



Journée thématique GDR ONDES GT6
« Chambres réverbérantes : théories et applications »
Mercredi 30 septembre 2009
9h30 - 15h45

**Institut Henri Poincaré¹, Amphi Hermite, 11 rue Pierre et Marie
Curie 75231 Paris Cedex 05**
PROGRAMME PRELIMINAIRE

9H30 9H40 Accueil des participants

9H40 9h45 Introduction de la journée

9h45 10h15 B. Démoulin (invité)

B. Démoulin Réduction de la fréquence minimale d'une CRBM par commutations d'antennes filaires passives
IEMN/TELICE, université de Lille 1

10h15 10h35 C. Dorgan

C. Dorgan, A. Laisné, M. Nouvel et E. Lacam
Mesure de fonctions de transfert en environnement réverbérant par brassage fréquentiel pas à pas
DGA/CEAT

10h35 10h55 PAUSE CAFE

10h55 11h15 A. Diallo

A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, R. Staraj, G. Kossias
Evaluation des performances en diversité et MIMO d'un système multi-antennes dans une chambre réverbérante
CREMENT, université de Nice

11h15 11h35 G. Le Fur

G. Le Fur, P. Besnier, A. Sharaiha
Mesure temporelle d'efficacité d'antennes large bande en cavité réverbérante
IETR, université de Rennes 1, INSA de Rennes

11h35 11h55 Houmam Moussa

H. Moussa, A. Cozza, M. Cauterman
Génération de fronts d'ondes cohérents et directifs dans une chambre réverbérante

¹ Accès : http://www.ihp.jussieu.fr/pratique/acces_quartier.html. L'Institut Henri Poincaré est desservi par la ligne B du RER (station de métro Luxembourg à 300 m)

Supelec, L2S

11h55 12H15 Christophe Lemoine

C. Lemoine, E. Amador, P. Besnier

Estimation du facteur K pour la caractérisation de l'efficacité de brassage en chambre réverbérante

IETR, INSA de Rennes

12h15 12h30 Echanges et discussions complémentaires autour des présentations de la matinée

12H30

14H00 DEJEUNER

14h00 14h30 Pierre Bonnet (invité)

P. Bonnet

Modélisations numériques de chambres réverbérantes

LASMEA, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand

14h30 14h50 Emmanuel Amador

E. Amador, P. Besnier, C. Lemoine

Modèle temporel d'une chambre réverbérante basé sur la théorie des images pour une étude du comportement en régime pulsé

IETR, INSA de Rennes

14h50 15h10 Guillaume Andrieu

G. Andrieu, F. Tristant, A. Reineix

Investigations sur l'utilisation d'un hangar métallique comme "pseudo-CRBM" dans le domaine aéronautique

XLIM, université de Limoges & Dassault Aviation

15h10 15h30 Davy Gaillot

O. Delangre, P. De Doncker, D. Gaillot, P. Stefanut, M. Liénard

Emulation de canaux de propagation à l'aide de chambres réverbérantes.

Université libre de Bruxelles & IEMN/TELICE, université de Lille 1

15h30 15h55 Kamel Nafkha

K. Nafkha, E. Richalot, S. Mengué, O. Picon

Etude du spectre d'ondes planes dans une chambre réverbérante à l'aide de l'algorithme MUSIC.

ESYCOM, Marne la Vallée

15h55 Conclusions

MESURE DE FONCTIONS DE TRANSFERT EN ENVIRONNEMENT RÉVERBÉRANT PAR BRASSAGE FRÉQUENTIEL PAS A PAS

C. Dorgan, A. Laisné, M. Nouvel et E. Lacam

Délégation Générale pour l'Armement (DGA) – Centre d'Essais Aéronautique de Toulouse (CEAT)
47 rue Saint Jean, BP 93123, 31131 Balma Cedex
E-mail: cecile.dorgan@dga.defense.gouv.fr

I. INTRODUCTION

La qualification des systèmes d'armes aux champs forts radio-RADAR est réalisée en soumettant le système sous test à des niveaux de champs électromagnétiques représentatifs de l'environnement opérationnel. En complément des essais fonctionnels à fort niveau, des mesures de fonctions de transfert bas niveau sont également réalisées : mesure des courants induits sur les câbles et des champs électriques générés dans les baies avioniques en fonction des niveaux de champ externes. Ces essais sont généralement conduits dans une chambre anéchoïque ou en chambre réverbérante à brassage de modes (CRBM) de dimension système. Cette communication présente une nouvelle technique de brassage fréquentiel visant à réduire les durées d'essais sur systèmes par rapport au brassage mécanique classique.

II. PRINCIPE DU BRASSAGE FRÉQUENTIEL PAS A PAS

La technique de brassage fréquentiel pas à pas proposée repose sur l'excitation séquentielle de M fréquences discrètes autour de la fréquence f_0 , espacées de δf . Sous certaines conditions, on peut montrer que les statistiques associées à ces M échantillons autour de f_0 sont alors identiques à celles obtenues pour M échantillons obtenus par brassage mécanique à f_0 . Une difficulté réside cependant dans la connaissance *a priori* du pas d'échantillonnage fréquentiel δf permettant d'assurer l'indépendance des M échantillons obtenus autour de f_0 . La quantité proposée pour maîtriser la corrélation des échantillons en brassage fréquentiel pas à pas est la largeur de bande du facteur de qualité BW_Q donnée par

$$BW_Q(f) = \frac{f}{Q(f)} \quad (1)$$

avec f la fréquence et Q le coefficient de qualité, $BW_Q(f)$ correspondant à l'excursion fréquentielle d'un mode de cavité.

Une série d'expérimentations a été menée dans la CRBM EMILIE du CEAT afin de valider cette hypothèse. Le coefficient de corrélation r obtenu pour $M=51$ échantillons a ainsi été mesuré en fonction de la fréquence centrale f_0 et du pas d'échantillonnage fréquentiel δf . La Figure 1 présente ainsi le coefficient de corrélation en fonction de δf à $f_0 = 3$ GHz, pour $M = 51$ échantillons. 3 positions d'antennes ont été testées. En Figure 2, le pas d'échantillonnage δf correspondant à un coefficient de corrélation r inférieur à 0,3 est comparé à $BW_Q(f_0)$.

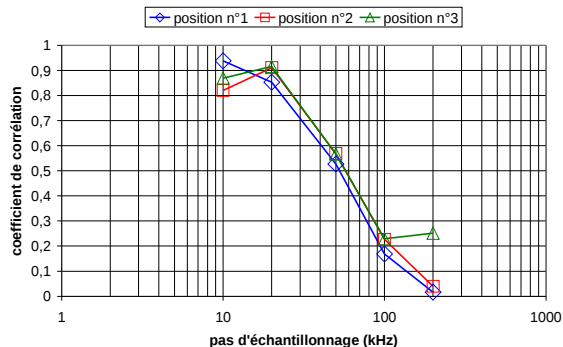


Fig.1 – influence du pas d'échantillonnage δf sur le coefficient de corrélation ($f_0 = 3$ GHz)

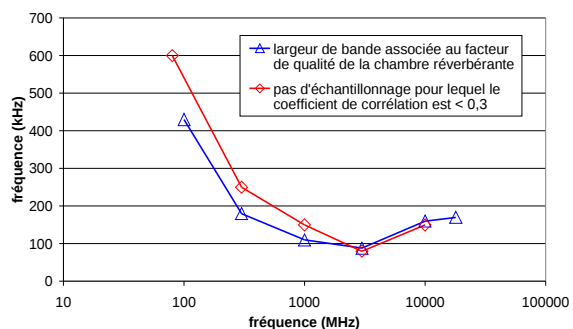


Fig.2 – pas d'échantillonnage δf pour $r=0,3$ et largeur de bande du facteur de qualité BW_Q .

Les expérimentations menées confirment ainsi que la corrélation des échantillons en brassage fréquentiel pas à pas peut être minimisée *a priori* si le pas d'échantillonnage vérifie

$$\delta f \geq \frac{f}{Q(f)} \quad (2)$$

Dans le cas d'une CRBM chargée par le système, le coefficient de qualité chargé doit alors être considéré dans (2) pour la détermination de δf . Le protocole de mesure ainsi obtenu permet d'obtenir, pour chaque fréquence, M échantillons décorrélés, de manière analogue au brassage mécanique. De plus, ce protocole exploite le calibrage classique de la CRBM. Il est appliqué avec succès par le CEAT pour la mesure rapide de fonctions de transfert sur système.

III. CONCLUSION

Un protocole de brassage fréquentiel pas à pas en CRBM a été proposé. Ces travaux ont notamment montré l'influence de la fréquence et de la charge sur le pas d'échantillonnage fréquentiel.

REFERENCES

- [1] D. Hill, "Electronic Mode Stirring for Reverberation Chambers", IEEE Trans. EMC, 1994.

EVALUATION DES PERFORMANCES EN DIVERSITE ET MIMO D'UN SYSTEME MULTI-ANTENNES DANS UNE CHAMBRE REVERBERANTE

A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, R. Staraj, G. Kossiavas
LEAT, Université de Nice-Sophia Antipolis, 250 Rue A. Einstein, 06560 Valbonne, FRANCE
aliou.diallo@unice.fr

RESUME

Dans ce papier, nous proposons l'évaluation des performances en diversité et MIMO dans une chambre réverbérante d'un système multi-antennes pour la téléphonie mobile.

Le système est composé de deux antennes type PIFA opérant dans la bande UMTS et placées sur un même plan de masse de dimensions $100 \times 40 \text{ mm}^2$ (Fig.1). Ce système présente une bonne isolation grâce à une technique de découplage appelée « neutralisation » utilisée pour isoler les antennes.

On sait que les signaux reçus sur un terminal mobile sont soumis à diverses perturbations dues à l'environnement qui réalise souvent une propagation multi-trajets qui résultant des phénomènes de réflexion, de diffraction et de dispersion des ondes électromagnétiques dans le milieu. Ainsi une chambre réverbérante grâce à des moyens mécaniques, permet un brassage des champs pour obtenir une distribution qui est statistiquement isotrope et homogène, créant à chaque instant un environnement multi-trajets statique. De ce fait, pour évaluer les performances de notre système, une collaboration a été effectuée avec l'institut Chalmers de Göteborg (Suède) qui a mis à notre disposition leur chambre réverbérante de dimensions $1 \times 0,8 \times 1 \text{ m}^3$. Cette chambre est excitée par 3 antennes émettrices (monopoles) montées sur 3 murs différents de la chambre et connectées à un commutateur qui permet de sélectionner une d'elles lors de la mesure (Fig.2). Ainsi avec ce système, nous avons pu effectuer des mesures en SIMO (1x2) et MIMO (2x2 et 3x2) pour voir que notre système d'antennes est efficace pour des applications en diversité et en MIMO. Le gain en diversité mesuré dans la chambre pour ce système d'antennes est 9,75 dB tandis que la capacité du canal est de l'ordre de 9 bits/s/Hz pour un SNR de 10 dB.

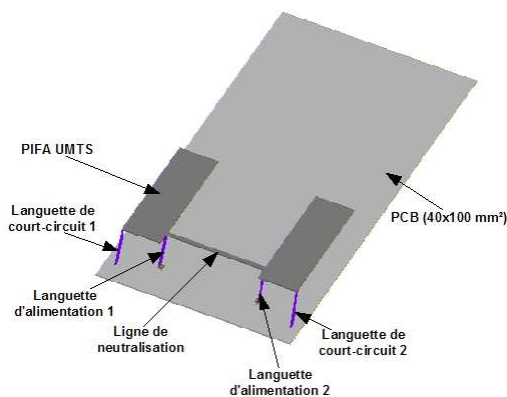


Fig. 1 : Vue en 3D du système multi-antennes

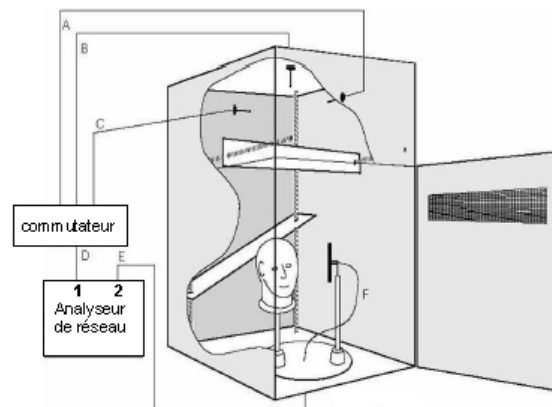


Fig. 2 : Chambre réverbérante utilisée à Chalmers

Mesure temporelle d'efficacité d'antennes large bande en cavité réverbérante

Gwenn Le Fur, Philippe Besnier, Ala Sharaiha

Gwenn.lefur@univ-rennes1.fr

IETR, UMR CNRS 6164, Université de Rennes 1. 263, Avenue du Général Leclerc, 35042
Rennes Cedex

Usuellement utilisées pour des mesures de Compatibilité Electromagnétique (CEM), les Chambres Réverbérantes à Brassage de Modes (CRBM) offrent un fort intérêt pour la mesure d'efficacité d'antennes par son rendu d'environnement de propagation multitrajets uniforme. Le travail consiste à utiliser les propriétés des CRBM pour la mesure d'antenne Ultra Large Bande (ULB) et à la comparer avec les méthodes de mesures existantes. Ceci par le développement d'une méthode de mesure temporelle utilisant le principe du Retournement Temporel (RT) et fournissant une information large bande immédiate.

L'efficacité de rayonnement est un paramètre caractéristique des performances d'une antenne. La méthode classique de mesure définit l'efficacité comme le rapport du gain et de la directivité dans une direction donnée. Cette dernière est souvent difficile à réaliser particulièrement pour les petites antennes de faibles gains. Une première méthode appelée "UWB Wheeler Cap" permettant la mesure d'antennes ULB est investiguée et sert de mesure référente. Cette méthode se base sur le principe de mesure sous cloche conductrice introduit par H.A.Wheeler [1].

Le travail d'exploitation de la CRBM a permis de développer une mesure d'efficacité temporelle de type impulsionnelle et relative à une antenne de référence utilisant les propriétés du RT (*TREM : Time Reversal Efficiency Measurement* [2]). La méthode consiste, par un bilan des puissances et des densités spectrales mises en jeu à l'intérieur de la CRBM lors d'une transmission, à déterminer un rendement de l'antenne sous test. De part sa nature temporelle, cette méthode est rapide et bien adaptée aux antennes ULB. En effet, elle offre un gain de temps considérable comparé à la méthode fréquentielle [3]. De plus la CRBM offre un environnement multitrajets se rapprochant des conditions d'utilisation des matériels antennaires portables et possède de faibles pertes permettant la mesure d'antennes de faibles gains. La propriété du RT utilisée dans cette méthode est la refocalisation de l'énergie en temps et en espace. Cette mesure donne tout d'abord accès à une efficacité globale liée à la puissance totale rayonnée par l'antenne par rapport à la puissance de l'impulsion appliquée. Une seconde exploitation des spectres des impulsions émises et reçues permet la détermination d'un rendement fonction de la fréquence comparable aux moyens de mesure classiques. .

Une description détaillée du protocole et des paramètres de mesure sera tout d'abord présentée. Suivra la validation de la méthode par comparaison du rendement d'une antenne large bande obtenu par plusieurs moyens de mesure et simulation.

References:

[1] H. A. Wheeler. "the radiansphere around a small antenna", Proc IRE, pp. 1325-1331, (1959).

[2] G. Le Fur, P. Besnier, A. Sharaiha "Efficiency measurement of UWB antennas using time reversal in reverberation chambers", *Electronics Letters*, vol 44, Aug 2008, pp 1002-1003

[3] P. Besnier. "Uncertainty assesment of radiation efficiency measurements in reverberation chambers", ANTEM, (June 2005)

Génération de fronts d'ondes cohérents et directifs dans une chambre réverbérante.

H. Moussa, A. Cozza, M. Cauterman

Département de Recherche en Electromagnétisme
Laboratoire des Signaux et Systèmes
(CNRS-Suplec-Univ Paris Sud 11) 91192 Gif-sur-Yvette cedex
houmam.moussa@lss.supelec.fr
<http://www.lss.supelec.fr>

Les chambres réverbérantes sont aujourd'hui très largement utilisées pour tester la réponse d'équipements sous test (EUT) face à une agression électromagnétique en le soumettant à un champ non cohérent, constitué d'une multitude d'ondes planes se propageant sur des directions et des polarisations aléatoires. Un autre avantage est de pouvoir obtenir des champs électriques de très hautes intensités à partir de sources relativement peu consommatrices en énergie. Certes, s'il est possible de valider le comportement de l'EUT très rapidement avec ce moyen de test, il s'avère beaucoup plus difficile voire impossible, de déterminer précisément la direction ou la polarisation qui l'a mis en défaut le cas échéant.

C'est pourquoi, afin de répondre à ce besoin, nous proposons dans cette communication une étude de faisabilité de la génération de fronts d'ondes cohérents et directifs dans une chambre réverbérante.

En effet, en combinant la technique du retournement temporel^[1] au milieu très fortement réverbérant que représentent les chambres, nous avons développé une procédure qui permet le contrôle de la direction d'impact d'un front d'onde sur un EUT en jouant uniquement sur la forme temporelle des signaux d'excitation de la cavité. Ceci permet potentiellement de réaliser un grand nombre de directions d'arrivées différentes, plusieurs milliers, en quelques seconde et ce sans aucun déplacement mécanique des sources ou de l'EUT dans l'enceinte blindée tout en profitant des niveaux de champ intenses de la chambre.

L'étude proposée ici se focalise sur l'évaluation des performances du système développé, baptisé « time-reversal electromagnetic chamber » (TREC)^[2] concernant la génération de distributions de champ cohérentes et directives.

[1] M. Fink, "Time reversal of ultrasonic fields: part I. Basic principles," *IEEE Trans. Ultrason. Ferro-electr. Freq. Control*, vol. 39, no. 5, pp.555-566, Sept. 1992.

[2] H. Moussa, A. Cozza, and M. Cauterman, "Directive wavefronts inside a time reversal electromagnetic chamber," 2009, August, Austin, Texas, IEEE EMC SYMPOSIUM 2009

Estimation du facteur K pour la caractérisation de l'efficacité de brassage en chambre réverbérante

C. Lemoine, E. Amador, P. Besnier
Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR)
Groupe Antennes & Hyperfréquences
INSA de Rennes, 20 Av des Buttes de Coësmes, CS 14315
35043 RENNES Cedex
christophe.lemoine@insa-rennes.fr – (+ 33) (0)2 23 23 87 41

Dans une chambre réverbérante à brassage de modes (CRBM), le brasseur de modes mécanique permet de modifier les conditions aux limites afin de générer une distribution de champ électromagnétique homogène et isotrope dans le volume utile de la cavité. Un enjeu important aussi bien pour la CEM que pour la caractérisation d'antennes, est d'optimiser l'efficacité de brassage. Autrement dit, préalablement à l'essai, il est très souvent indispensable de s'assurer que l'énergie reçue par l'objet sous test provient essentiellement du processus de brassage. En pratique, l'utilisateur s'assure que l'énergie est essentiellement brassée en orientant l'antenne émettrice vers un coin de la chambre, ou vers le brasseur [1]. Cependant, en fonction de la directivité de l'émetteur et de la géométrie du brasseur, une composante non brassée de l'énergie stockée dans la chambre peut subsister, et cela à des niveaux plus ou moins significatifs. La meilleure configuration d'illumination d'un objet sous test en CRBM est celle qui minimise la composante non brassée de l'énergie électromagnétique au bénéfice de la composante brassée.

La situation idéale que l'on recherche presque systématiquement est l'environnement électromagnétique de type Rayleigh [2]. Dans ce cas, suite au processus de brassage mécanique, la composante non brassée de l'énergie électromagnétique stockée dans le volume utile de la chambre est nulle. Il faut bien reconnaître qu'il s'agit là d'un cas limite que l'on ne peut atteindre en pratique. Jusqu'à maintenant, on vérifie généralement que la composante non brassée est bien négligeable par un test d'ajustement de la distribution expérimentale à la distribution théorique de Rayleigh [3].

Lors de cette journée dédiée à la chambre réverbérante, nous souhaitons proposer une démarche novatrice permettant de déterminer précisément la proximité de l'environnement réverbérant avec la situation idéale de Rayleigh. L'indicateur que nous proposons est le facteur K caractéristique d'un canal de propagation de type Rice [4][5]. Ce paramètre est défini comme le rapport entre la composante non brassée et la composante brassée de l'énergie reçue par un dispositif quelconque. Dès lors, plus le facteur K sera faible, et plus l'environnement électromagnétique engendré sur une révolution du brasseur sera proche de la situation idéale, pour laquelle $K_{\text{min}} = 0$ [dB]. Bien que ce facteur K soit le candidat idéal pour la caractérisation d'un tel environnement électromagnétique, son estimation n'est *a priori* pas aisée. A l'aide d'une analyse statistique pragmatique, nous sommes en mesure de proposer à la communauté CRBM un estimateur fiable de ce facteur K . Sa détermination permettra d'évaluer le caractère idéal de l'environnement électromagnétique généré, ainsi que d'analyser la performance du brasseur mécanique en terme d'efficacité de brassage des modes.

Références :

- [1] IEC 61000-4-21: "Reverberation chamber test methods," *International Electrotechnical Commission Std.*, 2003.
- [2] D.A. Hill, "Plane wave integral representation for fields in reverberation chambers," *IEEE Transactions on EMC*, vol. 40, no. 3, pp. 209-217, Aug. 1998.
- [3] C. Lemoine, P. Besnier, M. Drissi, "Investigation of reverberation chamber measurements through high power goodness-of-fit tests," *IEEE Transactions on EMC*, vol. 49, no. 4, pp. 745-755, nov. 2007.
- [4] C.L. Holloway, D.A. Hill, J.M. Ladbury, P.F. Wilson, G. Koepke, and J. Coder, "On the use of reverberation chambers to simulate a rician radio environment for the testing of wireless devices," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 11, pp. 3167-3177, nov. 2006.
- [5] G. Leriche, E. Amador, C. Lemoine, and P. Besnier, "Quantifying stirred and unstirred components in reverberation chamber with appropriate statistics," *IEEE International Symposium on EMC*, Austin, Texas, USA, pp. 182-186, Aug. 2009.

Modélisations Numériques de Chambres Réverbérantes

Pierre Bonnet

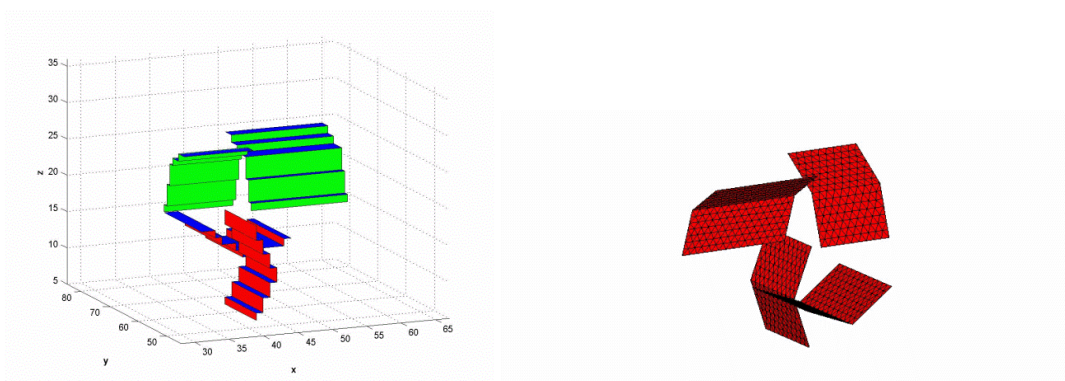
LASMEA UMR 6602
Université Blaise Pascal

Les Chambres Réverbérantes à Brassage de Modes (CRBM) sont devenues un moyen d'essai relativement populaire dans le domaine de la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM). En créant une distribution statistiquement homogène et isotrope du champ électromagnétique dans un volume relativement important, l'utilisation de CRBM est propice à des essais aussi bien en susceptibilité qu'en émission.

Toutefois, afin de tirer le meilleur parti des CRBM, de nombreuses recherches visent actuellement à optimiser ce moyen d'essai : diminution de la première fréquence de travail optimisation de la forme du brasseur de modes, augmentation du volume utile, restauration de directivité, etc. Tous ces objectifs nécessitent une compréhension fine du comportement des CRBM dont les phénomènes physiques peuvent être, de façon classique, simulés numériquement. Cependant, leurs caractéristiques propres (dimensions électriquement grandes, facteur de qualité élevé, géométries complexes) rendent difficiles les simulations numériques de CRBM. Par ailleurs, il convient de rappeler la différence, souvent occultée par abus de langage, entre simulation et modélisation : on réalise des simulations à partir de modèles.

S'il existe bons nombres de méthodes numériques capables de résoudre efficacement les équations de Maxwell, la première étape primordiale consiste à se donner un bon modèle de CRBM. Ce dernier doit intégrer des éléments aussi importants que sont la géométrie du brasseur, les pertes ou encore les sources. En complément de l'intégration précise et déterministe des caractéristiques réelles précédentes (mesurables avec une incertitude plus ou moins importante), l'utilisation de modèles stochastiques se révèle actuellement particulièrement adaptée en CRBM.

Cette communication rappellera les principales approches qui ont été adoptées jusqu'à présent pour la modélisation de CRBM et en détaillera essentiellement trois. De la plus simple, mais intégrant néanmoins les principales caractéristiques d'une CRBM, à la plus complexe prenant en compte les lois de probabilité propre à une chambre donnée.



Modélisation géométrique avec un maillage structuré (gauche) et conforme (droite) d'un brasseur de mode.

Modèle temporel d'une chambre réverbérante basé sur la théorie des images pour une étude du comportement en régime pulsé

Emmanuel Amador, Philippe Besnier, Christophe Lemoine
Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR)
Groupe Antennes & Hyperfréquences, INSA de Rennes
emmanuel.amador@insa-rennes.fr, ☎ : (+33) 2 23 23 87 41

L'utilisation classique d'une chambre réverbérante pour un essai en immunité se fait dans le domaine fréquentiel et en régime continu. De tels essais ne sont pas suffisants lorsqu'il s'agit de reproduire une agression par des signaux de type radar. Les formes d'ondes obtenues en régime pulsé dans une cavité résonante sont très complexes à interpréter. Afin de mettre au point des tests d'immunité en régime pulsé dans une chambre réverbérante, il convient de bien comprendre les phénomènes mis en jeu en régime impulsionnel. Le modèle temporel que nous proposons permet de simuler une cavité résonante 3D et de mesurer l'influence des différents paramètres expérimentaux sur le comportement de la chambre dans le domaine temporel.

Ce modèle est basé sur la théorie des images [1]. Cette approche optique est particulièrement adaptée à la géométrie simple d'une cavité résonante [2,3]. Dans un premier temps un dipôle élémentaire est placé dans la cavité. Plusieurs millions de courants images sont ensuite créés pour reproduire les multiples réflexions sur les parois. L'émission simultanée de tous ces courants permet de construire la réponse impulsionnelle du canal. En convoluant cette réponse impulsionnelle et en réalisant sa transformée de Fourier, on peut analyser le comportement de la cavité en présence de signaux arbitraires dans le domaine temporel et explorer le domaine fréquentiel. On peut ainsi visualiser l'établissement du régime permanent dans la chambre en fonction de plusieurs paramètres physiques de la cavité (dimensions, coefficients de réflexion des parois) et de la source (position, orientation, directivité, forme d'ondes).

Le modèle n'ayant pas la prétention d'être déterministe (la cavité ne possède pas de brasseur), la confrontation des résultats de simulations aux mesures est d'ordre statistique. La bonne estimation de la LUF de la chambre réverbérante de l'IETR à travers le modèle développé et des tests statistiques [4] donne du crédit au comportement physique du modèle. En outre la comparaison statistique des niveaux de puissance maximums et moyens au cours du temps sur une cinquantaine d'observations montre une bonne adéquation entre les mesures et les résultats de simulation.

Notre modèle reproduit de manière convaincante le comportement d'une cavité résonante tant dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel. Il permet en particulier de déterminer de manière statistique les niveaux de champ obtenus en régime impulsionnel en vue de réaliser un essai d'immunité.

En simulant une cavité résonante dans le domaine temporel, le modèle développé pourrait permettre de mieux comprendre les phénomènes entrant en jeu lors des régimes transitoires afin de réaliser des tests d'immunité en régime pulsé.

Références

- [1] R. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*. New York : McGraw-Hill Book Company, 1961.
- [2] D.-H. Kwon, R. Burkholder, and P. Pathak, "Ray analysis of electromagnetic field build-up and quality factor of electrically large shielded enclosures," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, vol. 40, pp. 19–26, Feb 1998.
- [3] S. Baranowski, D. Lecoite, M. Cauterman, and B. Demoulin, "Use of 2d models to characterize some features of a mode stirred reverberation chamber," vol. 9-13, 381-386, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sorrento, Italy, september 2002.
- [4] C. Lemoine, P. Besnier, and M. Drissi, "Investigation of reverberation chamber measurements through high-power goodness-of-fit tests," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on*, vol. 49, pp. 745–755, Nov. 2007.

Investigations sur l'utilisation d'un hangar métallique comme « pseudo-CRBM » dans le domaine aéronautique

Guillaume Andrieu*, Fabrice Tristant**, Alain Reineix*

*: Laboratoire XLIM, Limoges (guillaume.andrieu@xlim.fr et alain.reineix@xlim.fr)

** : Dassault Aviation, St-Cloud (fabrice.tristant@dassault-aviation.com)

Dans le domaine aéronautique, le coût de construction d'une chambre réverbérante à brassage de modes (CRBM) peut s'avérer rédhibitoire en raison de la taille nécessaire d'un tel moyen d'essai pour y loger un avion entier.

Pour contourner cela et ainsi bénéficier des avantages extrêmement intéressants procurés par une CRBM, le laboratoire XLIM et la société DASSAULT-AVIATION étudient actuellement la possibilité d'utiliser un hangar métallique comme une « pseudo-CRBM ». Cette nouvelle approche soulève de nombreuses interrogations d'ordre théorique dues à la présence d'ouvertures sur les parois du hangar.

Premièrement, l'intérieur et l'extérieur du hangar ne sont plus isolés électromagnétiquement comme dans une CRBM classique. Des mesures de bruit effectuées avant toute mesure sur l'objet sous test sont donc requises afin de quantifier l'influence de l'environnement électromagnétique (EM) extérieur sur les résultats de mesures. De plus, il apparaît également indispensable d'établir des procédures de sécurité (basées sur des mesures d'amplitude de champ à l'extérieur du hangar) afin d'éviter d'exposer les personnes se trouvant près du hangar à un champ EM d'amplitude forte.

Deuxièmement, il apparaît nécessaire de prouver que les lois statistiques relatives à la distribution du champ EM au sein d'une CRBM sont bien respectées à l'intérieur d'un hangar aéronautique. Pour caractériser le champ EM généré à l'intérieur d'un hangar, nous avons réalisé des tests d'ajustement à une loi de probabilité de type Kolmogorov-Smirnov ou Anderson-Darling, calculé l'écart-type du champ EM sur les 8 sommets du volume utile du hangar ou le rapport écart-type sur moyenne pour chaque composante de champ EM à partir de résultats de simulation obtenus avec le logiciel FEKO sur différents hangars.

Troisièmement, l'inévitable diminution du facteur de qualité d'un hangar par rapport à une CRBM à cause de la présence des différentes ouvertures doit être quantifiée afin de montrer que le facteur de qualité reste suffisamment élevé permettant ainsi obtenir de forts niveaux de champs EM à partir d'une source de puissance raisonnable, ce qui constitue un des avantages principaux des CRBM.

Dans notre présentation, nous présenterons donc l'état d'avancement de ces travaux afin d'exposer les différents résultats numériques ou expérimentaux obtenus permettant d'être raisonnablement optimiste quant à l'utilisation d'un hangar métallique comme une « pseudo-CRBM ».

Emulation de canaux de propagation à l'aide de chambres réverbérantes

O. Delangre*, Ph. De Doncker*, D. Gaillot⁺, P. Stefanut⁺, M. Liénard⁺

*Laboratoire OPERA

Université Libre de Bruxelles, {odelangr, pdedonck}@ulb.ac.be

⁺Laboratoire IEMN groupe TELICE

Université de Lille 1, {Paul.stefanut, Martine.Lienard, Davy.Gaillot}@univ-lille1.fr

Pour effectuer des tests de systèmes de communication basés sur des liaisons utilisant une seule antenne en émission et en réception, la chambre réverbérante à brassage de mode (CRBM) s'avère être un moyen intéressant. En effet, chaque position successive de la pale correspond à une réalisation du canal. Il existe cependant des restrictions dans l'utilisation d'une CRBM pour émuler différents types de canaux de propagation. Tout d'abord le coefficient de réflexion important sur les parois entraîne un grand étalement de la réponse impulsionnelle. Cette difficulté peut être palliée, comme nous le verrons sur quelques exemples, par l'introduction de panneaux ou de structures absorbantes dans la chambre, provoquant une diminution du coefficient de qualité et donc de l'étalement des retards. Une autre contrainte provient du fait qu'en n'importe quel point de réception au sein de la CRBM, le spectre angulaire correspondant aux directions d'arrivée des rayons est en moyenne isotrope, ce qui ne correspond pas forcément au cas réel. En l'état actuel, la CRBM se prête donc bien à la simulation d'un canal de Rayleigh avec des directions des rayons uniformément distribuées ou à un canal de Rice [1]. Une comparaison entre les profils de puissance moyenne (PDP) obtenus en CRBM et dans une halle de sport de surface 1000m² est donnée figure 1. Les courbes ont été décalées de 20 dB pour une meilleure visualisation. La figure 2 présente les PDP en environnement de type bureau et pour un scénario Non Light of Sight (NLOS), l'émulation de ce canal en CRBM a nécessité de charger la CRBM en introduisant des absorbants. Sur ces deux figures, on peut noter un accord satisfaisant entre les courbes obtenues en CRBM et en environnement réel

Si on envisage maintenant le test de systèmes basés sur l'utilisation de réseaux d'antennes à l'émission et à la réception, nous montrons que l'émulation d'un canal MIMO (Multiple Input Multiple Output) nécessite de séparer le canal en 3 zones de propagation distinctes. Deux zones caractérisant les phénomènes de propagation au voisinage de l'antenne d'émission et de réception puis une troisième zone dite « de transition » située entre les deux zones précédentes. Nous avons donc proposé d'utiliser deux CRBM couplées entre elles par un guide d'ondes. En fonction de la taille du guide, pour une fréquence donnée, on modifie le nombre de modes non évanescents permettant ainsi contrôler le degré de diversité du canal [2].

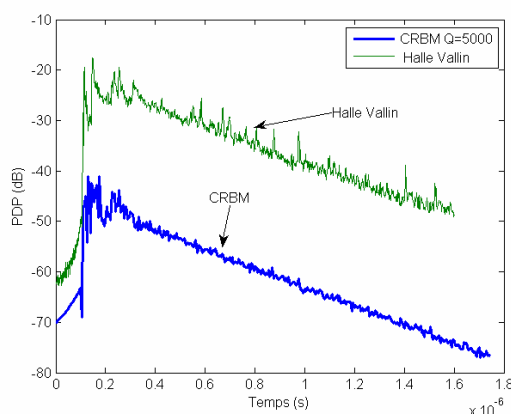


Figure 1 : PDP en Halle de Sport et en CRBM

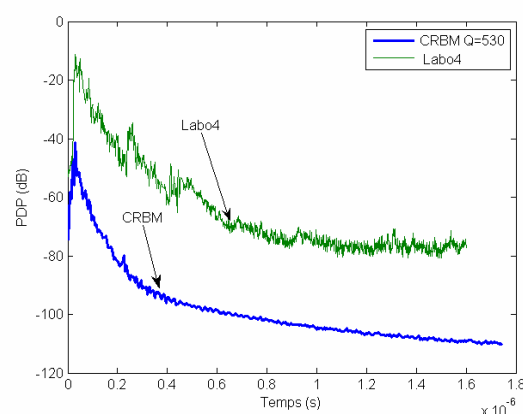


Figure 2 : PDP en environnement de type bureau NLOS et en CRBM chargée

1- C. L. Holloway, D. A. Hill, J. M. Ladbury, P. F. Wilson, G. Koepke, and J. Coder, "On the use of reverberation chambers to simulate a rician radio environment for the testing of wireless devices," *IEEE Trans. Antenas Propag.*, vol. 54, no. 11, pp. 3167–3177, Nov. 2006.

2- O. Delangre, Ph. De Doncker, M. Lienard and P. Degauque, "Wideband analysis of coupled reverberation chambers for testing MIMO systems", *IEEE PIMRC conf.*, Sept. 2006

ETUDE DU SPECTRE D'ONDES PLANES DANS UNE CHAMBRE REVERBERANTE A L'AIDE DE L'ALGORITHME MUSIC

Kamel NAFKHA - Elodie Richalot -
Stéphanie MENGUE- Odile PICON

ESYCOM, 5 Bd Descartes Champs sur Marne 77454 Marne la Vallée Cedex 2, {nafkha, richalot, mengue, odile.picon@univ-mlv.fr}

I. DÉTERMINATION DU SPECTRE D'ONDES PLANES :

Cette étude est basée sur une chambre réverbérante bidimensionnelle munie d'un brasseur métallique et simulée par la méthode FDTD (Fig. 1).

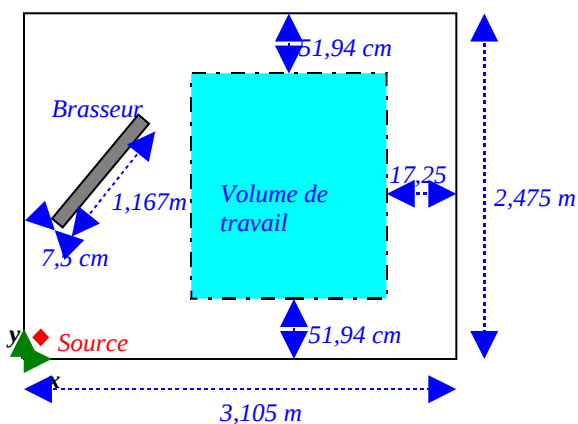


Fig. 1 : Chambre réverbérante simulée

Le champ dans le volume de travail est considéré comme une somme d'ondes planes.

A partir des résultats de simulation, on détermine, en prenant un réseau linéaire de capteurs équidistants, les directions d'arrivée des ondes planes dans le volume de travail. L'algorithme MUSIC, utilisé pour la détermination des directions d'arrivée, est utilisé conjointement avec des techniques de lissage spatial en raison de la corrélation entre les ondes planes dans la cavité.

Une fois les directions d'arrivée déterminées, la détermination des amplitudes et phases de ces ondes planes se fait par simple inversion matricielle. L'utilisation d'au minimum deux lignes de capteurs est alors nécessaire.

La reconstitution du champ sur le volume de travail à partir des directions, amplitudes et phases trouvées, permet de valider les résultats trouvés. Ainsi, en prenant pour la détermination des directions d'arrivée, des amplitudes et des phases des lignes de capteurs éloignées du brasseur, nous pouvons reconstruire le champ à 327,5MHz avec une erreur moyenne sur la surface de travail inférieure à 3%.

II. ETUDE DE L'INFLUENCE DU BRASSEUR

Une fois la méthode de détermination des ondes planes validée, nous nous sommes intéressés à l'évolution de ce spectre lors de la rotation du brasseur.

La figure 2 représente l'évolution de la fréquence de résonance d'un mode de la cavité en fonction de la position du brasseur, et la figure 3 celle des directions d'arrivée des ondes planes.

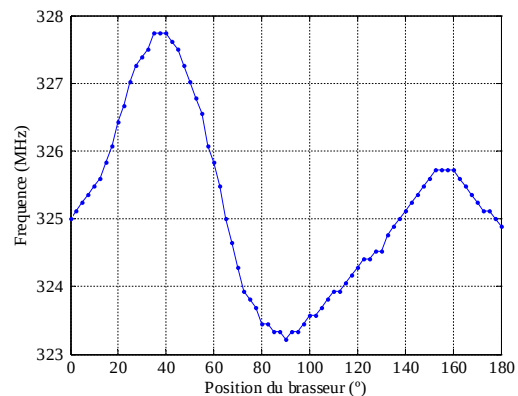


Fig. 2: Évolution de la fréquence de résonance au cours de la rotation.

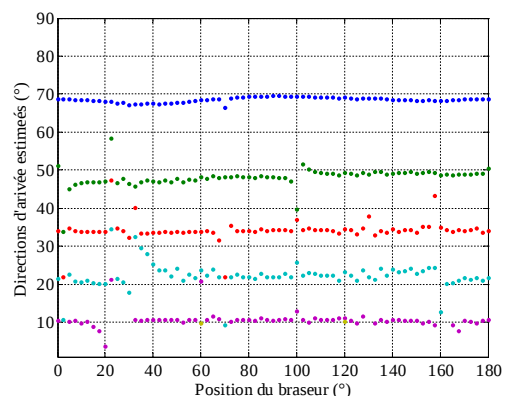


Fig. 3: Évolution des directions d'arrivée au cours de la rotation.

Si dans ce cas la variation des directions d'arrivée est assez faible, la variation des amplitudes de ces ondes planes est en revanche très importante.

Des observations ont également été faites à des fréquences plus élevées. Le nombre de directions d'arrivée augmente alors, et leur variation au cours de la rotation du brasseur est plus sensible.