

GDR ONDES – IEEE EMC France

Séminaire de formation en CEM 12 juin 2023 - Toulouse

Dans le cadre de leur mission d'animation scientifique de la communauté CEM, le Groupe Thématique CEM du GDR ondes et le chapitre IEEE EMC France organisent un séminaire de formation en CEM. Celui-ci est destiné à un public d'étudiants et de jeunes ingénieurs, désirant accroître leurs compétences en CEM. Plusieurs thèmes, couvrant différents aspects comme la normalisation, la mesure ou la modélisation en CEM seront abordés à travers six présentations d'experts (45 minutes) suivis de moments d'échange (15 minutes).

Date et lieu

Ce séminaire se déroulera sur une journée, le 12 juin 2023 de 9h à 16h30, à Toulouse sur le site de l'ENSEEIH, en marge de la conférence CEM2023.

Inscription

L'inscription à ce séminaire se fait via le site d'inscription en ligne de la conférence CEM 2023 : <https://cem2023.sciencesconf.org>.

Le tarif d'inscription à ce séminaire est de 25 €. La pause déjeuner est incluse.

Contacts : alexandre.boyer@insa-toulouse.fr

Programme de la journée

8h30 – 9h	Accueil
9h – 10h	Les enjeux de la normalisation en CEM (A. Durier, Continental, AFNOR)
10h-11h	Modélisation des composants pour la simulation de la CEM (A. Boyer, LAAS-CNRS)
11h-12h	CEM en électronique de puissance (P. E. Lévy, SATIE)
12h-13h30	Pause déjeuner
13h30-14h30	Chambres réverbérantes (G. Andrieu, XLIM et P. Besnier, IETR)
14h30-15h30	Mesure de l'impédance de transfert - application à la CEM des câbles (C. Jullien, Safran Electrical & Power)
15h30-16h30	Modélisation électromagnétique simple pour des problèmes de CEM sur les câbles - comment le faire soi-même ? (C. Guiffaut, XLIM)

Programme détaillé

Les enjeux de la normalisation en CEM



Andre Durier est diplômé de l'Institut Supérieur d'Electronique et du Numérique (ISEN), Lille, 1988. Il a obtenu son diplôme de doctorat de l'INSA Toulouse en 2021. Il a été ingénieur chez Thalès avant de devenir chef de projet chez Siemens VDO en 1998. En 2009, il devient expert en CEM chez Continental Automotive France. Il a participé à de nombreux projets de recherche en CEM et publié des articles sur la corrélation entre les mesures sur équipement et sur circuits intégrés. En 2014, il a eu la charge de projets de recherche sur la robustesse des composants à l'IRT Saint-Exupéry. Depuis 2018, il est président du comité UF47A de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) et convenor du WG9 de l'International Electrotechnical Commission SC47A dédié aux projets de normalisation des mesures CEM des circuits intégrés.

La normalisation des mesures en CEM est primordiale pour fixer un cadre d'échanges unique et incontestable entre les fabricants de composants et les équipementiers et entre les équipementiers et les assembleurs finaux (automobile, aéronautique, industrie). De manière à pouvoir comparer les performances CEM d'un même circuit intégré fabriqué par différents fournisseurs, il est indispensable que les mesures soient comparables, c'est-à-dire effectuées selon les mêmes procédures et dans les mêmes conditions. Il en est de même pour les constructeurs automobiles qui sous traitent la fabrication de leur équipement à différents équipementiers.

Par ailleurs, le besoin en simulation EM ne cesse de grandir. Sont apparus dans les années 1980, les premiers logiciels de simulation ainsi que les premiers modèles en intégrité de signal (IBIS) puis en émission/immunité (ICEM/ICIM). Des modèles complets de carte électronique peuvent être construits et associés à des modèles d'essais normatifs pour résoudre des problèmes vus en laboratoire ou traiter par exemple des problèmes d'obsolescence de composants.

Modélisation des composants pour la simulation de la CEM



Alexandre Boyer est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en génie électrique de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Toulouse, 2004. Il a obtenu son diplôme de doctorat de l'INSA Toulouse en 2007. Il est actuellement maître de conférences HDR au département de génie électrique et informatique de l'INSA Toulouse. Il est chercheur au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS-CNRS), comme membre de l'équipe Énergie et Systèmes Embarqués. Ses recherches portent sur la modélisation de la CEM et de la fiabilité, au niveau des composants et cartes électroniques. Il développe notamment le freeware IC-EMC.

Garantir la CEM, l'intégrité de puissance ou de signal sont des exigences essentielles pour assurer le fonctionnement sûr et fiable des composants et des systèmes électroniques. Afin de garantir ces exigences tout en réduisant les coûts de conception liés à la non-conformité CEM, les concepteurs s'appuient sur la simulation pour prédire les niveaux d'émission ou d'immunité, optimiser et valider leur *design* avant fabrication. Malgré les récents développements des outils de simulation électromagnétique, capables de modéliser le comportement électromagnétique complexe de circuits imprimés multicouches, de connecteurs ou de câbles, une des principales limites dans ce processus de validation CEM basé sur la simulation reste la modélisation des composants électroniques. Les fabricants de composants ne délivrent pas systématiquement de modèles de simulation dédiés à la prédiction de la CEM. De plus, lorsqu'ils sont

fournis, les conditions d'extraction et de validité des modèles ne sont pas toujours précisées, ce qui peut limiter la confiance dans les résultats de prédiction.

Dans ce contexte, il est crucial que les ingénieurs en CEM et en conception électronique disposent de suffisamment de connaissances sur le comportement électromagnétique des composants et comment les modéliser pour la simulation de la CEM. Cette présentation traite de ce sujet : elle abordera des principales méthodes permettant de caractériser le comportement électromagnétique et de construire des modèles équivalents des composants, tels que les condensateurs, les bobines, les inductances de mode commun, les ferrites, les suppressions de transitoires, les circuits intégrés. La présentation s'appuiera sur le *freeware* IC-EMC pour illustrer le processus de création de modèles équivalents d'un composant électronique.

CEM en électronique de puissance



Pierre-Etienne Lévy a obtenu le diplôme de l'ENS Cachan en 2011 et sa thèse de doctorat en EEA en 2015. Il a été enseignant-chercheur au département Energie de CentraleSupélec avant de devenir ingénieur de recherche chez Safran Tech. Il est maître de conférences à l'ENS Paris-Saclay depuis 2019 au sein du DER Nikola Tesla (ex-EEA). Il est chercheur au laboratoire SATIE dans le pôle Composants et systèmes pour l'énergie électrique (CSEE). Ses recherches portent sur la CEM et les structures pour l'électronique de puissance.

L'augmentation des fonctions électriques, notamment dans les systèmes embarqués, est possible par le recours aux convertisseurs statiques, dont l'amélioration de la densité de puissance et la montée en fréquence de fonctionnement constituent des axes importants pour la recherche en électronique de puissance. Cependant, cette électrification entraîne une dégradation forte de l'environnement électromagnétique due à des niveaux de perturbations électromagnétiques importants ainsi qu'à la difficulté de maîtriser les chemins de propagation de ces perturbations.

Dans une optique de réduction, la compréhension des mécanismes de génération de ces perturbations dans la cellule de commutation ainsi que leur propagation est un élément clé aussi bien pour les perturbations conduites que rayonnées. Plusieurs modélisations (extensive, boîte noire,...) permettent d'analyser la CEM des convertisseurs avec des niveaux différents afin de permettre la synthèse des moyens de réduction (blindage, filtre CEM, commande adaptée).

Chambres réverbérantes



G. Andrieu a reçu son diplôme de master en radiofréquences et communications optiques de l'Université de Limoges en 2003, et son diplôme de doctorat en électronique de l'Université de Lille, Villeneuve d'Ascq, France en 2006, au laboratoire IEMN (groupe TELICE). En 2003, il a rejoint le Technocentre Renault, Guyancourt, France. En 2006, il a rejoint le laboratoire XLIM de l'Université de Limoges en tant que post-doctorant. Il est devenu maître de conférences en 2009. Ses recherches incluent les problématiques de couplage sur les câbles et les tests CEM, parmi lesquels les chambres réverbérantes et les tests de bulk current injection.



Philippe Besnier est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en électronique de l'école universitaire d'ingénieurs de Lille (EUDIL), Lille, France, délivré en 1990, et d'un diplôme de doctorat de l'Université de Lille en 1993. Depuis 2002, il est chercheur à l'Institut d'Electronique et des Technologies du numéRique (IETR) - www.ietr.fr -, Rennes, France. Philippe Besnier a été nommé directeur de recherche au CNRS en 2013. Depuis juillet 2017, il est directeur adjoint de l'IETR. Ses recherches concernent l'analyse des interférences sur les harnais de câbles (inclus la topologie électromagnétique), la théorie et les applications des chambres réverbérantes, les techniques de blindage et d'absorption, la quantification et la propagation des incertitudes en modélisation CEM et la cybersécurité électromagnétique.

Les chambres réverbérantes électromagnétiques à brassage de modes se sont imposées progressivement au cours des dernières décennies comme un outil de référence en comptabilité électromagnétique pour la mesure d'immunité rayonnée et d'émissivité rayonnée / puissance totale rayonnée. Son utilisation s'étend à différents aspects de la mesure CEM (à l'instar des mesures de puissance totale rayonnée des stations de base de la 5^{ème} génération des réseaux de communication mobiles) mais également à différents types de caractérisation électromagnétique. L'objectif de cette introduction aux chambres réverbérantes est de présenter les principes fondamentaux de ces cavités, leurs principales caractéristiques et les propriétés qui en découlent. Ces propriétés seront illustrées notamment à l'aide d'expériences menées à partir d'une chambre réverbérante de type « vibrating intrinsic reverberation chamber (VIRC) ».

Mesure de l'impédance de transfert - application à la CEM des câbles



Charles Jullien est né en 1985, à Rodez, France. Il a obtenu son Master Physique Numérique de l'Université des Sciences de Montpellier en 2009 et son Doctorat en Electronique et Télécommunications de l'Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes en 2013. Depuis novembre 2012, il est chez Safran Electrical & Power à Blagnac, France. Il travaille dans l'équipe CEM du Bureau d'Etudes de la Division Interconnection Systems Eurasia et, depuis 2015, il est actuellement Expert société CEM notamment sur les problématiques de modélisation de harnais électriques. Ses intérêts de recherche portent sur la modélisation du couplage électromagnétique dans les harnais aéronautiques et sur les blindages ainsi que sur les méthodes expérimentales de caractérisation des phénomènes CEM sur les câblages. Il est aussi depuis 2021 secrétaire du chapitre français de IEEE EMC.

Le système d'interconnexion des câblages électriques (EWIS) peut être protégé soit par un blindage, c'est-à-dire en plaçant un écran conducteur qui protège et limite le rayonnement électromagnétique et le couplage, soit en séparant les liaisons les unes des autres d'une certaine distance afin de créer une ségrégation entre les signaux sensibles et les puissances transmises. Même si la deuxième solution est la moins coûteuse et la plus simple à implémenter les contraintes d'installation ne permettent pas toujours son utilisation. Dans le premier cas, il faut pouvoir caractériser l'efficacité du blindage. Pour un grand nombre d'applications, la bande de fréquence utilisée dépasse rarement quelques GHz. On peut donc diviser le problème d'un câble blindé en deux sous-problèmes que l'on relie par une fonction de transfert : l'impédance de transfert. Ces domaines interne (cœur vs. blindage) et externe (blindage vs. environnement) sont liés par l'impédance de transfert qui détermine l'interaction d'un domaine sur l'autre et inversement.

La démonstration montre l'évolution de la complexité des méthodes de caractérisation de l'impédance de transfert (Z_t). A partir d'un échantillon de câble coaxial et d'un montage ne nécessitant que peu de matériel, nous allons réaliser plusieurs montages permettant de mesurer le Z_t : banc triaxial, banc triaxial avec discontinuité de blindage, injection ligne et injection localisée. Cette dernière méthode mettra en lumière l'avenir de la mesure d'impédance de transfert par injection localisée et son potentiel d'extension de la

caractérisation des blindages en haute fréquence. Les thèmes abordés pendant la présentation sont l'impédance de transfert, le blindage, le banc triaxial, la ligne d'injection, l'injection localisée, les câbles et harnais, les connecteurs.

Modélisation électromagnétique simple pour des problèmes de CEM sur les câbles - comment le faire soi-même ?



Christophe Guiffaut a reçu le diplôme universitaire d'étude approfondie en 1997 (ex-diplôme Master) dans la spécialité Signal Télécommunication Image et Radar de l'Université de Rennes 1. Il a ensuite obtenu son doctorat en 2000 sur la méthode des différences finies dans le domaine temporel appliquée à la simulation des antennes et des scènes de diffraction d'objets enfouis pour l'analyse des signatures Radar. En 2001, il rejoint en post-doctorat l'Université de Limoges et l'Institut XLIM et en 2002, il est reçu au concours de chargé de Recherche au CNRS détaché à l'Institut XLIM. Ses recherches portent sur les problématiques de modélisation en CEM, de propagation et détection Radar et de calcul de SER. Il est l'auteur de plusieurs logiciels de simulation dont TEMSI-FD pour la modélisation électromagnétique 3D et LAMLIM basé sur la méthode MTL en temporel et dédié à la CEM des câbles et des cartes de circuit imprimé. Il est aussi animateur du GDR Ondes dans le groupe thématique CEM depuis 2014.

La simulation électromagnétique s'appuie fortement sur des outils commerciaux qui proposent des solutions pour la modélisation CEM répondant aux besoins d'études universitaires et industrielles. On pourra ainsi modéliser la propagation d'agressions électromagnétiques (EM) de types conduite et rayonné dans de grandes structures tels que les bâtiments, les avions et les véhicules, calculer l'efficacité des protections d'équipements blindés, évaluer les contraintes en courant de mode commun sur les câbles, calculer la diaphonie, les montées en potentiel sur les impédances des équipements, etc. Parmi toutes les méthodes numériques 3D existantes dans le domaine des ondes, trois seulement sont très utilisés en CEM pour leur capacité à modéliser à la fois des câbles vecteurs des perturbations conduites vers les circuits et des structures 3D : la méthode de l'équation intégrale résolue par la méthode des moments, la méthode des différences finies (FDTD) et la méthode *Transmission Line Matrix* (TLM) proche de la seconde dans ses capacités. Les deux dernières sont la plupart du temps appliquées dans le domaine temporel. Nous allons montrer comment dans le cas de l'approche des différences finies, nous pouvons développer sa propre solution de calcul pour la modélisation CEM sur les câbles. La compréhension des techniques numériques sous-jacentes aux logiciels de simulation est importante pour porter un regard critique et pour mieux estimer la précision qu'on peut en attendre. Ce savoir-faire peut aussi être mis à profit par exemples pour tester de nouveaux modèles, faire de l'analyse paramétrique et prendre en compte des incertitudes.