

Synthèse de formations et de cycles de T.P dédiés à l'ingénierie électromagnétique et la Compatibilité Electromagnétique pour les systèmes embarqués.

Jean-Marc Dienot^{1*}, José Gonzalo¹, Emmanuel Batista².

¹ Université de Toulouse, Laboratoire Labceem-SIAME, Tarbes, France

² Alstom Transport S.A., rue du Dr Guinier, Séméac, France

*Auteur de correspondance : jean-marc.dienot@utoulouse.fr

Résumé : *A travers des expériences académiques et d'expertises R&D acquises autour des problématiques du domaine de la Compatibilité Electromagnétique (CEM), nous proposons dans cet article de vous présenter les projets d'ingénierie pédagogique pour la diffusion des méthodes et techniques d'analyse du domaine de l'électromagnétisme et des systèmes haute fréquence. Les phénomènes de couplages, interférences et risques électromagnétiques (EMI) sont devenus cruciaux dans les architectures électroniques embarquées, et impactent tous les domaines des formations du Génie Electrique, aussi bien académiques qu'industriels, en formation initiale et continue. Nous présentons l'ensemble des programmes théoriques et des formations pratiques orientées CEM et EMI. Développées et structurées autour de la plateforme Labceem (LABoratoire des Contraintes Electro-magnétique et de l'Electronique Mobile), elles sont diffusées et dispensées dans les formations de technicien (Bac+3), ingénieur (Bac+5) et chercheur (Bac+8) du Génie Electrique. Cette synthèse permet de parcourir les changements continuels dans nos domaines et technologies de l'EEA, qui ont initiés de nouvelles approches d'ingénierie électromagnétique, en modifiant fortement le spectre des approches analytiques et des méthodes d'investigations des systèmes électroniques embarqués et à haute performance ajoutée*

Mots clés : Compatibilité électromagnétique (CEM), électronique embarquée, système mobile autonome, bruit électromagnétique, agression, risque électromagnétique.

Abstract: Practical and experimental courses for skill improvements in electromagnetic compatibility and engineering of electronics.

The cases and events of electromagnetic couplings, interferences and reliability are becoming critical in actual architectures of embedded and on-board electronics. Technicians, engineers and searchers involved in the

electrical engineering domain must comply with these new constraints, and need initial and continuous formation to improve their skills in electromagnetic engineering. Issued from a long time of EMC and EMI teaching and researching, we present a synthesis of theoretical, practical and experimental courses developed in these domains. With the support of the scientific platform Labceem (LABoratoire des Contraintes Electro-magnétique et de l'Electronique Mobile), formal academic courses, application exercises and more over than fifty EMC experiments are proposed to the programs of high-level teaching schools for technician (Licence), engineer (Master) and researcher (Ph. D).

Keywords: electromagnetic compatibility (EMC), on-board electronics, emission, susceptibility, electromagnetic risk, immunity

1. Contexte général de la formation en CEM des circuits électroniques

1.1. Le nouvel environnement CEM des architectures électroniques.

Depuis 30 ans environ, les 3 domaines du Génie Electrique : Electronique, Electrotechnique et Automatique, ont vu chacun des révolutions scientifiques et techniques qui ont modifié notablement les nouvelles applications industrielles et grand public, ainsi que les métiers et compétences d'ingénierie s'y affèrent : communications et puces "Wireless"(Electronique), nouveaux composants grand Gap (Electrotechnique-Electronique de puissance), calculs numériques 3D – réalité virtuelle (Informatique-Automatique). Les nouvelles architectures électroniques et leurs applications se sont diffusés dans les secteurs professionnels et dans la vie quotidienne : smartphones, systèmes PED(Portable Electronic Devices), systèmes connectés, convertisseurs de Puissance Ultra Compact, Smart Grid, systèmes mécatroniques, véhicules hybrides et électriques, systèmes mobiles personnels, robots humanoïdes, drones, etc.

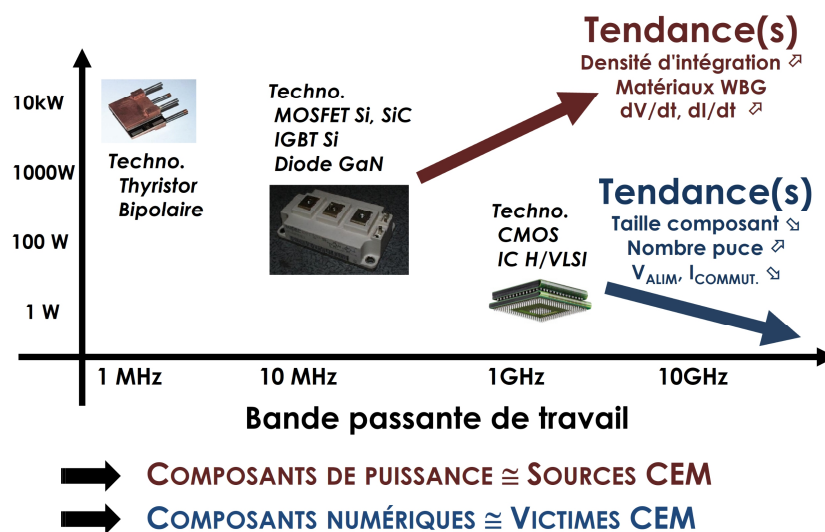


Figure 1. Impacts EMC/EMI des progrès et de l'intégration des composants semi-conducteurs

En plus de la nécessaire et obligatoire normalisation CEM pour proposer des produits certifiés sur le marché européen, le risque réel de nouveaux scénarios physiques de couplages et de défauts dans ces structures a fortement augmenté. L'approche CEM s'en est trouvée tout doucement modifiée, considérant maintenant des études et évaluations CEM de toutes les parties constitutives suivant leurs tailles et leurs dispositions hiérarchisées, du composant jusqu'au système complet. On a donc au niveau composant, PCB (Circuit Imprimés) et convertisseurs de puissance, de nouvelles configurations de scénarios CEM (Fig. 1), et les formations universitaires et d'ingénierie doivent pouvoir les anticiper et les restituer au niveau de leurs usagers, autant en formation initiale qu'en formation continue dans leurs programmes

1.2. La CEM des systèmes embarqués et mécatroniques

Le développement de systèmes électroniques autonomes a fait apparaître de nouvelles spécificités CEM sur la notion de "vrai risque électromagnétique", pouvant mettre en danger l'intégrité des missions du système embarqué : perte de trajectoire, perte des données, etc. En effet, une voiture ou un robot roulant ou marchant englobent dans un volume fini toutes les parties de l'électronique et de la mécatronique disponibles technologiquement (Fig. 2) : capteurs, circuits, μ processeurs, grande gamme de motorisations, convertisseurs de faible et forte puissance, différents niveaux et formes d'énergie (AC/DC/Pulsé), et enfin des km de câblage mixtes pour le transports des signaux analogiques, numériques haut débit, haute tension, forts courants, etc.

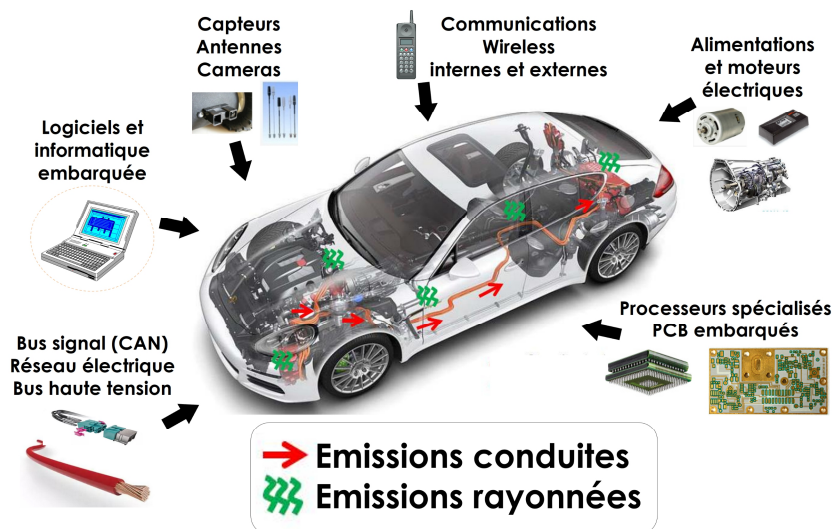


Figure 2. Impact CEM des architectures électriques et électroniques embarquées dans les véhicules électriques

Plusieurs exemples d'études de ce type, que nous avons menés à travers des activités de recherche et développements, nous ont permis d'appréhender ces nouveaux scénarios CEM, et d'essayer de les restituer dans la pédagogie, à tous les niveaux LMD. Par exemple, sur un système mécatronique de haut niveau pour la motorisation électrique à haute vitesse pour l'automobile, les commutations haute fréquence entraînent aujourd'hui des comportements CEM très large-bande, et ces perturbations accélèrent le vieillissement des bobinages de la machine (effet Décharges Partielles), ce qui est devenu très critique. On peut ainsi pointer la forte émergence de la robotique mobile et humanoïde, extrêmement fiable et performante



Programme de formation "CEMLAND"

Domaines
 Compatibilité Electromagnétique - Intégrité du signal
 Interférences - Bruits et contraintes électromagnétiques

Applications
 Composants, circuits et PCB électroniques
 Architectures et environnements systèmes embarqués

4 Niveaux de formation EMI/EMC, sur la Plateforme www.iut-tlse3.fr/moodle/

BASICS	3 chapitres (116p.) - 16 ex. d'application - 5 démos / 7 TP
INIT	5 chapitres(164p.) - 25 ex. d'application - 10 TP
MAST	6 chapitres(125p.) - 18 ex. d'application - 7 TP CEM / 7 TP simu. PCB/EM
XPERT	6 thèmes spécialisés EMI/EMC - 6 projets d'études / BE Exp. & simu.

Figure 4. Catalogue des formations CEM et programme "CEMLAND" pour les cursus LMD

Historiquement, les premiers cours CEM avec des TP ont été initiés en DUT GEII à Tarbes, 1^{ère} et 2^{ème} année, sur les modules de Physique et Electronique HF du PPN de l'époque (1994). A partir de 2003, avec des expériences et réalisations issus de la partie recherche du Labceem (Thèses, Contrats Industriels R&D, Stages Master, etc..), et la création d'une Licence Professionnelle "Conception des Systèmes Electriques Embarqués", une dizaine de PCB (Circuits Imprimés) et démonstrateurs de taille "circuit" ont été développés et adaptés pour étoffer le catalogue de TP CEM (Figure 5). A partir de 2007, à la suite de la demande grandissante de formation CEM de la part des collègues au niveau Master et écoles d'ingénieurs, les niveaux de formation CEM "MASTER" et "XPERT" ont complété le programme initial "CEMLAND", sous sa forme finale présentée aujourd'hui.

50 sujets expérimentaux et T.P. EMC / EMI / RF/ HF

➔ **Les niveaux technologiques des démonstrateurs :**

- Niveau semi-conducteur / composants : 7 prototypes
- Niveau packaging / PCB : 18 prototypes
- Niveau cartes / boîtiers électroniques : 12 prototypes
- Niveau systèmes portables / mobiles : 9 prototypes

➔ **Les démonstrateurs circuits :** CMOS, MOSFET, IGBT, Power Sic/Gan, Smart Power, DSP, FPGA, modules RF, Hacheur, MPPT...

➔ **Les systèmes embarqués mobiles autonomes :** Robcem I à IV (moteurs mécatronique, Wifi, capteurs, caméra, GPS), robots Arduino.








Figure 5. Synoptique et description synthétique du catalogue TP CEM de la plateforme Labceem.

Enfin, depuis 2017, à travers les projets SESRI de la région Occitanie pour renforcer le développement pédagogique des sites universitaires en région, la plateforme Labceem a pu démarrer la mise en œuvre de l'automatisation de ses formations pour virtualiser une vingtaine de TP CEM, ceci à l'aide du réseau de contrôle-commande du bus GPIB (norme IEEE 488.2), déjà partiellement en place depuis 2000. Nous attendons la finalisation de cette virtualisation sur 2 derniers sujets CEM pour proposer prochainement le premier cycle complet de 7 T.P. CEM accessibles et pilotables à distance. Nous allons présenter pour finir un aperçu du cycle de formation, sur quelques exemples fondamentaux d'expérimentations CEM des circuits embarqués.

2.2. Méthodologie et protocoles des TP et expérimentations CEM

L'organisation pédagogique générique autour de la CEM des circuits et systèmes électroniques embarqués a été affinée au fil du temps pour aboutir au découpage pédagogique suivant, qui est systématiquement utilisé et commenté dans les cours de CEM et transmis aux différents publics.

ETUDES EMC/EMI/IS	MODE CONDUIT		MODE RAYONNE	
	CONDUIT MD MODE DIFFÉRENTIEL	CONDUIT MC MODE COMMUN	RAYONNÉ CP CHAMP PROCHE	RAYONNÉ CL CHAMP LOINTAIN
EMISSION				
IMMUNITÉ				
COUPLAGES				

Figure 6. Les 12 cas de scénario élémentaire suivant le formalisme des études et expertises CEM .

Les TP et expérimentations CEM sont tous classés dans une ou deux cases de ce tableau, afin de bien s'approprier les contributions élémentaires dans la CEM, et se référer à des éléments théoriques et techniques de base des domaines de la physique, de l'électronique, de l'électricité, de l'électromagnétisme et de la propagation des ondes. Pour le contexte des systèmes électroniques mobiles et embarqués, nous pouvons également prioriser le rôle CEM principal des cartes et circuits implantées dans ces systèmes : les cartes et convertisseurs de puissance utilisant des technologies de composant de puissance ont deux rôles fonctionnels, fournir de la puissance électrique pour alimenter les batteries et/ou les motorisations électriques du système embarqué. Ils sont dédiés à un rôle CEM de source dites involontaires, et occupent, dans le tableau de la Figure 6 la ligne des émissions dans tous les modes. Les cartes de composants faible signal, numériques, processeurs, FPGA, incluant des mémoires, pilotent les convertisseurs et assurent le contrôle-commande et les communications intra et extra système avec un réseau de capteurs et de puces RF. Ils sont donc la partie "susceptible" (sensible) aux bruits et agressions électromagnétiques, donc un rôle CEM dit de victimes. On peut donc étudier leur capacité d'immunité, toujours sur les différents modes conduits et rayonné. Nous allons présenter synthétiquement les différentes cartes démonstrateurs de base, qui sont au cœur de 70% des TP et expérimentations du programme "CEMLAND" (35 TP environ) et recouvrent les cases du tableau des scénarios de la Figure 13.

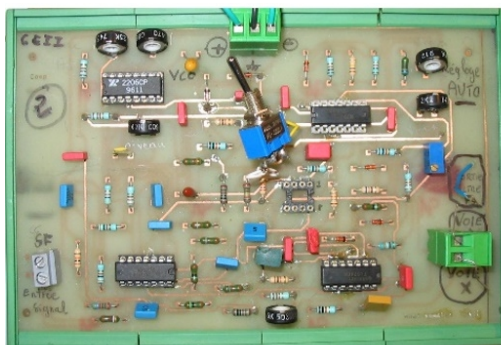
3. Les TP CEM fondamentaux

3.1. Liste des démonstrateurs pédagogiques pour la CEM

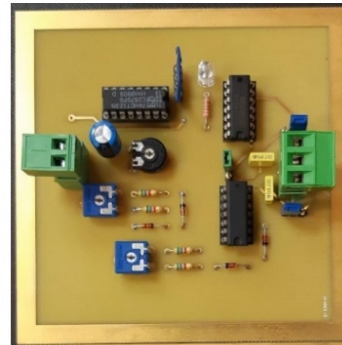
Nous avons défini méthodologiquement plusieurs catégories de PCB par rapport à leurs rôles et illustration pédagogique des phénomènes CEM. La première est vis-à-vis de leur comportement fonctionnel. On distingue alors le PCB numérique ou faible courant, pour le contrôle et la transmission des données. L'autre catégorie est le PCB de Puissance (Power PCB, PPCB) qui convertit et fournit l'énergie électrique. Par rapport aux comportements CEM, on va différencier le design des PCB démonstrateur. On a ceux qui sont spécialement conçus pour être insérés dans les ouvertures 10x10cm² de cellules TEM, pour des études en mode rayonné champ établi. Les autres ont leurs formats initiaux suivant le cahier des charges fonctionnels de leur design. Leurs dimensions restent classiques par rapport à des cartes standards, format 30x50cm² par exemple.

Table 1 : Liste des PCB numériques CEM

NOMEN.	FORMAT		DESCRIPTION	SPEC.		ETUDES CEM		
	Stand.	TEM Cell		ALIM	I/O	Conduit	Rayonné	Couplages
CASAV_07	X		Carte ACQUISITION SIGNAUX AUDIO VIDEO - version 07 Analyse Spectrale-Modulations	+/- 8V	V _{IN} V _{OUT}	Mode Commun	Champ proche	Diaphonies
MADROAD v13	X		Carte MADROAD version13 Fonctions électroniques de base Routages spécifique CEM	+/-5V	V _{IN} (AC) 5 Sorties	Emission MD/MC	Emission CP Emission CL	Couplages MD Couplages MC Diaphonies
MICROS_01		X	PCB ligne MICROSTRIP + Plan de Masse Format TEM CELL	N/A	2 PORTS	Intégrité des signaux TLT	Emission Susceptibilité	Couplage Champ à carte/Piste
PTR-III PAL22V10		X	PCB test Rayonnement CI PAL220 DIL24 plan masse format TEM CELL	0-5V	V _{IN} V _{OUT}	Intégrité des signaux Emission MC	Emission Susceptibilité Immunité	Diaphonie Ground Bounce
PTR-IV		X	PCB test Rayonnement CI DIL14 DOUBLE FACE plan masse format TEM CELL	0-5V	V _{IN} V _{OUT}	Intégrité des signaux Emission MC	Emission Susceptibilité Immunité	Diaphonies Ground Bounce
ROBCOM-B		X	PCB Commandes PWM 2 sorties Techno DIL sans PLAN MASSE avec POINTS TEST	0-5V	V _{OUT} PWM1 V _{OUT} PWM2	Intégrité des signaux Emission MC	Emission Susceptibilité Immunité	Diaphonies Ground Bounce
ROBCOM-C		X	PCB Commandes PWM 2 sorties Techno CMS sans PLAN MASSE	0-5V	V _{OUT} PWM1 V _{OUT} PWM2	Intégrité des signaux Emission MC	Emission Susceptibilité Immunité	Diaphonies Ground Bounce



Carte CASAV_v07
Format standard

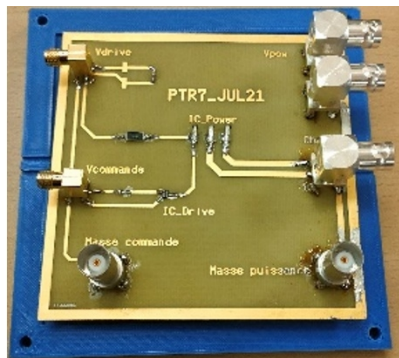


Carte ROBCOM (v24)
Format TEM Cell

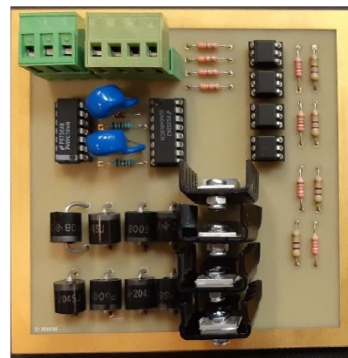
Figure 7. Exemples de PCB CEM format numérique

Table 2 : Liste des démonstrateurs CEM Power PCB

NOMEN.	FORMAT		DESCRIPTION	SPEC.		ETUDES CEM		
	Stand	TEM Cell		ALIM	I/O	Conduit	Rayonné	Couplages
PTR-V	X		PCB test Rayonnement Power CI IGBT +DRIVER ROUTAGE Cu Double Face	+10V +50V à +150V	V _{IN} 0-10V V _{OUT} Power	Mode Différentiel Mode Commun	Emission Champ proche Champ Etabli	Couplages MC Couplage CP
PTR-VI_IGBT		X	PCB test Rayonnement Power CI IGBT Si+DRIVER Format TEM CELL ROUTAGE CMS FACE ALU	+10V +50V à +150V	V _{IN} 0-10V V _{OUT} Power	Emission MD/MC	Emission CP Emission CL	Couplages MD Couplages MC Diaphonies
PTRVI_MOS		X	PCB test rayonnement Power CI MOSFET Si +DRIVER Format TEM CELL ROUTAGE CMS FACE ALU	+10V +50V à +150V	V _{IN} 0-10V V _{OUT} Power	Emission MD/MC	Emission CP Emission CL	Couplages MD Couplages MC Diaphonies
PTR-VII_WBG		X	PCB test Rayonnement Power CI WBG MOSFET SiC plan masse Cu format TEM CELL	+10V +50V à +150V	V _{IN} 0-10V V _{OUT} Power	Emission MD/MC	Emission CP Emission CL	Couplages MD Couplages MC Diaphonies
ROBPOW-v21		X	PCB Power – pilotage Moteur CC Routage Cu Double Face Format TEM CELL	+5V +12V (Batterie)	V _{IN} PWM 0-5V V _{OUT} 12V I _{OUT} 1A	Emission MD/MC	Emission CP Emission CL	Couplages MD Couplages MC Diaphonies



Carte PTR-VII MOSFET SiC
Format TEM Cell



Carte ROBPOW_v21
Format TEM Cell

Figure 8. 2 exemples des PCB CEM format courants forts

3.2. Les TP et expérimentations des émissions des PCB de Puissance.

Nous décrivons synthétiquement les différents TP de base pour l'illustration des modes d'émission conduit et rayonnée des modules de puissance. Ceci concerne les cartes démonstrateurs parmi la liste de la Table 2 . Nous essayons de montrer, à part quelques équipements très spécifique, la faisabilité et l'optimisation des moyens pour mettre en œuvre à moindre "cout" ce type de T.P.

⇒ TP CEMLAND#05 : émissions conduites en mode différentiel

Matériel pour investigation CEM :

Oscilloscope numérique, 200MHz, FEC 2GS/s, 4 voies.

Sonde de Courant HF (CT1) 1GHz

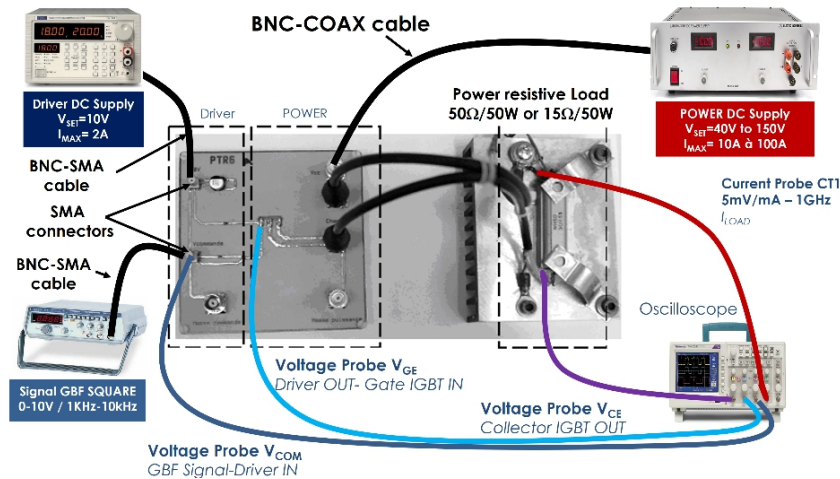


Figure 9. Vue du banc générique des mesures en mode conduit.

Figure 10.

⇒ TP CEMLAND#06 : émissions conduites en mode commun et différentiel

Matériel pour investigation CEM :

Oscilloscope numérique, 200MHz, 2GS/s, 4 CH.

Box ExPeecc : **boîtier spécial blindé** coaxial avec sonde de courant HF intégrée.

RSIL : Réseau Stabilisateur Impédances de Line. 50W – 50V DC – filtrage 200MHz

Analyseur spectre 9kHz-1,5GHz, NF-100dBm, RBW 1kHz – 1MHz

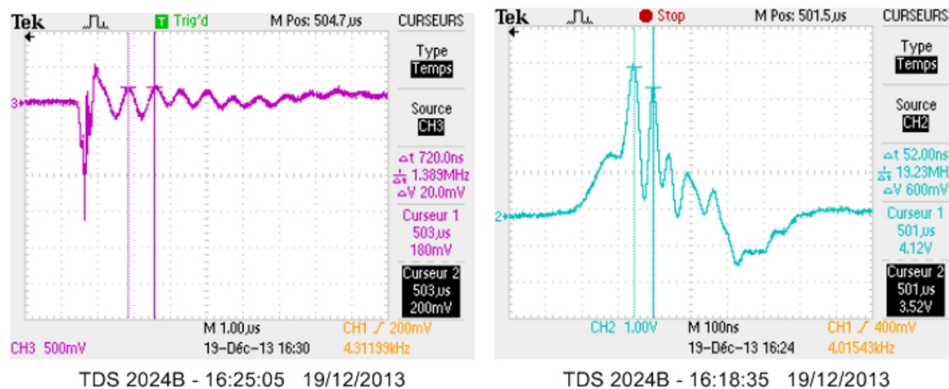


Figure 11. Exemples de formes d'ondes des perturbations conduites en mode commun (mesures sur GND Power)

⇒ TP CEMLAND#07 : émissions rayonnées en champ proche – locales E et H.

Matériel pour investigation CEM :

Oscilloscope Numérique, 200MHz, F_{ECH} 2GS/s, 2 voies, impédance d'entrée 1MΩ / 50Ω
Jeux d'antennes EM : monopole champ E, 1GHz, FA=25dB / Boucle champ H, diam. 3cm, 1 GHz, FA = 17dB à 28dB suivant la fréquence.

Sondes Powermeter, 2,6 GHz, sensibilité -50dBm ou analyseur spectre en mode Full Power.

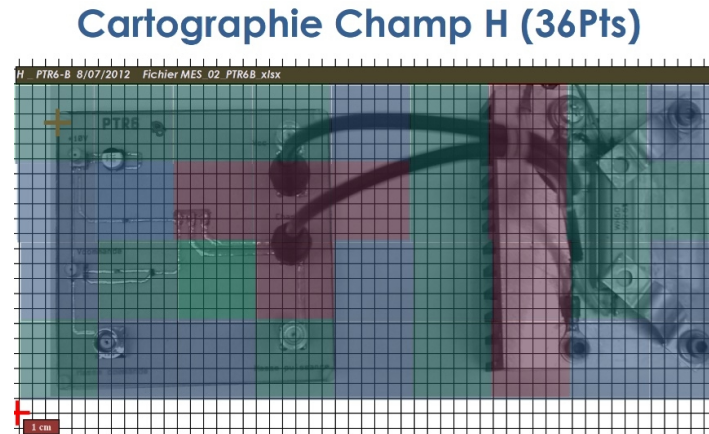


Figure 12. Exemple de cartographie de champ H-module PTR6

⇒TP CEMLAND#08 : émissions rayonnées en mode champ établi - champ lointain
Matériel pour Investigation CEM :

Oscilloscope Numérique, 200MHz, FECH 2GS/s, 2 voies, impédance d'entrée $1\text{M}\Omega / 50\Omega$
 Cellule type TEM (Crawford), 300kHz -2,2GHz.

Analyseur spectre 9kHz - 6GHz, NF=-119dBm, RBW 10Hz – 1MHz.

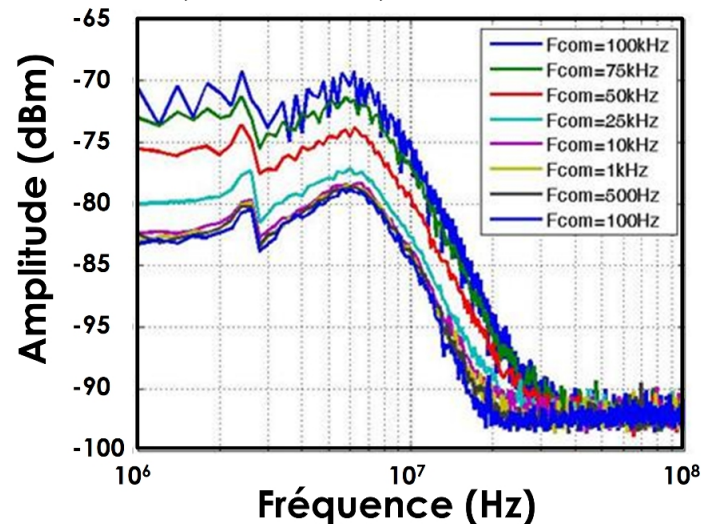


Figure 13. Exemple de spectres rayonnés d'un module de puissance en fonction de la fréquence de commande.

3.3. TP/expérimentation de la susceptibilité et de l'immunité des PCB numériques.

Cette partie présente les différents protocoles de TP et résultats attendus concernant la susceptibilité et l'immunité des cartes de commande-contrôle, parmi la liste de la Table 1 .

⇒TP CEMLAND#19 : évaluation de la susceptibilité conduite en Champ Pulsé-ESD.
Matériel pour Investigation CEM :

Injection/agression : Pistolet ESD 100V-10kV avec embout sans contact.

Contrôle/mesure défaut : Oscilloscope numérique 200MHz, 2 voies, contrôle type tout ou rien (défaut franc)

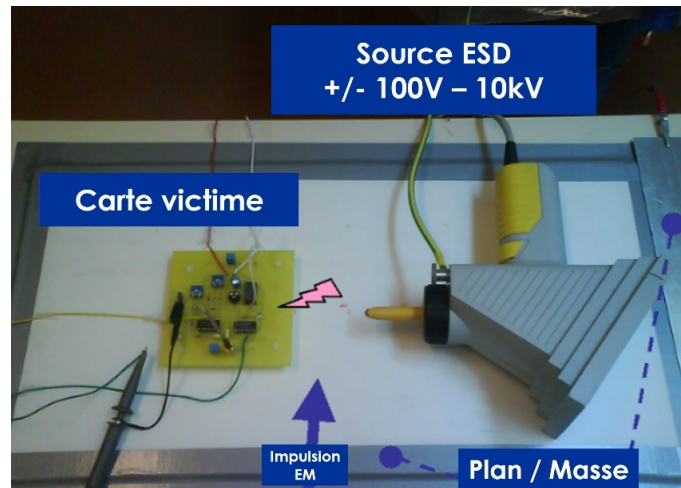


Figure 14. Vue du banc d'agressions par décharges ESD

⇒TP CEMLAND#20 : évaluation de la susceptibilité rayonnée en mode Champ Pulsé (BURST) H et E

Matériel pour Investigation CEM :

Injection/agression : Générateur de BURST sur antennes magnétiques ou électriques.

Fréquence répétition et nombres de BURST réglables

Support spécial réglette distance antenne – cible 110cm à 1m50.

Contrôle/mesure défaut : Oscilloscope numérique 200MHz, 2 voies, contrôle type tout ou rien (défaut franc)

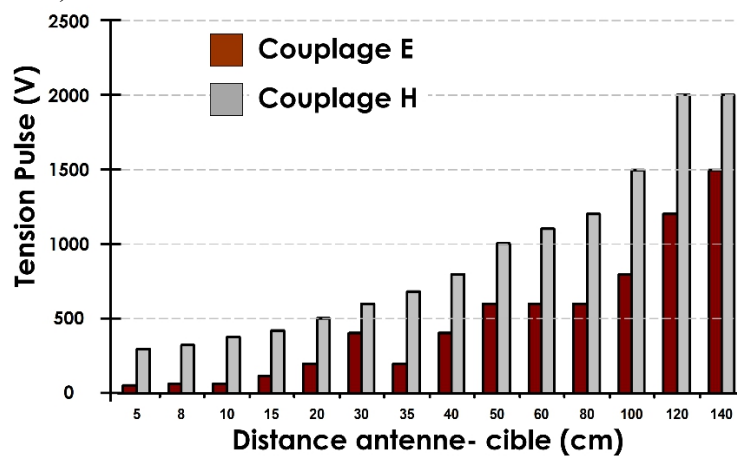


Figure 15. Exemple de résultats du TP #20 : défauts de la cible par agression champ E et H suivant la distance et le niveau de la source

⇒TP CEMLAND#21 : évaluation de l'immunité rayonnée en agression champ harmonique établi en cellule TEM

Matériel pour Investigation CEM :

Injection/agression : générateur Harmonique HF avec modulations, 10kHz-1GHz, $P_{MAX} = 20$ dBm

Amplificateur HF 1GHz-10W Gain 40dB

Cellule TEM, 2 ports, 2,2 GHz, ouverture PCB 10x10cm²

Contrôle/mesure défauts : Oscilloscope numérique 1GHz, $F_{ECH} = 4$ GS/s, 4 voies avec contrôle intégrité du signal type MASK ou PASS/ FAIL.

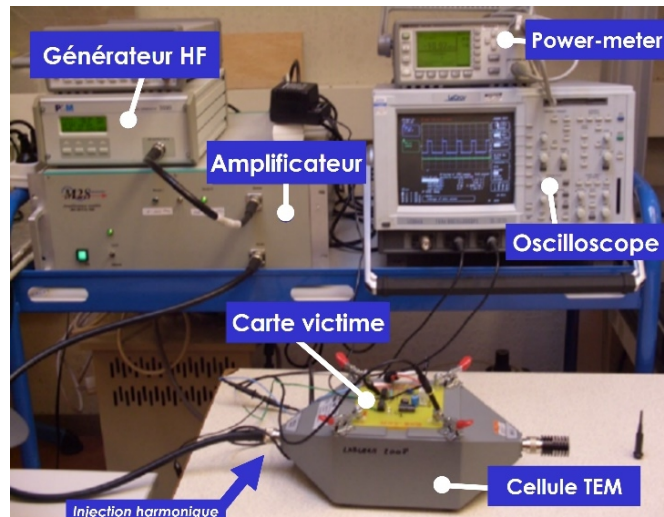
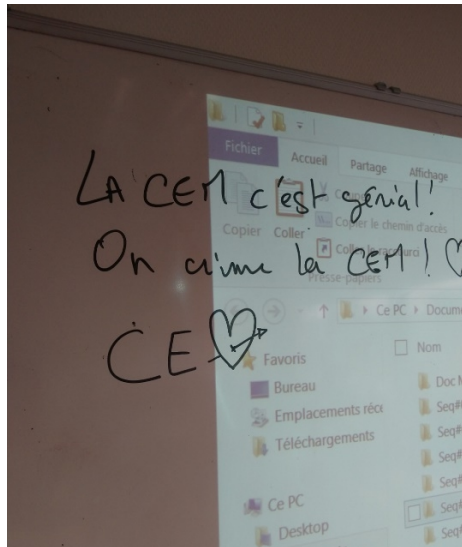


Figure 16. Vue du banc d'agressions en régime harmonique et champ établi pour la susceptibilité des circuits électroniques.

4. Conclusions

Ces descriptions techniques et scientifiques illustrent les impacts de l'approche de la Compatibilité Electromagnétique dans nos domaines de l'EEA, à la fois dans nos missions universitaires liées que sont l'enseignement et la recherche, et dans la formation de nos futurs techniciens, ingénieurs, chercheurs. La plupart des exemples présentées ici sont issus des projets recherches et ingénierie pédagogique en CEM menés au sein de la Plateforme Labceem depuis 25 ans. Cette plateforme est également depuis 2007 dédiée à l'initiation et la formation tous niveaux (LMD) en CEM, avec 12 postes opérationnels d'expérimentation et de simulation EM, et à travers le programme "CEMLAND" qui s'est considérablement étoffé avec environ une cinquantaine de TP CEM sur catalogue. La présence de ces moyens et activités au cœur du campus permet une diffusion régulière et permanente dans les programmes de B.U.T, de Licence, de Master, et d'écoles d'ingénieurs, de manière directe par des cours, TD et TP, mais aussi de manière indirecte par des projets tutorés, bureau d'études, stages, conférences et formation continue et professionnelle. Le projet complémentaire en cours, qui concerne la mise en ligne et le pilotage à distance d'une partie de ces T.P., permettraient à d'autres organismes universitaires et professionnels d'accéder plus facilement à ce type de prestations (et d'avoir un bon bilan carbone !)

Pour conclure, un aperçu sur le retour d'étudiants des cursus "CEMLAND", avec cette inscription au tableau découverte au retour d'une pause du cours CEM dispensé aux étudiants en dernière année d'un diplôme d'ingénieurs à Toulouse...!



5. Références

- [1] J. Andrieu, J.L Schanen, J.C. Guignard, "Rayonnement, conduction, émission, susceptibilité, problèmes d'Harmoniques et Réseaux EDF", *Ecole d'été CEM, Grenoble, 7-11 Juillet 1997*.
- [2] "C.E.M.: Effets sur les matériels, réseaux électriques et les personnes", Journées E.E.A., Le Havre, 13-14 Mars 1997.
- [3] J. Chilo, "L'IUT et la CEM", *Revue des Départements GEII en IUT, GESI n°48, Mai 1997*.
- [4] M. Lamarche, "Quelques expériences pour se familiariser avec les problèmes de CEM", *Bulletin de l'Union des Physiciens, Vol. 91, N°794, Mai 1997, pp 999-1006*.
- [5] J.M. Dienot, "Exemples de travaux pratiques d'électronique en IUT intégrant les aspects CAO, mesures FFT et CEM.", *CETIS-EEA'03, Toulouse, France, Nov. 2003*.
- [6] B. Sohler, C. Dumond, "Projet didactique : travaux de réalisation en compatibilité électromagnétique en IUT GR&II", *CETIS-EEA'03, Toulouse, France, Nov. 2003*.
- [7] "Maîtrise de la CEM : technologies, réglementations, normes", *Les Référentiels Dunod, Ed. Dunod, 2004*.
- [8] "Plate-forme Labceem – contraintes électromagnétiques & électronique mobile", <http://www.iut-tarbes.fr/labceem>
- [9] E. Batista, "Conception d'un démonstrateur du rayonnement de composants de puissance sur Power PCB", *Rapport de stage, Labceem, Juin 2006*.
- [10] J. Masson, "Emission et immunité d'une architecture de commande pour Système Mobile Autonome (SMA)", *Rapport de stage, Labceem, Juin 2008*.
- [11] J.M. Dienot, "Cemland, Tarbes (A64, sortie ouest)", *Revue des Départements de Génie Electrique et Informatique Industrielle, GESI n°69, pp 34-36, Juin 2007*.
- [12] J.M. Dienot, J. Gonzalo, "Rob-cem I : une initiation complète aux problématiques de compatibilité électromagnétique dans les circuits et architectures électroniques embarquées", *Journal de l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes (J3EA), Vol. 9, 2010, DOI.org/10.1051/j3ea/2010015*
- [13] J.M. Dienot, "Analyses théoriques et expérimentales des Emissions d'un Module MPPT en vue de sa préqualification CEM", *rapport d'expertise mandaté par SOLARCOM S. A., 35 Pages, Juillet 2015. (Confidentiel)*
- [14] E Farea-Andres, "Mise en œuvre et validation d'un système mobile embarqué pour des évaluations CEM", *Rapport de stage, Labceem, Juillet 2016*.
- [15] G. Guegan, "Quelle place pour le robot dans le monde des hommes ?", *Revue GESI n°90, pp 35-39, Déc.2017*.

- [16] J.M. Dienot, "Nouvelles problématiques EMC/EMI liées à l'intégration embarquée des architectures de puissance", *Conf. Invitée, GDR-CNRS Interférences & Ondes, Sophia-Antipolis, France, 23-25 Oct. 2017*.
- [17] "50 ans de Recherche et d'Innovation en IUT", Collection IUT#Uni(di)vers(c)ité, Edition L'Harmattan, ISBN : 978-2-343-12974-7, Dépôt Légal Avril 2018.
- [18] J.M. Dienot, "The rise of electromagnetic pollution and interactions in mobile and transport applications" in *Proc. of the European Sciences Open Forum, ESOF'2018, Toulouse, France, July 11-14, 2018*.
- [19] J.M. Dienot, " ...Cinquante nuances de CEM...", *Revue GESI n°93, pp. 7-11, Juin 2019*.
- [20] J.M. Dienot, "Labceem : un exemple de plateforme Enseignement-Recherche-Transfert de technologie autour de l'ingénierie électromagnétique et la CEM à l'IUT de Tarbes, " 50ème colloque des départements GEII, Université Aix-Marseille-Salon de Provence, 29-31 mai 2024 et dans *Revue Gesi n°100, pp. 22-23, Décembre 2024*.
- [21] "Le guide de la Recherche", *Grand Tarbes, Edition 2018*.
<http://www.agglo-tlp.fr/enseignement-superieur-recherche/>
- [22] YouTube : "Vidéo LABCEEM", *1mn42*
https://www.youtube.com/watch?v=L_novbt6uFA
- [23] YouTube : "GT5 - J.-M. Dienot, problématiques EMC EMI liées à l'intégration embarquée", *1h06mn*. Webinars du GDR Ondes, groupe de travail n°5, CEM et champ proche.

Biographie des auteurs

Jean-Marc Dienot : Professeur des Universités de l'Université de Toulouse, France. Depuis 1995, il s'intéresse aux problématiques d'interférences et de compatibilité électromagnétique autour des composants et des architectures électroniques. Il a développé et anime le Labceem, une plateforme scientifique dédiée aux projets de recherche, d'expertise et de formations universitaires autour de l'ingénierie électromagnétique et la CEM. Depuis 2017, il est chercheur associé au Laboratoire SIAME de l'Université de Pau et Pays de l'Adour (UPPA).

José Gonzalo : Assistant ingénieur en conception et fabrication mécanique de l'Université de Toulouse, France. Il a rejoint la plateforme Labceem en 2007, dont il est le responsable technique et logistique. Il a en charge la conception la réalisation, la validation et la maintenance des prototypes, bancs de test et supports spécifiques aux développements des projets innovants de recherche et de formation autour de l'ingénierie et de la métrologie électromagnétique.

Emmanuel Batista : Docteur en électronique et microélectronique de l'Université de Toulouse, France. Il est ingénieur depuis 2010 chez Alstom Transport S.A, sur le site de Séméac, France. Il est actuellement Senior Expert et anime des projets de recherche et développements dans les domaines de la modélisation électromagnétique et de la validation virtuelle des convertisseurs de puissance. Il participe également depuis 2009 aux projets R&D et pédagogiques de la plateforme Labceem-SIAME.