



HAL
open science

Techniques de Caractérisation en Champs Proches incluant Un Traitement de Signal en Réalité Augmentée

Jalal Alaa Eddine, Florian Duffourg, Jean Rioult, Grégoire Copin, Sidina
Wane, Lionel Duvillaret, Fabien Ndagijimana

► To cite this version:

Jalal Alaa Eddine, Florian Duffourg, Jean Rioult, Grégoire Copin, Sidina Wane, et al.. Techniques de Caractérisation en Champs Proches incluant Un Traitement de Signal en Réalité Augmentée. JNM 2022, XXIIèmes Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges, France. 4p. hal-03708998

HAL Id: hal-03708998

<https://hal.science/hal-03708998v1>

Submitted on 29 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Techniques de Caractérisation en Champs Proches incluant Un Traitement de Signal en Réalité Augmentée

J. Alaa eddine¹, F. Duffourg¹, J. Rioult^{2/3}, G. Copin³, S. Wane¹, L. Duvilleart⁴, F. Ndagijimana⁵

¹ eV-Technologies, 2 Esplanade Anton Philips 14460 Colombelles, France

² Luxondes, Lille, France

³ Université Gustave Eiffel, Lille, France

⁴ Kapteos SAS, Bât. Cleanspace 354 voie Magellan, Z.A. Alpespace, 73800 Sainte-Hélène-du-Lac, France

⁵ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, F-38000 Grenoble, France

Auteur jalal.alaeddine@ev-technologies.com

Résumé – Nous présentons l'évaluation de solutions de mesures en champs proches combinées à un traitement de signal en réalité augmentée pour le développement de plateformes expérimentales en vue de la qualification de systèmes embarqués connectés mobiles. Les vérifications expérimentales sont conduites dans la perspective de l'élaboration de nouveaux standards de mesures de champs électromagnétiques stochastiques. Cette présentation s'attache à associer aux facteurs de mérite la contribution relative des différentes contraintes qu'il s'agisse de la gestion et de l'intégrité des signaux et de la puissance, du contrôle des émanations électromagnétiques et de l'intégration des antennes ou des matériaux électro-activables sans lesquels les facteurs de mérite restent très en deçà de ce qui peut être légitimement attendu des performances au niveau système.

1. Introduction

L'émergence de dispositifs connectés à haut débit de transfert de données, dans la perspective de l'« Internet des Objets » ou IoT (« Internet of Things ») pose de nouvelles contraintes sur le plan du test et de la qualification expérimentale des performances attendues. Nous proposons dans cette contribution l'évaluation de plateformes technologiques pour la qualification en champs proches d'applications avancées dans le cadre des réseaux mobiles, des objets connectés (IoT) et plus généralement, des objets communicants à haut débit.

La maîtrise de l'intégrité de la puissance et des signaux d'une part et celle des émissions électromagnétiques d'autre part, sont les conditions préalables à la mise en œuvre effective de ces applications. Au niveau des stratégies d'intégration, introduire la mesure de champs proches dès les phases de prototypage doit permettre de raccourcir les cycles de conception des assemblages et de détourner les écueils liés à des niveaux de compatibilité hétérogènes résultant de l'association d'éléments d'origines technologiques différentes.

La mesure en champ proche des émissions rayonnées est donc principalement motivée par les objectifs suivants :

- 1) Diagnostic de l'intégrité de la puissance et des signaux en vue de l'élaboration et de l'optimisation de la conception des circuits et systèmes intégrés opérant sur des bandes de fréquence s'étendant de la RF aux limites du domaine millimétrique.

- 2) Introduction de la gestion du caractère stochastique des signaux partiellement lié aux environnements fluctuants.
- 3) Vérification de la conformité aux règles actuellement en cours d'élaboration. Ces normes, en cours de définition, devront pouvoir intégrer, pour la certification des applications émergentes, de nouvelles contraintes incorporant des considérations énergétiques.

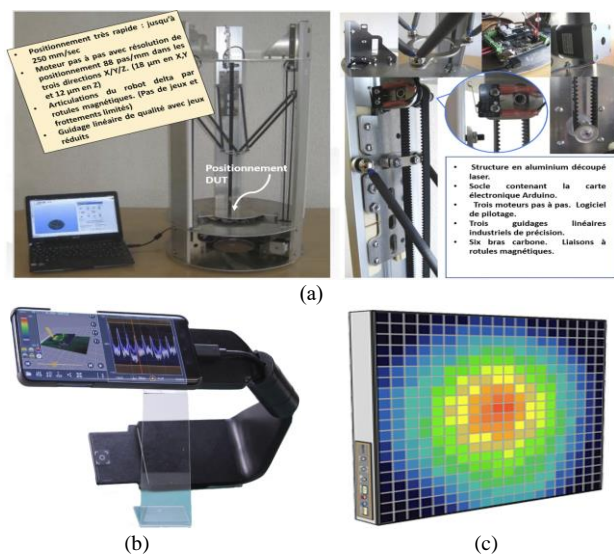


Figure 1 : Système de mesure robotisé (a) associé à un traitement de signal en réalité augmentée utilisant Scanphone (b) avec une visualisation en temps réel (c).

La figure 1 présente une vue du système de mesure robotisé associé à un traitement de signal en réalité augmentée utilisant Scanphone avec une visualisation en temps réel.

Lors de l'intégration d'un système, étape où se réalise le passage de l'échelle du composant à celle de la fonction ou de l'échelle du sous-système à celle du système, de nouvelles règles sont mises en jeu qui ne sont, dans la pratique, que très partiellement formalisées : continuité des références de masse, proximité des conducteurs, chemins fortuits ou coexistence et proximité d'émissions de signaux, numériques et analogiques, appartenant à des

bandes de fréquences fonctionnellement disjointes. Toute information relative aux distributions spatiales des champs électromagnétiques est absente des descriptions fonctionnelles des éléments assemblés et échappe pour l'instant aux analyses déployées pour la conception d'un système et aux règles d'intégration. Les analyses fonctionnelles et la description des environnements, même réduite à celle des éléments les plus significatifs, élaborent respectivement signaux et champs dans des formalismes disjointes. Les performances de débits requises, en élevant les fréquences des signaux numériques et en réduisant au maximum les niveaux de consommation, compriment les marges d'immunité essentiellement délimitées par les niveaux d'interaction en champs proche. Le champ proche, qui est tout autant la signature des interactions locales entre éléments assemblés que l'image des émissions générées, traduit et capture les modalités d'insertion d'un sous-ensemble dans son environnement et le système dans lequel il est mis en œuvre.

En appréhendant la réponse globale du système, l'analyse des champs proches [1-7], dits *très* proches dans ce contexte, dans le cas des émissions involontaires des circuits, fournit une visualisation immédiate et globale de la hiérarchie des interactions. Au-delà, en fournissant l'image de la réalité électromagnétique qui traverse les différentes échelles d'un système, la cartographie en champ proche est l'outil de compréhension des phénomènes d'interaction qui, en décuplant la puissance de la simulation électromagnétique, vient compléter le laboratoire virtuel des concepteurs intégrateurs. Elle devient un élément privilégié de diagnostic en délivrant à l'intégrateur les informations utiles à l'anticipation de la performance qu'à l'orientation des directions d'optimisation.

1.1. Calibration en Champs Proches

La figure 2 présente les mesures de réflexion de la sonde de mesure en espace libre et dans une cellule anéchoïque. Les premières mesures de coefficient de réflexion (S_{11}) de la sonde sont faites en espace libre, la sonde directement connectée à un analyseur vectoriel. Les mesures sont limitées à 9 GHz à cause des perturbations extérieures, pour cela nous avons effectuées une mesure en cellule anéchoïque, ce qui valide l'amélioration des mesures jusqu'à 18 GHz.

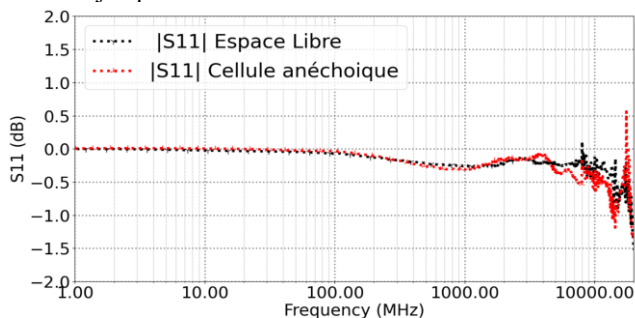


Figure 2 : S_{11} de la sonde de mesure

La calibration des sondes électromagnétiques se fait en terme de facteur d'antenne et de sélectivité, cette calibration nécessite l'utilisation d'une cellule TEM[2].

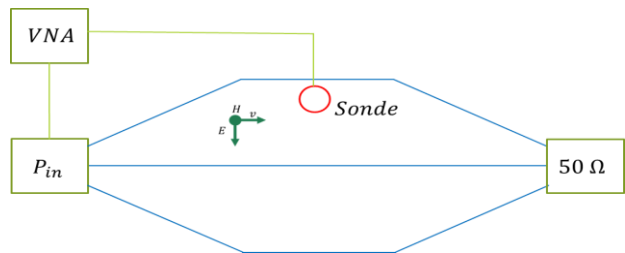


Figure 3 : Vue en coupe de la cellule TEM avec la sonde.

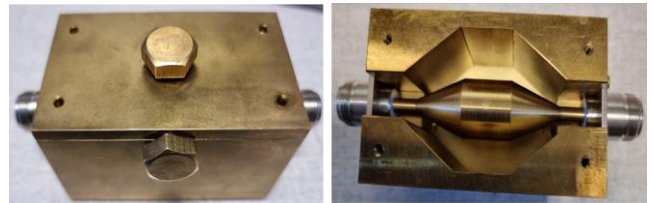


Figure 4 : Cellule TEM développée

La première cellule TEM utilisée c'est 'FCC-TEM-JM1', qui est limitée à 1 GHz. Pour pouvoir calibrer les sondes au-dessus de 1 GHz, nous avons développé une cellule TEM jusqu'à 5 GHz (Figure 4), une autre cellule de 30 GHz est en cours d'adaptation.

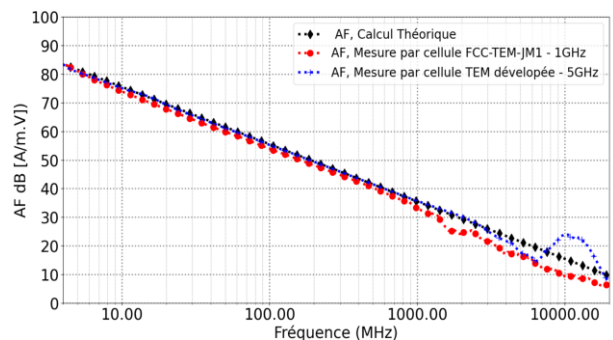


Figure 5 : Facteur d'antenne de la sonde de mesure

La Figure 5, présente le facteur d'antenne de la sonde utilisée en comparaison avec le calcul théorique, les Validation de la sonde

1.2. Dispositif de Validation

Pour valider la sonde, nous choisissons un dispositif bien connu en termes de rayonnement et de calcul théorique de champ électromagnétique. Le dispositif choisi est une ligne coaxiale à air [3].



Connexion critique

Figure 6 : Ligne Coaxiale Standard

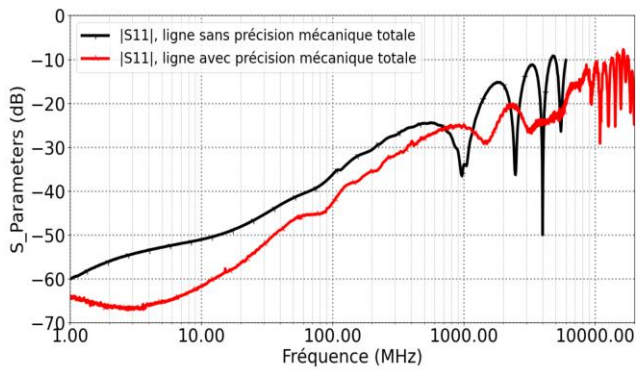


Figure 7 : S11, ligne coaxiale avec et sans précision mécanique.

Les graphes de la figure 8, montrent que la précision mécanique est un point crucial pour adapter la ligne coaxiale jusqu'à 10 GHz.

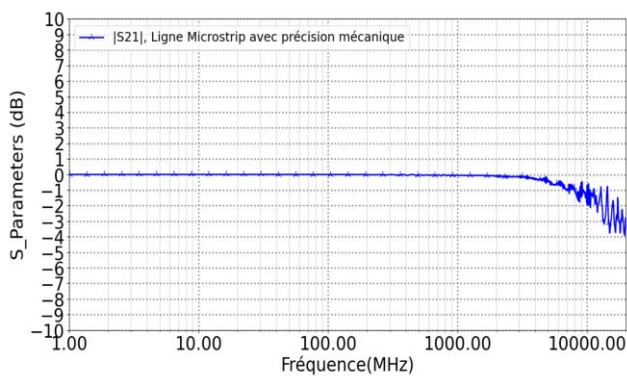


Figure 8 : |S21| de la ligne Microstrip avec précision mécanique

1.3. Mesure champ proche

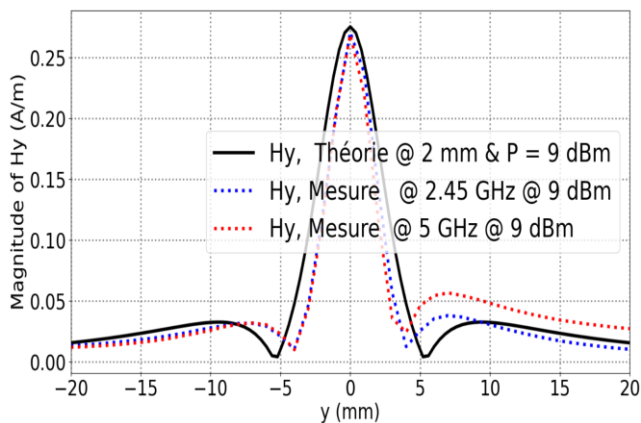


Figure 9 : Champ proche mesuré et comparaison avec la théorie.

Les graphes de la figure 9 montrent un très bon comportement, entre les mesures de champ proche à différentes fréquences et le calcul théorique du champ magnétique [4]. Dans la suite nous présentons la reproductibilité de mesure et la combinaison des mesures à la réalité augmentée.

1.4. Reproductibilité des mesures

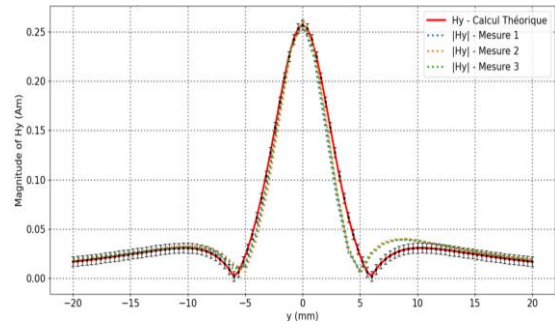


Figure 10 : Reproductibilité des mesures champ proche - @ 868 MHz, 2.5 mm & 10 dBm.

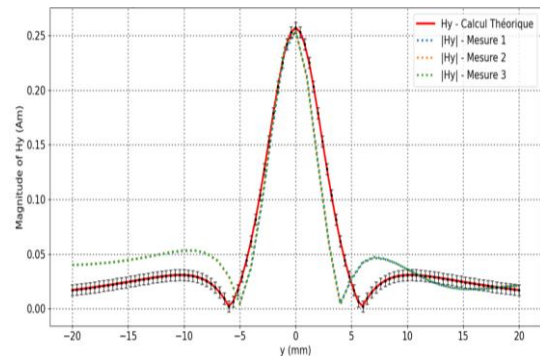


Figure 11 : Reproductibilité des mesures champ proche - @7.19 GHz, 868 MHz, 2.5 mm & 10 dBm.

Les graphes de la figure 10 et de la figure 11 montrent que les mesures sont reproductibles avec une incertitude de $\pm 0.05 \left(\frac{A}{m}\right)$.

2. Mesures en Champs Proches Combinée à Une Réalité Augmentée

Le scanphone de la société luxondes permet de cartographier en 2D ou 3D le rayonnement émis par un objet sous test dans un environnement de réalité augmentée. Le principe est de pouvoir enregistrer le spectre à chaque position XYZ au-dessus de la ligne de transmission dans un plan prédéfini. Une application viewer permet d'analyser instantanément l'évolution en fréquence de l'intensité du champ émis par la ligne. Sur le plan plus général, l'embarquement de systèmes de capteurs sur des vecteurs mobiles, guidé dans une première phase de preuve de faisabilité des missions par réalisation du meilleur compromis poids/autonomie, s'effectue à partir de composants souvent non spécifiques, « sur étagère », et intègre, à proximité de la motorisation électrique du véhicule, et avec des contraintes de compacité extrêmes, fonctions numériques de contrôle et fonctions analogiques de grande sensibilité. A ces contraintes de compacité et d'autonomie/faible consommation qui soumettent les équipements à des régimes de fonctionnement hors normes en termes d'exposition aux interférences sur des bandes de

fréquences très étendues se superposent les effets d'un environnement fluctuant [5].

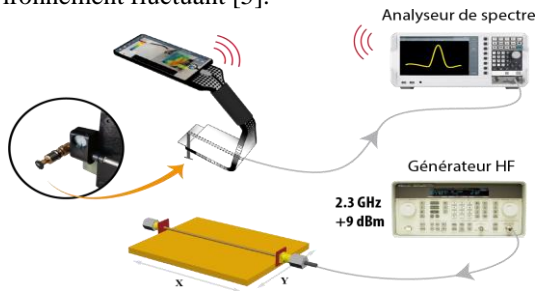


Figure 12 : Setup de mesure Scanphone



Figure 13 : Résultats de cartographie de la ligne Microstrip par Scanphone. Mannequin instrumenté embarquant un réseau de capteurs multi-physiques pour étendre (perception étendue) la mesure d'exposition aux ondes multi-physiques (incluant ondes électromagnétiques, thermiques et sonores).

Une approche innovante d'utilisation d'un mannequin instrumenté (Fig.13) embarquant un réseau de capteurs multi-physiques pour étendre (perception étendue) la mesure d'exposition aux ondes multi-physiques (incluant ondes électromagnétiques, thermiques et sonores) est proposé comme perspective à ce travail. Le déploiement de la plateforme proposé dans les habitacles (maisons, voiture, avion, bateau, etc..) bénéficiera du partenariat avec Kapteos [7].

Les systèmes de détection sans contact, doivent encore réduire au niveau du système les contraintes liées à la compacité et à la cohabitation des fonctions digitales et analogiques imposant des contraintes drastiques en termes de vulnérabilité aux interférences/agresseurs internes ou externes, dissipation thermique, bruit et immunité à l'environnement. Alternative aux connexions filaires, les liens optoélectroniques réalisant des distributions de signaux point à point à base de techniques d'intégrations hybrides (System-In-Package : SiP ou System-On-Chip : SoC) restent à évaluer en regard de leur contribution au bilan énergétique. Les critères de choix des matériaux ne considèrent plus seulement les compromis électriques et électromagnétiques mais intègrent les contraintes thermiques et mécaniques.

3. Conclusion

Dans une perspective industrielle, le relevé des distributions de champs proches fournit toute l'information nécessaire à la prédiction et l'extrapolation du fonctionnement d'un système tant au niveau interne (susceptibilité, interférences) qu'externe en permettant l'anticipation de ses interactions avec son environnement.

Doté de la puissance de l'information analogique, il est l'outil de la compréhension des phénomènes d'interaction. La convergence de développements technologiques relatifs à l'Identification radiofréquence, l'intégration des capteurs et la fonctionnalisation des éléments d'encapsulation rend à la fois nécessaire et accessible l'élaboration des plateformes de mesure et caractérisation associées. Le développement de plateformes de mesures embarquées dans des dispositifs mobiles ouvre de nouvelles perspectives applicatives mais renforce la nécessité d'analyses statistiques d'environnements fluctuants et d'environnements fortement bruyants. Ces analyses statistiques exigent de nouvelles méthodologies de calibrations large-bande. La méthode de calibration et validation des sondes champ proche large bande présentée dans cette contribution sera étendue aux analyses statistiques [8]. Dans le cas déterministe une reproductibilité de $\pm 0.05 \left(\frac{A}{m}\right)$ a été démontrée dans la bande DC-10GHz. En perspective, des moyens d'essai ambulants confiés à un mannequin permettront d'apporter une solution nouvelle aux défis posés par les tests de conformité.

Références

- [1] Benoit Fourestie, Jean-Charles Bolomey, Thierry Sarrebourse, Zwi Altman, and Joe Wiart, "Spherical Near Field Facility for Characterizing Random Emissions", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.53, no 8, 2005, pp 2581-3589.
- [2] Kassem Jomaa ' Electromagnetic Near-field Characterization & Occupational Exposure to RF Waves in Industrial Environment, Thèse, Université Grenoble Alpes, 2018.
- [3] Nimisha SIVARAMAN ' Design of magnetic probes for near-field measurements and the development of algorithms for the prediction of EMC', Thèse, Université Grenoble Alpes, 2017 .
- [4] D. Baudry, A. Louis, and B. Mazari, "Characterization of the open-ended coaxial probe used for near-field measurements in EMC applications," Prog. Electromagn. Res., vol. PIER 60, pp. 311–333, 2006.
- [5] Jean Rioult, Samuel Degrande, Nicolas Bremard, Grégoire Copin, Virginie Deniau, "Autonomous electromagnetic mapping system in augmented reality". EMC Europe 2019, International Symposia and Workshops on Electromagnetic Compatibility, Sep 2019, Barcelone, Spain. 6p. (hal-02283244)
- [6] X Tong, D W. P. Thomas, A Nothofer, P Sewell, and C Christopoulos, "Modeling Electromagnetic Emissions From Printed Circuit Boards in Closed Environments Using Equivalent Dipoles" IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.52, NO. 2, MAY 2010 pp 462-470.
- [7] Behague, F.; Calero, V.; Coste, A.; Godet, A.; Suarez, M.; Gaborit, G.; Duvillaret, L.; Baida, F.I.; Bernal, M.-P.; Courjal, N. Minimally invasive optical sensors for microwave-electric-field exposure measurements. J. Opt. Microsystems 2021, 1, 020902.
- [8] Wane, et al., "Correlation Technologies for OTA Testing of mmWave Mobile Devices Using Energy Metrics", in Proceedings of the 2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Las Vegas, Nevada 16-19 January 2022.