / Sites web.

Ce stage a pour but de permettre aux ingénieurs et techniciens qui développent des équipements électroniques de dimensionner correctement le refroidissement de ceux-ci, dès le début des études, afin de maîtriser les échauffements et d'atteindre les objectifs de fiabilités.

Les trois modes de transfert de la chaleur, (conduction, convection, rayonnement), sont étudiés dans des modèles pratiques dédiés à l'électronique, de la convection naturelle, jusqu'à la réfrigération par liquide avec changement de phase en passant par la ventilation forcée et le refroidissement forcé par liquide (plaque froide). Un chapitre mesures permet de compléter les aspects pratiques.

Pour ne plus jamais voir ça !



**Ce cours s'adresse aux ingénieurs et techniciens impliqués dans la conception d'équipements électroniques.**

**Le bagage mathématique nécessaire est minime, les modèles utilisés étant tous monodimensionnels et le plus souvent semi-empiriques, mais néanmoins suffisants et efficaces.**

**Une calculatrice scientifique est remise au début du cours à chaque participant**

Cours dispensé par :

**Pierre LAPALUS**

Ingénieur SUPELEC

## 1 - Introduction

- La thermique est incontournable
- Nécessité de refroidir
- Thermique et fiabilité
- Modèle de base très simple
- Analogie avec la loi d'Ohm
- Rappel sur l'énergie emmagasinée
- Unités des grandeurs utiles

## 2 - Les trois modes de transfert

- Présentation succincte des 3 modes
- Conséquences sur le modèle de base
- Notion de coefficient d'échange  $h$

## 3 - Transfert par conduction

- Généralités
- Résistance thermique stationnaire
- Conduction au travers des ailettes
- Drains thermiques
- Résistance thermique de contact
- Cas des isolants électriques
- Matériaux et ordres de grandeur
- Utiliser les données du fabricant
- Exemples de calculs

## 4 - Transfert par rayonnement

- Généralités – Définitions
- Lois fondamentales
  - Loi de Lambert
  - Loi de Planck
  - Loi de Wien
  - Loi de Stefan-Boltzmann
- Propriétés émettrices des corps
- Echange par rayonnement
- Notions sur le rayonnement des gaz
- Applications en électronique
- Exemples de calculs
  - Rayonnement d'un dissipateur
  - Rayonnement d'un coffret

## 5 - Transfert par convection

- Définition
- Résistance thermique de convection
- Convection naturelle ou forcée
- Ordre de grandeur du coefficient  $h$
- Groupements sans dimension

## 6 - Convection naturelle

- Formules de base
- Modèles généraux
- Modèle pour dissipateur
- Effets de la pression
- Effets de l'humidité de l'air
- Exemples de calculs

## 7 - Convection forcée

- Formules de base
- Modèles
  - En convection forcée externe
  - En convection forcée interne
- Cas des dissipateurs ventilés
- Cas des plaques froides
- Cas des électroniques immergées
- Choix des matériels
- Exemples de calculs

## 8 - Changement de phase

- Introduction – Chaleur latente
- Refroidisseurs à ébullition
- Stockage th. par matériau fusible

## 9 - Les modules à effet Peltier

- Effet Peltier
- Technologie et modélisation
- Exemples et exercice

## 10 - Régimes transitoires

- Capacité thermique
- Analogie électrique
- Modélisation
- Exemples de calculs

## 11 - Mesures thermiques

- Thermométrie par thermistance
- Thermométrie par Thermocouple
- Thermométrie par sonde platine
- Thermométrie par rayonnement
- Thermométrie par timbre collant
- Mesure de vitesse d'air
- Astuces pratiques

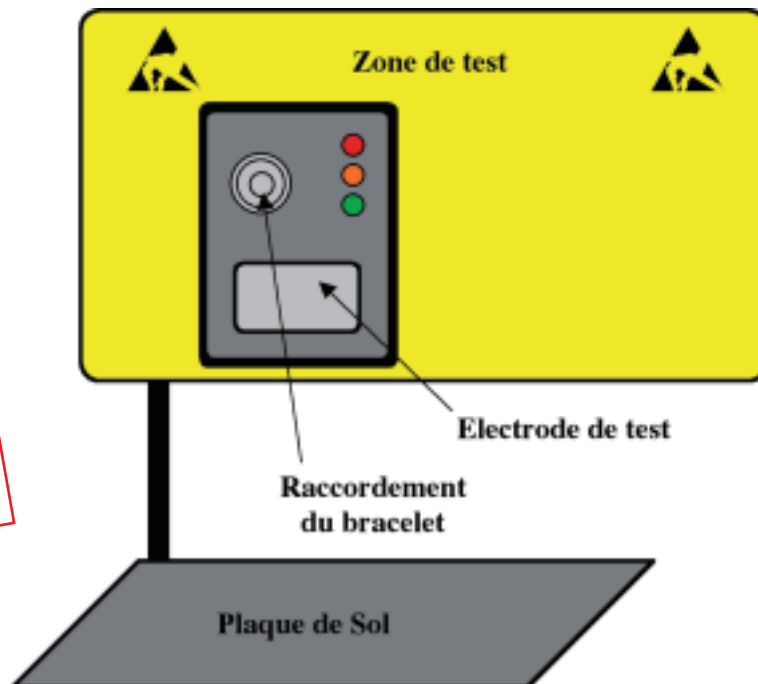
## 12 - Utilisation de logiciels de calcul

- Généralités et mise en garde
- Validation des résultats calculés

De tous les problèmes de susceptibilité aux perturbations électromagnétiques, la D.E.S. est l'un des plus délicats à résoudre.

Ajoutons que l'immunité aux D.E.S. est l'un des essais les plus difficiles de la Directive sur la Compatibilité Electromagnétique.

Stage  
uniquement  
en Intra



*Ce stage intensif s'adresse aux ingénieurs et techniciens qui doivent maîtriser cette menace.*

*Que vous soyez concernés par la manipulation de composants vulnérables aux D.E.S., ou par leurs effets perturbateurs induits, une revue complète du problème et de ses solutions vous est présentée, avec une foule de conseils pratiques et éprouvés par la conception, l'essai, et le durcissement.*

PROGRAMME DU STAGE

## 1 - Introduction

- Scénarios de Décharges Electrostatiques.
- Mécanismes de décharges électrostatiques.
- Exemple de D.E.S. "personnel" et "mobilier".
- Coûts des dommages par D.E.S. (visibles/latents).

## 2 - Caractéristiques et modélisation

- Modélisation des couplages électromagnétiques.
- Influence de l'humidité relative et température.
- D.E.S. directes / indirectes.
- Formes d'onde et spectre de fréquence des D.E.S.
- $di/dt$ ,  $dV/dt$  : qui est le plus menaçant ?
- Statistiques de décharge personnelle.

## 3 - Protection des composants

- Risques de destruction (manipulation).
- Energie et puissance de dégradation.
- Destruction : tranche / chip / assemblage / stockage.
- Protection pendant les étapes à l'usine.
- Protection intégrée dans les C.I.
- Vêtements anti-statiques.
- Sol, poste de travail, mobilier, ioniseurs.
- Manipulation des cartes.

## 4 - Normalisation

- Normes composants : dommages.
- Normes équipements : dysfonctionnements.
- Problèmes : temps de montée, reproductibilité.
- Principe des simulateurs.

## 5 - Conception / durcissement des matériels

### Prédiction chiffrée des couplages D.E.S.

- Décibels, marge de compatibilité.
- Marges de bruit AC/DC des circuits numériques.
- Tensions induites dans les pistes et boucles.
- Couplage capacitif "carte à châssis".
- DDP de masse par conduction de la décharge.

- Durcissement au niveau des composants
- Choix de composants "protégés".
- Filtrage / écrêtage près des boîtiers.

### Immunité par conception des circuits imprimés

- Minimiser les boucles.
- Solutions simple face / multicouche.

### Immunité D.E.S. au niveau interne

- Disposition des cartes dans le coffret.
- Elimination de charges.
- Claviers et interrupteurs.

### Immunité D.E.S. par blindage

- Efficacité d'un blindage.
- Joints et rubans conducteurs.
- Points privilégiés de D.E.S.
- Plastiques métallisés.

### Diminution du couplage par les câbles externes

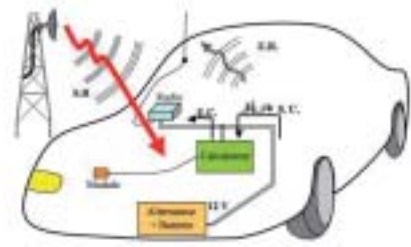
- Bruit induit dans les câbles E/S.
- Courants de mode commun.
- Influence des blindages et connectique.
- Terminaison des blindages.
- Connecteurs filtrants et filtres secteur.
- Ferrite de mode commun.
- Immunité par le logiciel
- Réduction du risque D.E.S. par l'installation

### 6 - Méthodologie d'essai d.e.s. diagnostic

- Préparation des Essais D.E.S.
- Installation de l'essai, plan de masse.
- Choix des zones de décharges.
- Erreurs récupérées par logiciel.
- Critères d'acceptation / rejet.
- Nombre minimum de décharges.
- Essais de systèmes à plusieurs unités.
- Quelques défaillances typiques.
- Travaux pratiques.

L'importance de l'électronique embarquée sur véhicule a fait un bond prodigieux depuis 1995, et avec elle son impact dans la fiabilité, la sécurité et... les coûts.

La CEM y a sa part, avec des problèmes pouvant aller de la simple gêne à des conséquences gravissimes si elle touche : conduite, trajectoire, freinage, etc.



*Ce stage intensif s'adresse aux ingénieurs et techniciens concernés par le développement, l'intégration, et la mise au point de systèmes électroniques automobiles. Après une présentation des risques liés aux différentes sources de perturbations, y compris les multiples interférences radio, les modes de couplage sont expliqués de façon claire et concise, avec les protections possibles et les principaux tests de validation.*

*A l'issue de ce stage, les participants :*

*- Comprendent et maîtrisent les effets des perturbations au niveau des circuits, modules et câblages.*

*- En retiennent les points importants grâce à des manipulations claires et pratiques faites en classe.*

*- Savent choisir les solutions de conception ou les remèdes avec un objectif industriel.*

*Aucune connaissance mathématique poussée n'est requise pour cette formation.*

### 1 - Introductions - Rappels

- Introduction : La CEM en automobile
- Répartition de l'électronique embarquée
- Quelques problèmes type de CEM automobile
- Caractérisation CEM d'un équipement auto
- CEM interne véhicule : Sources / Victimes permanentes
- CEM interne et véhicule : confrontation sources / victimes
- Les 2 modes : commun / différentiel
- Rappel : unités et terminologies CEM
- Pourquoi les représentations fréquentielles ?
- Spectre bande étroite / bande large
- Conversion temps - fréquence
- Exemples : parasitages BL à réception B.E.
- Exemples de CEM intra-système véhicule

### 2 - Environnement EMI

- Valeurs typiques de champs rayonnés par des émetteurs usuels
- Environnement radioélectrique routier (France)
- Champs forts radio générés dans un véhicule
- Signatures de perturbateurs sur véhicules
- Charges statiques en automobiles
- Perturbations du réseau de bord automobile

### 3 - Susceptibilité des circuits logiques et analogiques

- Réponse des circuits à un parasite HF
- Marges statiques des logiques courantes
- Fréquence équivalente des logiques courantes
- Surconsommation de transition
- Taux d'erreurs binaires avec / sans codage
- Capteurs et transducteurs en automobile
- Rapport signal / bruit
- Détection d'enveloppe
- Caractérisation des entrées et sorties d'un ampli OP

### 4 - Parasitage par les masses

- Couplage par une impédance commune (C.I.C.)
- Impédance des plans de cuivre et d'acier
- Impédance HF des pistes de circuit imprimé
- Impédance des conducteurs circulaires
- Points critiques de mise à la masse sur véhicules
- Straps de masse - Circuit équivalent
- Exercice : parasitage par impédance commune
- Masse en étoile : justifications et problèmes
- Comparaison analogique / numérique
- Calcul du bruit d'alimentation
- Réduction de l'impédance d'alimentation
- Réseaux d'alimentation maillés
- Mélanges AN./NUM/Courants forts dans les masses

### 5 - Boucles de masse : solutions

- Conversion MC - MD
- Couplage capacitif carte à châssis
- Capacité totale entre carte et plan de masse
- Masse mécanique / masse électrique
- Effets de bord

### 6 - Diaphonie

- Diaphonie capacitive et magnétique : analyse
- Capacité linéique piste à piste
- Couplage capacitif fil à fil
- Couplage inductif fil à fil
- Réduction de la diaphonie par plan de masse
- Règles de câblage pour faisceaux véhicule

### 7 - Couplage champ à boucle / champs à fil

- Propagation des champs
- Tension de boucle

- Approximation de tension induite champ - boucle
- Torsade des conducteurs
- Antennes fouet et dipôle
- Couplage "champ électrique à câbles"
- Réduction du champ par plan de masse
- Résumé des problèmes champ à boucle

### 8 - Rayonnement des électroniques

- Les deux types de rayonnement des électroniques
- Spectre d'un train trapézoïdal
- Rayonnement d'une petite boucle
- Spectre rayonné en mode différentiel
- Pourquoi se méfier des horloges ?
- Réduction des surfaces de boucles
- Rayonnement d'un petit fouet
- Origines du courant de mode commun
- Spectre rayonné en mode commun
- Perturbations d'un système d'injection

### 9 - Blindage

- Comment un blindage fonctionne-t-il ?
- Champ proche / champ lointain
- Pertes par réflexion / absorption
- Choix du matériau de blindage
- Blindage par dépôts conducteurs
- Efficacité de blindage d'une enceinte métallique
- Atténuation d'une ouverture dans une paroi mince
- Étapes de mise au point d'un blindage

### 10 - Protection en conduction

- Les 3 méthodes de protection en MC BF
- Les 3 méthodes anti-mode commun H.F.
- Immunité des liaisons numériques véhicule
- Immunité du bus CAN
- Détection d'enveloppe des optocoupleurs
- Filtrage CEM en électronique automobile
- Circuits de filtres et impédances
- Condensateurs et filtres pour circuit imprimé
- Atténuation due à l'impédance d'une batterie
- Filtrage capacitif des E/S : Erreurs à éviter
- Filtrage et protection des entrées / sorties
- Performances de différents ferrites CEM
- Problème du filtrage 12 V
- Principaux écreteurs & fiabilité
- Antiparasitage des bobines
- Câbles blindés et coaxiaux ; Efficacité
- Raccordement des écrans de câbles blindés
- Importance de la mise à la masse des embases
- Autoradio : Parasitage par le coaxial d'antenne
- Résumé des problèmes de câbles blindés

### 11 - Normalisation

- Directive Automobile : Références et application
- Directive 2004/104/CE : Applicabilité, Procédures
- Directive 2004/104 : Emissions rayonnées des véhicules
- CEM des équipements automobile : Arbre des essais
- Directive 2004/104 : Emissions rayonnées des SEE
- Directive 2004/104/CE : Critères d'immunité
- Directive 2004/104 : Immunité rayonnée des véhicules
- Directive 2004/104 : Immunité rayonnée des SEEE
- ISO 11452-4 : Immunité par test BCI
- Directive 2004/104 : Immunité des SEEE aux impulsions
- ISO 7637-2 : Impulsion 1, 2a et b, 3a/b,4
- Montage d'essai D.E.S. pour équipements sur auto

La terre, son rôle, sa réalisation, la mesure de la valeur de la résistance de terre, font partie des sujets les plus controversés et pour lesquels les idées fausses sont les plus tenaces et répandues.

A quoi sert une prise de terre ?

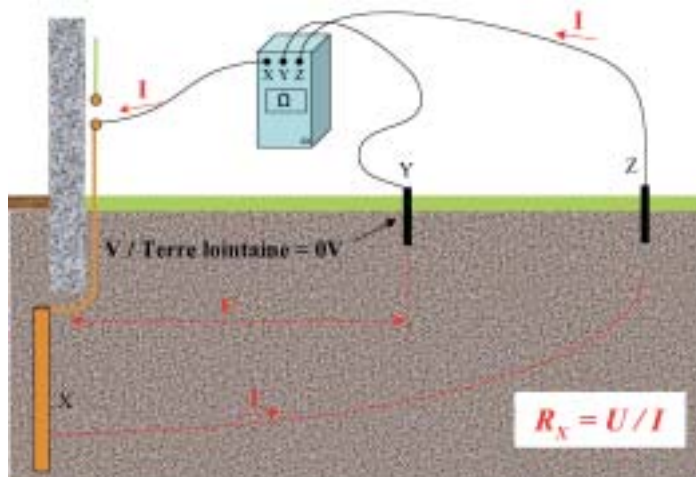
Faut-il des terres séparées?

Une bonne terre améliore t-elle les signaux et leur transmission ?

Quelle est la valeur optimale de sa résistance et pourquoi ?

Comment mesure t-on sa résistance ?

Que penser des terres HF ?



*Autant de questions auxquelles nous apportons des réponses claires et sans ambiguïté!*

*Ce stage s'adresse aux installateurs et concepteurs des réseaux de terre.*

*Des rappels des notions de base en électricité sont proposés en introduction, il peut donc être suivi par un très large public.*

*Ce stage s'appuie sur des expériences pratiques et s'achève par des mesures sur le terrain.*

#### 1 - Introduction

- Rappel des notions de base: tension, courant, impédance, fréquence.
- Impédance d'un conducteur long, impédance d'un conducteur court.

#### 2 - Les rôles de la terre.

- Protection des personnes, régimes de neutre.
- Terres séparées.
- Protection contre les décharges électrostatiques.
- Protection contre la foudre.
- Terre du neutre, Terre électronique.
- Câbles blindés : terre des blindages.
- La terre sans bruit.
- La terre Haute Fréquence.

#### 3 - Réalisation des terres.

- Les points critiques.
- Résistivité du sol : définition, variabilité, mesure.
- Utilisation du radier.
- Calcul d'une résistance de terre
- Problèmes de corrosion
- Protection cathodique (électrique ou chimique)

#### 4 - Mesure de la résistance de terre.

- Principe de la mesure.
- Méthode de la mesure en ligne.
- Méthode de mesure en triangle.
- Résultats de mesures, et interprétation.
- Contrôle périodique.

#### 5 - Mesures pratiques.

- Mesure BF et mesure HF.



# BULLETIN D'INSCRIPTION au STAGE

**AEMC** Fax 04 76 21 23 90

Toutes les demandes d'inscriptions doivent être adressées  
à notre agence de SEYSSINS

Tél. 04 76 49 76 76  
Contact : i.knera@aemc.fr

TITRE DU STAGE : .....

Date : .....

STAGIAIRE

POUR M.  Mme  Mlle

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Tél. : .....

Fax : .....

Mail : .....

POUR M.  Mme  Mlle

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Tél. : .....

Fax : .....

Mail : .....

SOCIÉTÉ : .....

Adresse : .....

.....

.....

Tél. : .....

Fax : .....

Mail : .....

Scé Formation

M.  Mme  Mlle

Nom : .....

Adresse : .....

.....

Tél. / Fax : .....

Mail : .....

Scé Comptabilité

M.  Mme  Mlle

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Tél. / Fax : ..... Mail : .....

Frais d'annulation :

- 1 mois avant le début du stage : aucun

- 15 jours avant le début du stage : 30 % du montant H.T.

PRISE EN CHARGE PAR ORGANISME DE FORMATION

OUI

NON

Nom de l'organisme : .....

Adresse : .....

## CONDITIONS GENERALES DE VENTE

RESERVATION : par souci d'efficacité, le nombre de stagiaires par session est limité. La participation à nos cours nécessite donc une réservation préalable. Elle peut s'effectuer par téléphone, par fax ou par courrier.

TARIF : nos tarifs incluent tous les frais d'enseignement, le support de cours, le petit matériel.

FRAIS D'ANNULATION : 1 mois avant le début du stage : aucun / 15 jours avant le début du stage : 30 % du montant H.T.

MODE DE PAIEMENT : tout paiement doit être libellé à l'ordre de AEMC. Ce paiement doit être accompagné soit du nom du stagiaire, du nom de l'organisation d'affiliation, du titre et de la date du stage, soit du numéro de facture.

FORMATION : sur simple demande, nous vous adresserons un justificatif vous permettant de déduire le coût de ces stages de votre budget formation.

31



# Bulletin d'inscription à retourner

**PAR COURRIER À :**

**AEMC** Immeuble "Le Saint Georges" - 86, rue de la Liberté - 38180 Seyssins

**PAR FAX AU :**

04 76 21 23 90

**PAR MAIL À :**

mail@aemc.fr

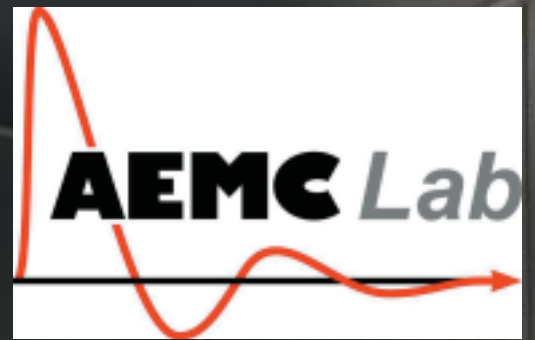
## **AEMC**

Immeuble "Le Saint Georges"  
86, rue de la Liberté - 38180 Seyssins

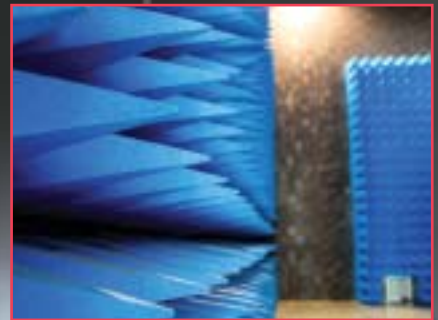
Tél. 04 76 49 76 76

Fax 04 76 21 23 90

www.aemc.fr - E-mail : mail@aemc.fr



Essai/Ingenierie



- De la conception jusqu'à la conformité du produit
- Un équipement technique complet
- Sécurité



ACCREDITATION  
N°1-0805  
PORTÉE DISPONIBLE  
SUR WWW.COFRAC.FR

**AEMC LAB :**

19, rue François Blumet - 38360 Sassenage  
Tél. 04 76 27 83 83 - Fax : 04 76 27 77 00  
E-mail : [aemc.lab@wanadoo.fr](mailto:aemc.lab@wanadoo.fr)

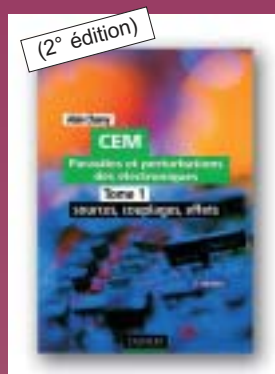
[www.aemc.lab.fr](http://www.aemc.lab.fr)

## Tout pour comprendre et combattre

Disponibles en librairie  
et chez DUNOD

ces parasites qui perturbent trop souvent les électroniques.

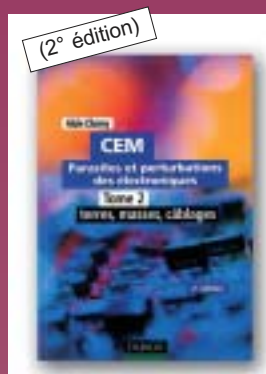
Les sources, les masses, les filtres etc., sont exposés et détaillés simplement et de façon efficace.



(2<sup>e</sup> édition)

### CEM Parasites et perturbations des électroniques **Tome 1 :** Sources, couplages, effets

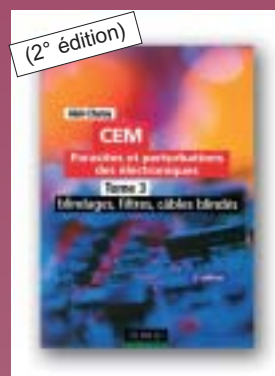
Introduction pragmatique à la compatibilité électromagnétique. Expose les origines, chiffre les 6 modes de couplages, et décrit les effets des parasites sur les électroniques.



(2<sup>e</sup> édition)

### CEM Parasites et perturbations des électroniques **Tome 2 :** Terres, masses, câblages

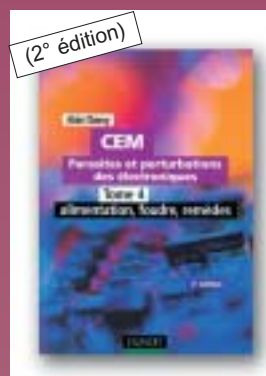
Explique les rôles des terres, la nécessité de l'équipotentialité des masses, et les façons d'installer les câbles pour réduire les parasites.



(2<sup>e</sup> édition)

### CEM Parasites et perturbations des électroniques **Tome 3 :** Blindages, filtres, câbles blindés

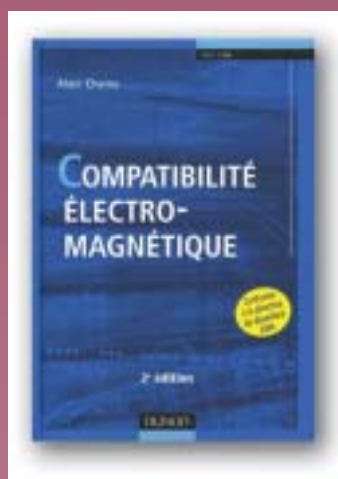
Présente la façon de blinder un appareil, de le filtrer et de le protéger contre les surtensions. Explique le fonctionnement des câbles blindés et définit leur raccordement à la masse.



(2<sup>e</sup> édition)

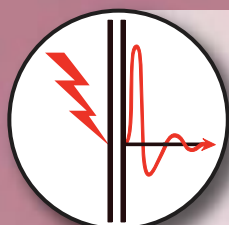
### CEM Parasites et perturbations des électroniques **Tome 4 :** Alimentation, foudre, remèdes

Explique les problèmes d'alimentation d'un système, décrit les méthodes de protection contre la foudre et donne de bons réflexes pour résoudre un problème pratique.



### Compatibilité électromagnétique

Nature et caractéristique des perturbations. Techniques de protection en conduction et rayonnement. Solutions industrielles, optimisation et remèdes. Méthodes de mise au point CEM. Procédures, suivi de projet et conseils.



**AEMC** Immeuble "Le Saint Georges"  
86, rue de la Liberté - 38180 Seyssins

Tél. 04 76 49 76 76 - Fax 04 76 21 23 90  
www.aemc.fr - E-mail : mail@aemc.fr