XXI[èmes] Journées Nationales Microondes
14-17mai 2019–Caen

Caractérisation d'antenne en chambre réverbérante à des fréquences proches de la limite d'utilisation

W. Krouka, F. Sarrazin, S. Protat, J. Dubouil, E. Richalot

Université Paris-Est, ESYCOM (*FRE2028*), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM, F-77454 Marne-la-Vallée, France

wafa.krouka@u-pem.fr

Résumé *– Alors que les mesures en Chambre Réverbérante (CR) se sont focalisées dans les premiers temps sur les mesures de compatibilité électromagnétique, les travaux effectués ces dernières années montrent une extension des mesures en CR vers la caractérisation d'antennes ou systèmes antennaires. Plusieurs études se sont déjà intéressées à la caractérisation d'antenne en CR présentant des résultats de mesure de l'efficacité, du gain, etc… Dans cet article une étude similaire est effectuée à des fréquences proches de la fréquence minimale d'utilisation de la chambre (LUF). Cette étude vise à mieux appréhender les limites d'application des méthodes de caractérisation proposées ainsi que la précision des résultats obtenus.*

1. Introduction

Les chambres réverbérantes sont de plus en plus exploitées pour la caractérisation d'antennes grâce aux propriétés statistiques intéressantes que présente le champ électrique (homogénéité et isotropie) à l'intérieur de ces structures métalliques. Ces propriétés étudiées dans [1] représentent un environnement de mesure statistiquement convenable à une caractérisation d'antenne en appliquant des techniques de mesure propres à la CR [2]-[3]. Dans [3] sont présentés les résultats de caractérisation d'antennes effectuée dans la CR du laboratoire ESYCOM (Fig. 1). Les mesures ont été réalisées sur une bande fréquentielle de [1 GHz - 3 GHz], ce qui est suffisamment loin de la fréquence minimale d'utilisation de la CR estimée à 400 MHz.

Le travail présenté ici consiste en une caractérisation d'antenne à des fréquences proches de la LUF afin d'évaluer la précision des résultats à des fréquences auxquelles les propriétés statistiques idéales des champs ne sont pas atteintes. Dans la première partie de l'article, nous présentons la chambre réverbérante de l'ESYCOM ainsi que l'antenne imprimée sous test. Ensuite, nous détaillerons le dispositif de mesure et les résultats obtenus.

2. Présentation de l'antenne à caractériser

La structure de l'antenne sous test s'inspire des travaux présentés dans [4]. Elle a été optimisée par simulation sous HFSS. C'est une antenne imprimée sur

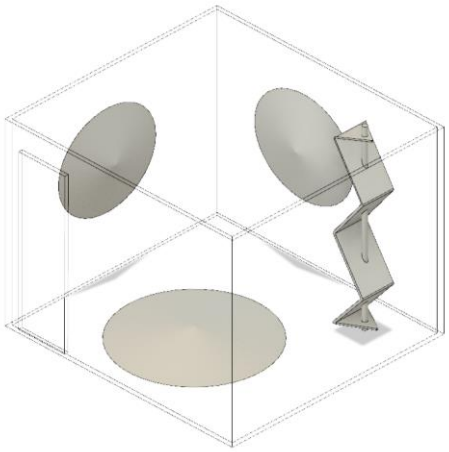


Figure 1. Chambre réverbérante du laboratoire ESYCOM munie de trois calottes sphériques.

de l'Arlon 25N avec un plan de masse et elle résonne à 400 MHz (Fig. 2).

La mesure a été effectuée en chambre réverbérante du laboratoire ESYCOM de dimensions 2.751 m x 2.951 m x 2.354 m et dont la géométrie a été modifiée par l'ajout de trois calottes sphériques métalliques dans le but de la rendre chaotique [5].



(a) **(b)**

Figure 2. Antenne à caractériser, (a) vue de dessus, (b) vue de dessous.

3. Dispositif de mesure

Pour cette mesure, deux antennes identiques ont été utilisées. Après avoir été placées dans le volume de travail de la CR et espacées de 190 cm, les deux antennes (notées 1 et 2) sont branchées aux ports 1 et 2 d'un VNA (Rohde&Schwarz ZNB8). La mesure est effectuée en 10001 points fréquentiels uniformément espacés sur la

bande fréquentielle de [350 MHz – 450 MHz] pour chaque position du brasseur. Avec un pas angulaire de 1.8°, nous avons effectué 200 mesures sur un tour complet du brasseur.

Une mesure du coefficient de réflexion de l'antenne 1 a également été réalisée dans une chambre anéchoïque (CA) dans le but d'avoir une mesure de référence. Les mêmes points fréquentiels de mesure sur la même bande ont été considérés.

4. Résultats de mesure

La Fig. 3 présente le résultat de mesure du coefficient de réflexion de l'antenne 1 pour deux positions différentes du brasseur (90° et 180°).

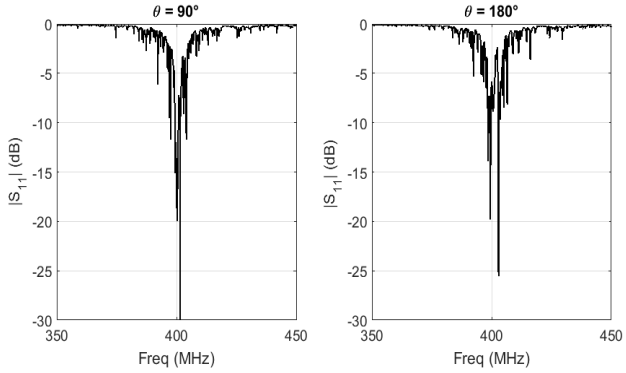


Figure 3. S_{11} mesuré en Chambre Réverbérante pour deux positions différentes du brasseur.

L'allure du coefficient de réflexion est différente dans les deux cas de figure, en raison d'une distribution différente du champ dans la CR. Ceci explique l'intérêt du brassage mécanique et aussi fréquentiel qui permettent de s'approcher de la mesure de référence (mesure en CA), ce qui est attendu pour un nombre suffisant de configurations décorrélées.

La Fig. 4 présente le résultat d'application du brassage mécanique sur la mesure du coefficient de réflexion de l'antenne 1 (courbe noire, moyennage sur 200 positions du brasseur). Sur une fenêtre glissante de 2 MHz, nous avons ensuite appliqué un brassage fréquentiel en plus du brassage mécanique obtenu (Fig. 4, courbe rouge).

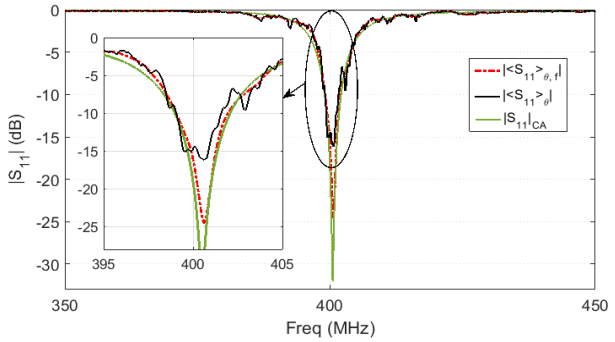


Figure 4. Brassages mécanique et fréquentiel appliqués au coefficient de réflexion de l'antenne.

L'application des deux techniques de brassage sur les résultats de mesure en CR donne un résultat très proche de la mesure de référence en CA (Fig. 4 courbe verte). Nous montrons ainsi l'efficacité de ces deux techniques même à des fréquences proches de la LUF dans cette configuration de mesure.

Les antennes qui ont été utilisées pour cette mesure sont identiques. Ce choix nous permet d'exploiter la mesure des deux coefficients de réflexion (Fig .4) en considérant qu'elles représentent deux configurations de la même mesure. Les différences observées sur les coefficients S_{11} et S_{22} mettent en lumière l'effet de l'homogénéité non idéale du champ dans la chambre réverbérante sur cette gamme de fréquence; en effet, l'écart observé est lié au positionnement différent des deux antennes sous test.

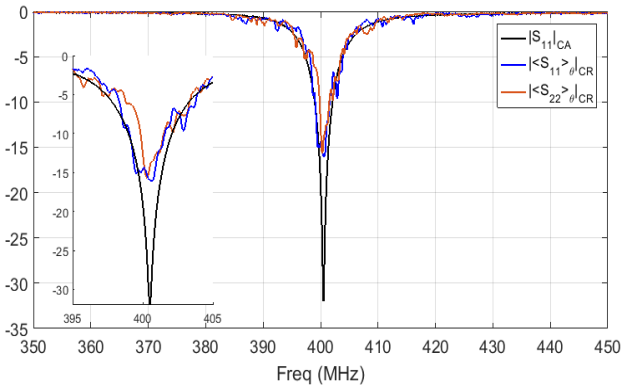


Figure 4. Brassage mécanique appliqué aux coefficients de réflexion S_{11} et S_{22} mesurés en CR.

Le moyennage des deux coefficients de réflexion S_{11} et S_{22} permet d'avoir un résultat de mesure plus précis et plus proche de la mesure en CA (Fig. 5).

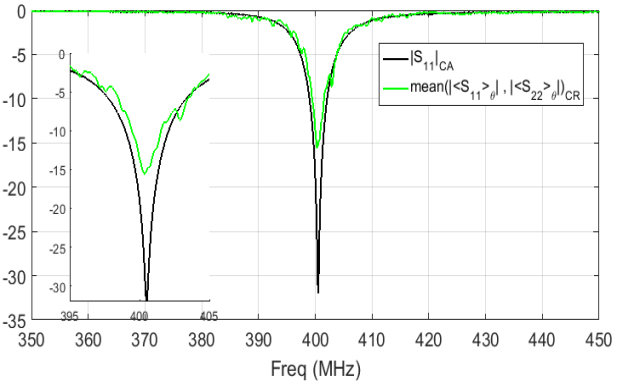


Figure 5. Comparaison entre la moyenne des deux coefficients de réflexion S_{11}, S_{22} mesurés en CR et la mesure en CA.

5. Efficacité d'antenne

On applique la technique de mesure de l'efficacité d'antenne dite mesure basée sur deux antennes et détaillée dans [2]. Cette technique nécessite la connaissance du facteur de qualité de la chambre

réverbérante (lié aux pertes à l'intérieur de la chambre), ainsi que le coefficient de rétrodiffusion '*eb*' qui est un indicateur d'homogénéité du champ dans la CR (Fig .6).

Dans le cas d'un fonctionnement idéal de la CR, $eb = 2$. Le coefficient *eb* est calculé en utilisant l'équation :

$$eb = \frac{\sqrt{\left\langle \left|S_{11,s}\right|^2 \right\rangle \left\langle \left|S_{22,s}\right|^2 \right\rangle}}{\left\langle \left|S_{21,s}\right|^2 \right\rangle} \quad (1)$$

$S_{11,s}$ et $S_{22,s}$ représentent les composantes brassées des coefficients de réflexion des deux antennes.

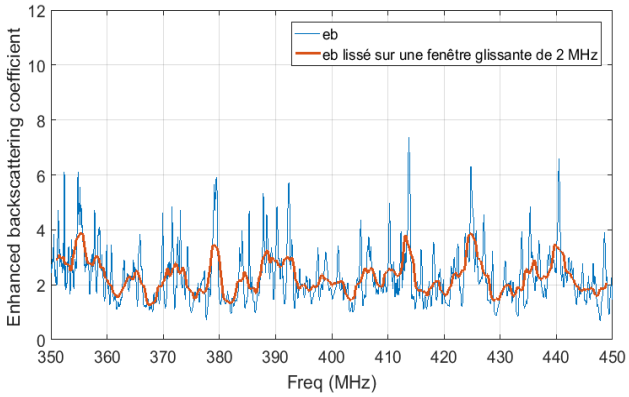


Figure 6. Coefficient de rétrodiffusion '*eb*' de la chambre réverbérante.

La valeur du coefficient de rétrodiffusion diffère de la valeur correspondant au fonctionnement idéal de la CR (Fig .6) mais reste relativement proche. Ce résultat est attendu puisqu'on est loin de la plage fréquentielle du fonctionnement idéal de la chambre réverbérante.

Le facteur de qualité est obtenu en calculant la constante de temps 'τ_{RC}' de la chambre. L'efficacité des antennes est ensuite calculée en utilisant l'équation détaillée dans [2] et [3] et exprimée comme suit :

$$\eta_1^{ray,2} = \sqrt{\frac{C_{RC}}{\omega.eb} \frac{\left\langle \left|S_{11,s}\right|^2 \right\rangle_{corr}}{\tau_{RC}}} \quad (2)$$

Avec: $$\left\langle \left|S_{11,s}\right|^2 \right\rangle_{corr} = \frac{\left\langle \left|S_{11,s}\right|^2 \right\rangle}{\left(1 - \left|\left\langle S_{11} \right\rangle\right|^2\right)\left(1 - \left|\left\langle S_{11} \right\rangle\right|^2\right)} \quad (3)$$

Le coefficient C_{RC} dépend du volume de la chambre réverbérante et de la fréquence [2].

Les résultats de calcul de l'efficacité sont présentés dans les figures Fig .7 et Fig .8. On applique un lissage fréquentiel aux courbes sur une fenêtre glissante de 2 MHz.

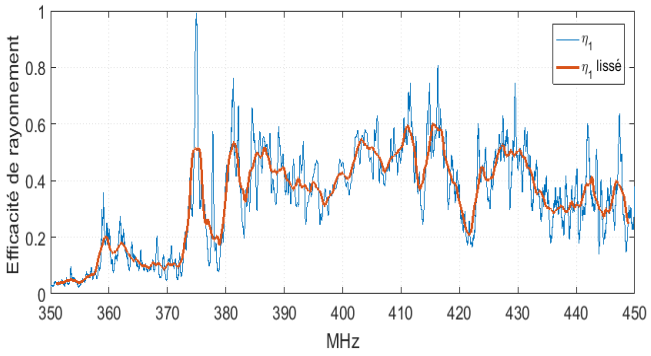


Figure 7. Efficacité de rayonnement de l'antenne 1.

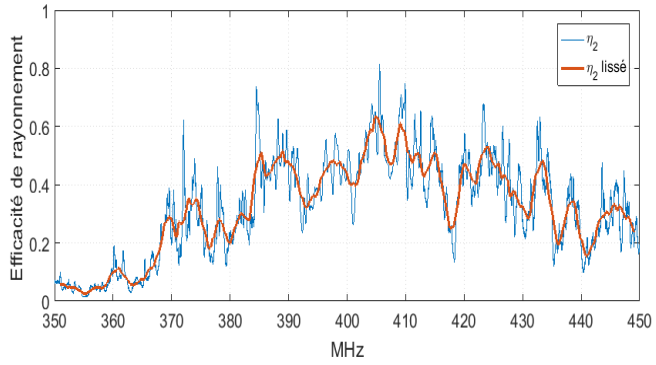


Figure 8. Efficacité de rayonnement de l'antenne 2.

Les différences entre les efficacités obtenues pour chaque antenne soulignent également l'effet du fonctionnement non-idéal de la chambre sur la caractérisation de l'antenne considérée.

En se basant sur le fait que les deux antennes sont identiques, on calcule la moyenne des efficacités obtenues précédemment (η_1 et η_2). Le résultat est présenté sur la Fig .9.

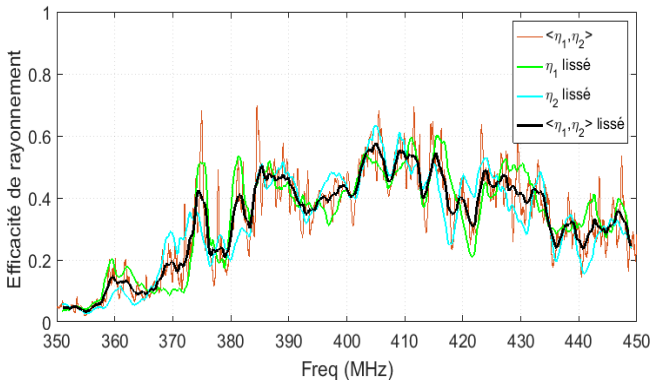


Figure 9. Efficacité de rayonnement moyenne comparée aux efficacités propres à chaque antenne (configuration chaotique).

La moyenne des efficacités présente moins de fluctuations et par conséquent une précision de mesure plus importante, bien qu'on soit à des fréquences proches de la limite d'utilisation de la chambre réverbérante.

6. Comparaison entre les résultats de mesure en configuration classique et chaotique de la CR

La même mesure ainsi que la même technique de mesure de l'efficacité d'antenne ont été effectuées en chambre réverbérante dans sa configuration classique (sans calottes sphériques).

Sur les fréquences les plus basses [350 MHz – 380 MHz], le coefficient de rétrodiffusion '*eb*' (Fig .10) dans la configuration classique présente des valeurs plus élevées et loin de la valeur idéale (*eb=2)* relativement à ses valeurs en configuration chaotique. Ce résultat met en valeur l'apport de la modification géométrique de la CR lorsque celle-ci fonctionne à des fréquences proches de la LUF.

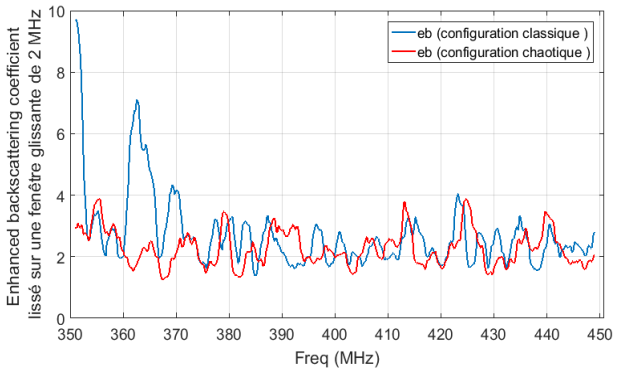


Figure 10. Coefficient de rétrodiffusion '*eb*' dans les deux configurations de la CR.

La Fig. 11 présente l'efficacité obtenue dans les deux configurations de la CR en moyennant les efficacités obtenues pour chaque antenne. Des résultats similaires sont obtenus.

Afin d'évaluer la précision de la caractérisation d'antenne dans les deux configurations de la CR (Fig .11), on aura besoin d'une autre référence pour la mesure de l'efficacité de l'antenne patch.

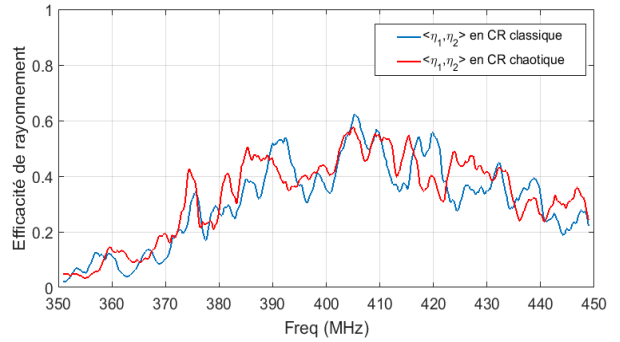


Figure 11. Efficacité de rayonnement moyenne calculée dans les deux configurations de la CR.

7. Conclusion

Dans cet article, nous étudions la précision de la technique de caractérisation d'antenne en CR lorsqu'elle est appliquée à des fréquences proches de la LUF.

Nous avons considéré une CR de géométrie chaotique, et qui possède une LUF autour de 400 MHz dans sa configuration géométrique classique.

Dans la première partie, nous avons montré l'efficacité des deux techniques de brassage (mécanique et fréquentiel) appliquées au coefficient de réflexion de l'antenne à caractériser. Nous avons montré l'impact du fonctionnement non-idéal de la chambre sur les caractéristiques obtenues en observant les différences sur les résultats relatifs aux deux antennes sous test.

En tirant profit des résultats trouvés pour les deux antennes identiques, il a été possible de modérer l'effet de la variabilité des résultats au positionnement des antennes et ainsi obtenir des résultats proches de ceux de référence.

Cette technique a prouvé son efficacité dans les deux configurations de la CR (classique et chaotique).

Afin de pouvoir valider les résultats de mesure de l'efficacité d'antenne obtenus, nos travaux futurs feront appel à l'utilisation d'une autre technique de mesure ainsi que d'autres techniques visant à améliorer encore la précision des mesures.

Références

[1] K. Selemani, J.-B. Gros, E. Richalot, O. Legrand, O.Picon, O. Mortessagne, "Comparison of reverberation chamber shapes inspired from chaotic cavities", IEEE Trans. Electromagnet. Compat., 2014.

[2] C.L.Holloway, H.A.Shah, R.J.Pirkl, W.F.Young, D.A.Hill,J.Ladbury, "Reverberation Chamber Techniques for Determining the radiation and total Efficiency of Antennas". IEEE transactions on antennas and propagation vol.60, NO4, Avril 2012.

[3] W. Krouka, F. Sarrazin, E.Richalot, "Influence of the Reverberation Chamber on Antenna Characterization Performances", International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, 2018.

[4] F. Sarrazin, S. Pflaum, C. Delaveaud, "Radiation Efficiency Improvement of a Balanced Miniature IFA-Inspired Circular Antenna", IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, VOL. 16, 2017.

[5] J.-B. Gros, U. Kuhl, O. Legrand, F. Mortessagne, O. Picon, E. Richalot, "Statistics of the electromagnetic response of a chaotic reverberation chamber", Advanced Electromagnetics, Vol 4, No 2 (2015), pages 38-43.