

Plateforme nationale de formation à la mesure de compatibilité électromagnétique

W. Uhring^{a,b}, E. Jamet^b, Alexandre Geoffroy^b, N. Gross^b, J. Bainier^b

^a ICube et pôle CNFM du Grand Est (MIGREST), Université de Strasbourg, France

^b IUT de Haguenau (Université de Strasbourg), Strasbourg, France

Contact email : Wilfried.uhring@unistra.fr

Une nouvelle plateforme de mesure et de caractérisation de la compatibilité électromagnétique est mutualisée avec l'entreprise Alcatel Lucent Enterprise et le laboratoire ICube de Strasbourg. L'équipement est ouvert aux activités de recherche, de prestation de service et à l'enseignement pour tous acteurs du territoire national.

I. Introduction, contexte

Fin 2021, Alcatel-Lucent Enterprise, fournisseur de solutions de communication, de réseau et de cloud, signe un partenariat avec l'Université de Strasbourg et le CNRS afin de mutualiser une cage de Faraday pour le laboratoire ICube. Cette association permet de créer une nouvelle plateforme commune de mesures électromagnétiques à Strasbourg. Ce partenariat est l'occasion pour l'entreprise de renforcer ses liens avec le monde de la recherche en proposant, de mutualiser une cage de Faraday, l'un de ses équipements majeurs avec le laboratoire ICube. Cette grande chambre anéchoïque et ses équipements de mesures d'une valeur de 700 000€ sont accessibles dans les locaux d'ICube, situés sur le campus du CNRS de Cronenbourg à Strasbourg (voir Fig.1). Pour rappel, une chambre anéchoïque est une salle d'expérimentation dont les parois absorbent les ondes électromagnétiques. Cet espace permet de réaliser des mesures électromagnétiques sans aucune perturbation.

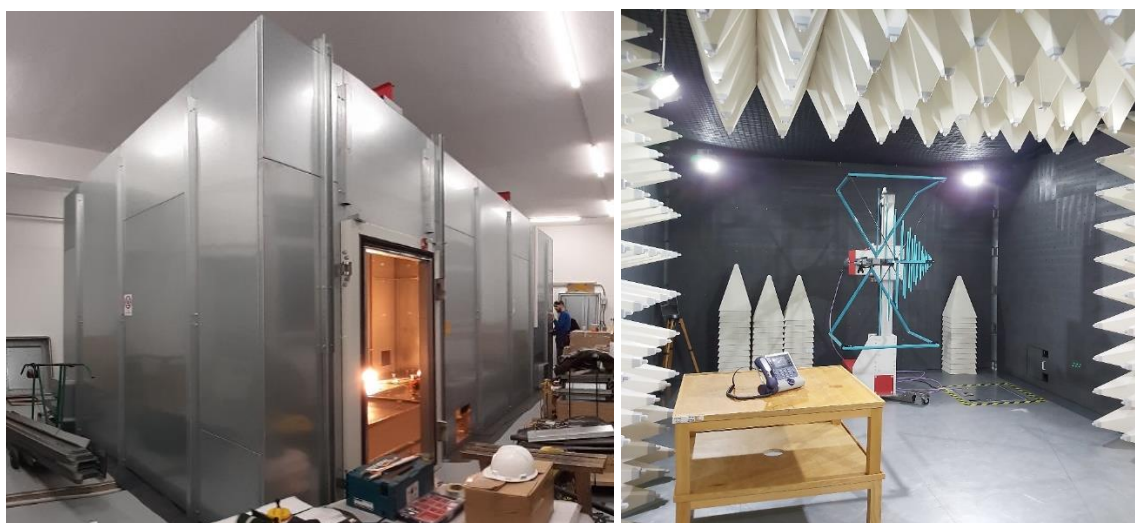


Fig.1. La cage de Faraday en cours de montage (gauche), Vue intérieure de la cage de Faraday avec les ferrites et les pyramides d'absorption, une antenne bilog couvrant la bande de 30MHz à 6GHz et la table sur lequel on pose le système à mesurer (droite).

II. Une plateforme partagée entre enseignements, recherche académique et industrielle

Cette collaboration avec Alcatel-Lucent Enterprise sera propice aux échanges et partenariats avec l'entreprise pour des projets de recherches, mais aussi pour l'enseignement porté par les enseignants-chercheurs du laboratoire. En effet, la chambre est ouverte à l'enseignement à travers une plateforme nationale de formation qui est gérée par le pôle Grand-Est (le pôle MIGREST) de la Coordination Nationale de Formation en Microélectronique (CNFM) (1). Cette plateforme permet de former les étudiants d'écoles d'ingénieurs, de master, d'IUT et de BTS à la mesure et la compatibilité électromagnétique. Les ingénieurs d'Alcatel-Lucent Enterprise, experts des tests CEM, sont ainsi en première ligne pour former les enseignants-chercheurs à l'utilisation de la plateforme, pour une transmission, et un partage de savoir.

III. Caractéristiques techniques de la plateforme

La chambre anéchoïque est longue de 7m50, large de 4m et haute de 3m30. Elle assure une isolation supérieure à 100dB avec l'extérieure en conduit et en rayonné. L'équipement associé permet de faire des mesures en émission jusqu'à des fréquences de 18 GHz à l'aide d'un jeu d'antennes appropriées (2) et des mesures en immunité jusqu'à 6 GHz à l'aide d'un jeu d'amplificateurs (3). La mesure est entièrement automatisée à l'aide de l'outil industriel Nexio BAT-EMC (4).

Mesure en émission

L'utilisation de BAT-EMC se fait en plusieurs phases. Les essais reposent sur une base de données de matériels qui ont été calibrés (perte des câbles, sensibilité des antennes, réponses des atténuateurs et amplis, etc.). La première phase consiste donc à construire cette base de données. La deuxième phase permet de configurer le test en instanciant le matériel adéquat et en choisissant les paramètres de mesure (plage de fréquence, plage d'angle et de hauteur de mesure). Une fois le test configuré, le logiciel fait une première mesure grossière pour détecter les points d'émissions qui sont trop proches ou au-delà des normes d'émissions autorisées. Une fois ces points déterminés (fréquence, angle et hauteur), une deuxième mesure plus précise est effectuée. Le résultat du test est un rapport indiquant les spectres d'émission et un relevé des points de mesures qui posent problème. Durant la mesure, le système à caractériser est posé sur une table en bois elle-même posée sur un plateau dont la rotation est automatisée. L'antenne est également posée sur un bras polymère motorisé afin de pouvoir en régler la hauteur et la polarisation. Le spectre observé avec la porte de la cage entrouverte est donné Fig.2. Cette mesure permet d'illustrer l'intérêt de l'isolation assurée par la chambre.

Mesure en immunité

Les tests en immunité sont plus difficiles à réaliser. Il s'agit d'utiliser l'antenne pour créer un champ sur le système sous test. Une sonde de champ proche posée à côté du système permet dans un premier temps de mesurer le champ induit avec une puissance d'émission donnée. Le système utilise ensuite un asservissement pour régler la puissance d'émission nécessaire en fonction de la fréquence de test. 3 amplificateurs de puissance (de 100 à 250W) différents permettent de couvrir la bande de 30 MHz à 6 GHz. Généralement, une modulation du signal RF est appliquée afin de pouvoir détecter un éventuellement effet de redressement et de modulation au niveau du dispositif sous test. Il

est bien entendu nécessaire de prévoir une séquence de test afin de vérifier que le système fonctionne toujours. Une caméra blindée filme l'intérieur de la cage à cet effet.

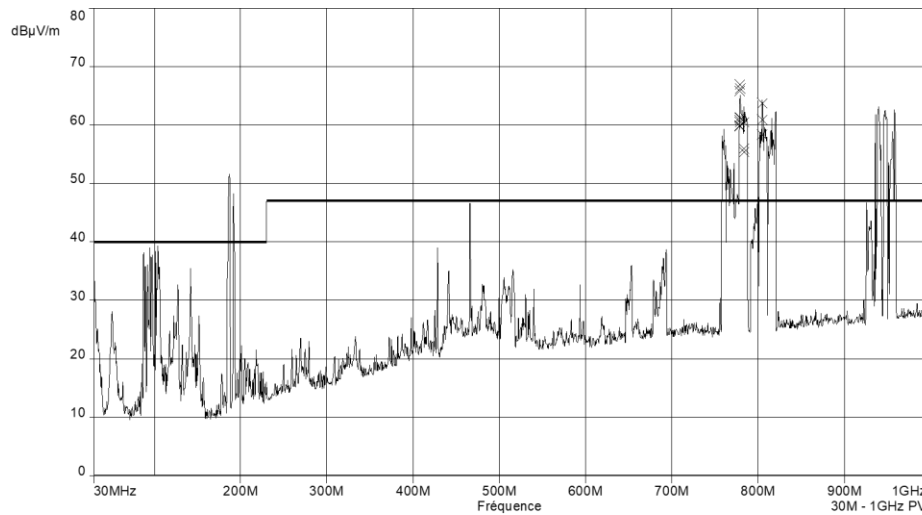


Fig.2. Exemple de résultat de mesure obtenu avec BAT-EMC avec la porte de la cage entrouverte. On y distingue les spectres des émissions de radio FM et RNT, TNT, GSM etc.

Mesure de rayonnement

Une première séquence de TP de mesure de rayonnement d'antenne a été menée par les étudiants de 2^e année à l'IUT de Haguenau en mai 2023. Durant une séance en salle de TP à l'IUT, les étudiants ont préalablement caractérisé l'impédance d'une antenne bipolaire à l'aide d'un analyseur de réseaux vectoriel. Ils ont ensuite réalisé un circuit d'adaptation d'impédance à 50 Ohm à la fréquence de résonance de l'antenne. Durant la séance sur la plateforme de mesure les étudiants ont installé dans la cage afin de mesurer son diagramme de rayonnement (5). Ils ont pour cela fait pivoter la table sur 360° en relevant la puissance reçue par l'antenne bilog en fonction de l'angle. Les résultats des mesures effectuées par les étudiants sont donnés sur la Fig.3. On distingue très clairement les deux lobes d'émission caractéristique des antennes bipolaires.

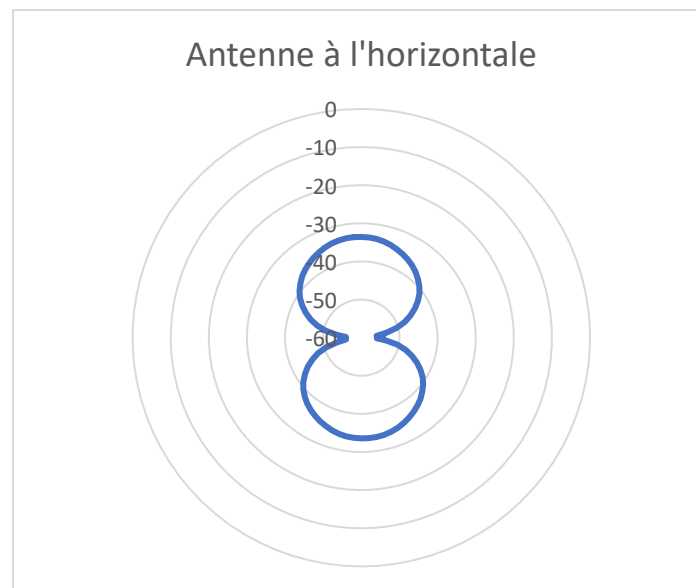


Fig.3. Diagramme de rayonnement d'une antenne bipolaire mesuré par des étudiants d'IUT.

IV. Déroulement des séances de TP vue et expliquée par les étudiants eux-mêmes

Dans le cadre de nos enseignements de 3e année en BUT GEII nous avons eu des cours portant sur la CEM (Compatibilité Electro-Magnétique) dans lesquels nous avons appris les bonnes pratiques concernant ce domaine. Pour mettre en situation ces notions fraîchement acquises, des séances de TP (travaux pratiques) ont été organisées au CNRS, plus précisément dans la chambre anéchoïque du département de recherche en électronique du laboratoire ICube. Durant cette séance de TP, nous avons procédé à des analyses CEM de différents systèmes électroniques.

Après nous avoir présenté la chambre anéchoïque, son histoire et son fonctionnement, nous avons pu tester les spectres d'émission d'appareils électroniques du commerce et de cartes d'essais pédagogiques. L'un des sujets de test CEM était l'ordinateur portable d'un étudiant.



Fig.4. Ordinateur posé sur la plateforme de mesure.

Celui-ci a été placé sur la plateforme de mesure (voir Fig.4). Pour accentuer les potentielles émissions électromagnétiques, un test de performances était exécuté sur l'ordinateur, forçant le processeur et carte graphique de l'ordinateur à tourner à leurs fréquences maximales et engendrant des commutations de fortes intensités dans les VRM (5). Le spectre d'émission électromagnétique a ensuite été mesuré dans la cage sous plusieurs angles grâce à la plateforme de mesure pivotante. Ce qui nous a permis de relever les zones d'émissions principales de l'ordinateur, ainsi que leur polarisation. Grâce au logiciel BAT-EMC, nous avons pu relever la courbe donnée par la Fig.5. Ce graphique met en évidence la puissance électromagnétique rayonnée en fonction de la fréquence (courbe verte) par rapport au gabarit de la norme CEM pour ce type d'équipement (représenté par les seuils horizontaux). Dans ce cas, la courbe d'émission électromagnétique est en dessous du gabarit : l'ordinateur respecte les normes CEM en vigueur, car il ne génère pas de pollution électromagnétique susceptible d'affecter le fonctionnement d'équipements électroniques aux alentours. C'est d'ailleurs le résultat que nous devons avoir, car l'ordinateur a été soumis aux mêmes tests de CEM avant d'être mis sur le marché européen.

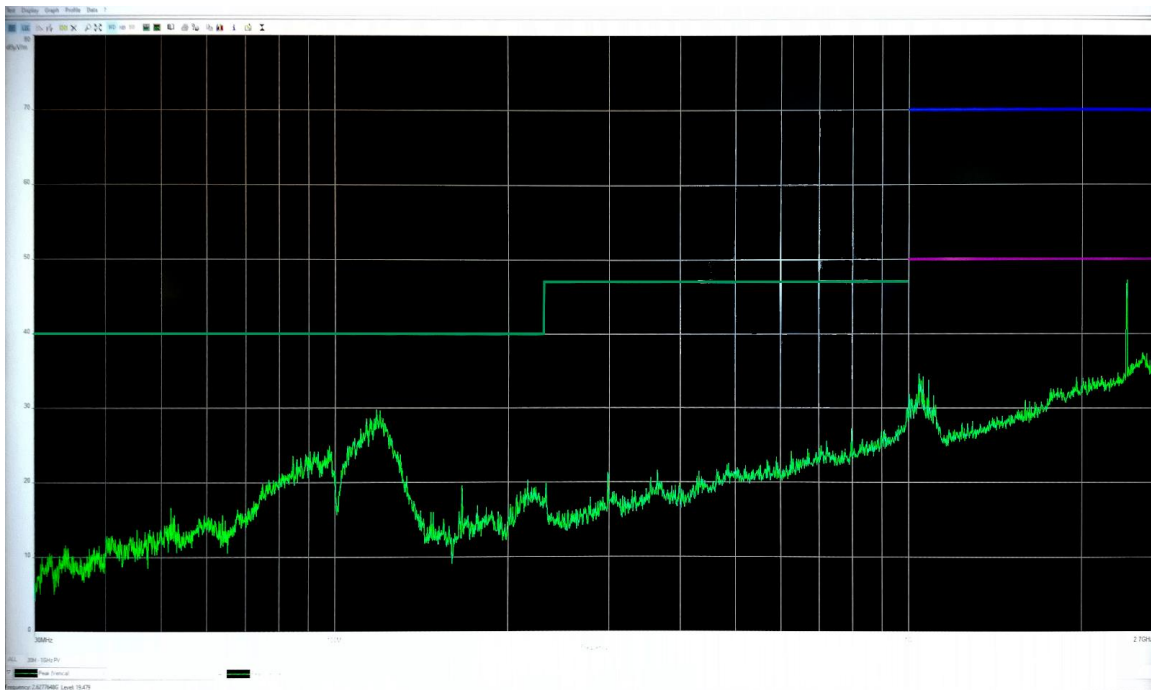


Fig.5. Graphique de puissance électromagnétique rayonnée par l'ordinateur mesuré (BAT-EMC).

Nous avons également testé les effets de rayonnement pour différents types de pistes sur un circuit imprimé. On y trouve des pistes avec des adaptations différentes (25 ohms, 50 ohms, 75 ohms), avec des formes et tailles différentes et avec des plans de masse différents (voir Fig.6).

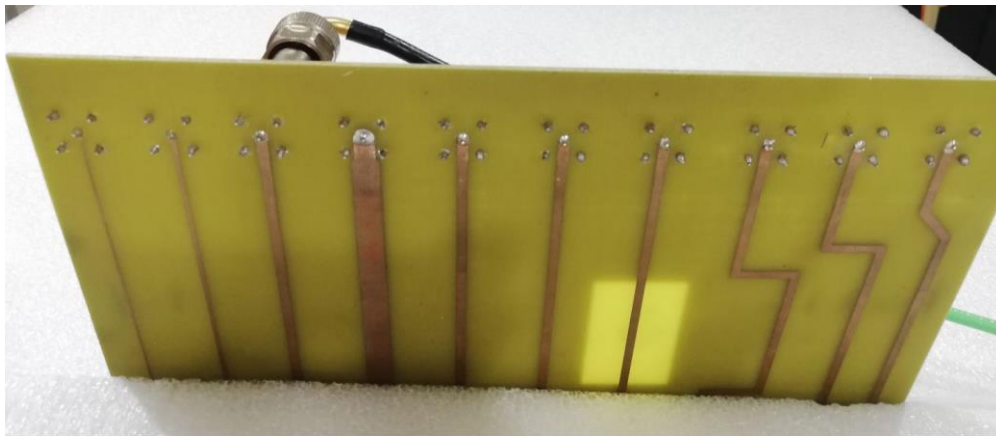


Fig.6. Carte de test de rayonnement de piste. On distingue notamment la piste dont on a évidé le plan de masse (4^e en partant de la droite)

Pour comparer le rayonnement entre une piste avec et une piste avec plan de masse évidé, nous avons envoyé un signal radio à différentes fréquences dans celles-ci, tout en mesurant la puissance électromagnétique rayonnée. Le rapport de mesure est donné Fig.7.

Nous avons pu observer que la piste sans plan de masse rayonne davantage que la piste avec plan de masse. Ce rayonnement est accentué lorsqu'on s'approche de la fréquence de résonance de la partie de piste ne possédant pas de plan de masse (fréquence proportionnelle à la longueur d'onde liée à la taille de la piste sans plan de masse).

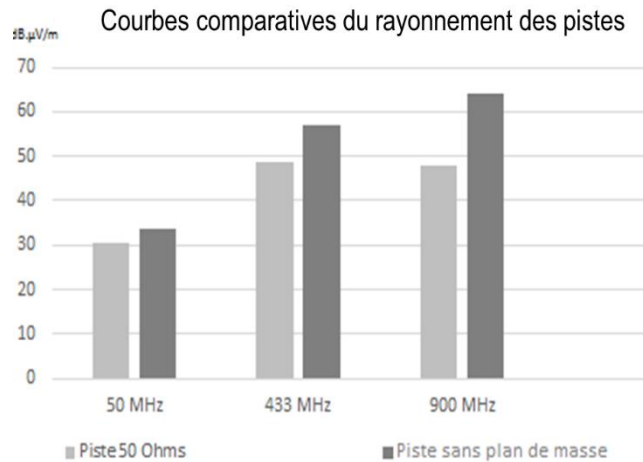


Fig.7. Graphique du rayonnement électromagnétique des pistes selon la fréquence.

Notre expérience pratique dans la chambre anéchoïque a permis de renforcer nos connaissances sur les émissions électromagnétiques des équipements électroniques, très répandus aujourd'hui, ainsi que notre compréhension des normes CEM. Grâce à ces travaux, nous sommes désormais plus sensibles aux impacts négatifs que peuvent avoir les rayonnements électromagnétiques non contrôlés sur les appareils électroniques.

V. Conclusion

La plateforme est désormais opérationnelle. Des TP de mesure de rayonnement d'antenne, et de test CEM ont été réalisés par des étudiants de l'IUT de Haguenau et du master de Microélectronique de la faculté de physique et Ingénierie de Strasbourg. La plateforme est ouverte aux formations de tout niveau sur le territoire national. Elle est également ouverte aux activités de recherche et aux entreprises. Une offre de modules d'enseignement complets à la CEM pour les formations initiales et continues sera créée dans le cadre du projet ANR INFORISM.

Remerciements

Les auteurs veulent remercier le GIP-CNFM, le laboratoire ICube et le laboratoire IPHC pour leur soutien financier à la création de cette plateforme. Remerciement également à France 2030" et le projet "ANR-23-CMAS-0024 INFORISM.

Références

1. GIP-CNFM : Groupement d'Intérêt Public - Coordination Nationale pour la formation en Microélectronique et en nanotechnologies. *Website: <http://www.cnfm.fr> (Accès 2021).*
2. Hegarty, Timothy. "An overview of radiated EMI specifications for power supplies." *Texas Instruments Whitepaper* (2018).
3. Buzdugan, Mircea Ion, and Horia Balan. "A Brief Review of Transient Electromagnetic Immunity Testing." *International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*. IEEE (2019).
4. <https://emc-software.nexiogroup.com/>.
5. Arai, Hiroyuki. Measurement of mobile antenna systems. *Artech House* (2013).
Joo, Junho, et al. "Analysis of Voltage Regulator Module (VRM) Noise Coupling to High-Speed Signals with VRM Via Designs.", *Joint Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility and International Conference on ElectroMagnetic Interference & Compatibility (APEMC/INCEMIC)*. IEEE (2023).