HAL
open science

Mesure de l'efficacité de rayonnement d'antennes en chambre réverbérante : impact de l'estimation de l'efficacité de l'antenne de référence

Wafa Krouka, Francois Sarrazin, Jérôme Sol, Philippe Besnier, Elodie Richalot

▶ To cite this version:

Wafa Krouka, Francois Sarrazin, Jérôme Sol, Philippe Besnier, Elodie Richalot. Mesure de l'efficacité de rayonnement d'antennes en chambre réverbérante : impact de l'estimation de l'efficacité de l'antenne de référence. 20ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité ÉlectroMagnétique (CEM 2020), Apr 2021, Lyon, France. hal-03205069

HAL Id: hal-03205069

https://hal.science/hal-03205069v1

Submitted on 22 Apr 2021

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.

MESURE DE L'EFFICACITÉ DE RAYONNEMENT D'ANTENNES EN CHAMBRE RÉVERBÉRANTE : IMPACT DE L'ESTIMATION DE L'EFFICACITÉ DE L'ANTENNE DE RÉFÉRENCE

W. Krouka[1], F. Sarrazin[1], J. Sol[2], P. Besnier[2], E. Richalot[1]

[1]ESYCOM lab, Univ Gustave Eiffel, UMR CNRS 9007, F-77454 Marne-la-Vallée, France.
[1] wafa.krouka@univ-eiffel.fr
[2]INSA Rennes, CNRS, IETR - UMR 6164, F-35000 Rennes, France
[2] philippe.besnier@insa-rennes.fr

Résumé. La caractérisation d'antenne en chambre réverbérante (CR) représente une nouvelle orientation dans le domaine des mesures d'antenne. Cet article compare deux méthodes de caractérisation d'antenne en CR. Ces méthodes sont appliquées dans le but de déterminer l'efficacité de rayonnement d'une antenne patch et d'une antenne log-périodique. Les résultats obtenus sont comparés et présentent une bonne cohérence. La précision des différentes méthodes appliquées est étudiée et une solution est proposée dans le but d'améliorer la précision de la méthode fondée sur l'utilisation d'une antenne de référence.

I. INTRODUCTION

Au-delà des mesures de compatibilité électromagnétique, les chambres réverbérantes (CRs) ont été récemment utilisées pour les mesures d'antenne, notamment pour évaluer l'efficacité de rayonnement. Une CR idéale présente un champ électromagnétique statistiquement isotrope et homogène dans le volume de travail à l'aide de différentes techniques de brassage (mécanique, source, fréquence, etc.) [1]. Cela permet de réaliser des mesures d'antenne précises, en particulier afin de récupérer différents paramètres globaux tels que l'efficacité de rayonnement [2], [3]. Ces propriétés sont généralement obtenues pour des mesures à des fréquences beaucoup plus élevées que la fréquence minimale d'utilisation (LUF) de la CR [4].

Les toutes premières méthodes proposées pour la caractérisation d'antenne en CR reposaient sur l'utilisation d'une antenne de référence (Ant_{ref}) d'efficacité connue a priori, en plus de l'antenne sous test (AUT) [5], [6]. En 2012, une nouvelle méthode a été proposée [3] permettant de s'affranchir de l'utilisation d'une Ant_{ref}. C'est une avancée importante car une Ant_{ref} est difficilement disponible. La plupart des antennes de référence utilisées sont des antennes large bande avec une efficacité réputée constante en l'absence d'information plus précise (par exemple 90% pour une antenne log-périodique sur toute sa gamme de fréquences). En pratique, cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée et peut entraîner des erreurs importantes [5]. Par conséquent, nous devons d'abord bénéficier d'une estimation la plus précise possible de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref} car elle conditionne à son tour la précision de la mesure de l'efficacité de rayonnement de l'AUT. Dans la section II, nous présentons les deux méthodes de mesure d'efficacité de rayonnement que nous comparerons par la suite, l'une nécessitant une Ant_{ref} [6], l'autre non [3]. La section III est consacrée à la présentation de la configuration de mesure dans la CR du laboratoire ESYCOM ainsi que les deux antennes mesurées : une antenne patch et une antenne log-périodique. Dans la section IV, les résultats de mesure de l'efficacité par l'une et l'autre méthode sont présentés et comparés. Une meilleure estimation de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref} fondée sur un modèle linéaire est proposée et de meilleurs résultats d'efficacité de l'AUT sont présentés et comparés aux résultats obtenus par la méthode classique. Enfin, la section V donne la conclusion de ce travail.

II. METHODES DE MESURE

Deux méthodes sont appliquées dans le but de déterminer l'efficacité de rayonnement des antennes patch et log-périodique. La première méthode est fondée sur l'utilisation d'une Ant_{ref} avec une efficacité connue. La seconde méthode ne nécessite pas l'utilisation d'une Ant_{ref}.

II.1. Méthode de mesure avec Ant_{ref}

Deux antennes sont utilisées dans cette méthode y compris l'Ant_{ref}. Elle est fondée sur l'hypothèse stipulant que l'Ant_{ref} a une efficacité connue sur toute la bande fréquentielle de mesure.

Le facteur de qualité "Q" composite de la CR peut être exprimé comme suit [5]

$$Q_i = \langle |S_{ii,s}|^2 \rangle \frac{Z_0 \omega \varepsilon . V}{(\lambda^2/4\pi)(1-|\langle S_{ii}\rangle|^2)^2 \eta_i^2} \quad (1)$$

avec : $\langle . \rangle_\theta$ la moyenne d'ensemble sur toutes les positions θ du brasseur, Z_0: l'impédance caractéristique du vide, $\omega = 2.\pi.f$ avec f: la fréquence, ε: la permittivité du diélectrique, V: le volume de la CR, η_i: l'efficacité de rayonnement de l'antenne "i" et $S_{ii,s}$: la composante brassée du paramètre S_{ii} définie comme suit

$$S_{ii,s} = S_{ii} - \langle S_{ii} \rangle_\theta \quad (2)$$

Les coefficients de réflexion des deux antennes peuvent être utilisés dans (1) dans le but de déterminer Q. Dans l'hypothèse où le facteur de qualité de la CR ne dépend pas

du coefficient de qualité des antennes, le premier est considéré identique qu'il soit calculé à partir du paramètre S_{ii} de la première antenne ou bien de la seconde. On peut donc écrire: $Q_1 = Q_2$ puisque les deux antennes se trouvent dans le même milieu de mesure. Si on considère que l'antenne 1 est l'antenne de référence avec une efficacité connue η_1 alors, on peut ecrire: $\eta_2 = \sqrt{\frac{Q_2'}{Q_1}}$

avec: $$Q_2' = \langle |S_{22,s}|^2 \rangle \frac{Z_0 \omega \varepsilon . V}{(\lambda^2/4\pi)(1-|\langle S_{22} \rangle|^2)^2} \quad (3)$$

II.2. Méthode de mesure sans Ant_{ref}

Cette méthode ne nécessite pas l'utilisation d'une Ant_{ref} et est fondée sur la différence entre l'estimation de Q de la CR dans le domaine temporel et son estimation dans le domaine fréquentiel. Cette méthode est également applicable dans l'hypothèse où les pertes au niveau des ports d'antenne sont négligeables comparées aux pertes dans les parois de la CR. L'estimation de Q est réalisée à partir de l'évaluation de la constante de temps de la chambre dans le domaine temporel qui ne dépend pas des antennes. Elle est donc légèrement supérieure à celle extraite en régime harmonique en raison de la non-idéalité des antennes. Deux paramètres importants doivent être déterminés : la constante de temps τ_{RC} (proportionnelle à Q) et le coefficient de rétrodiffusion *eb* (facteur d'homogénéité du champ à l'intérieur de la CR). Deux antennes de mesure sont utilisées. τ_{RC} est défini comme l'inverse de la pente calculée à partir de la représentation logarithmique du power delay profile $PDP(t)$. Ce dernier est exprimé en fonction de la fonction de transfert de la CR comme

$$PDP(t) = \langle |IFT[S_{21}]|^2 \rangle_\theta = P_0 \exp(-t/\tau_{RC}) \quad (4)$$

où IFT est la transformée de Fourier inverse, S_{21} est le coefficient de transmission entre les deux antennes et $\langle . \rangle_\theta$ est la moyenne sur toutes les positions θ du brasseur. L'hypothèse sur laquelle repose cette méthode est que Q (évalué ici à partir de l'estimation de la décroissance temporelle) représente le Q composite de la CR (selon l'hypothèse que les pertes introduites par les antennes sont négligeables par rapport aux autres pertes dans la chambre). Une fois que nous avons calculé τ_{RC}, Q peut être déterminé comme [3]

$$Q = \omega \tau_{RC} \quad (5)$$

eb est exprimé comme suit

$$eb = \frac{\sqrt{\langle |S_{11,s}|^2 \rangle \langle |S_{22,s}|^2 \rangle}}{\langle |S_{21,s}|^2 \rangle} \quad (6)$$

On peut démontrer (voir détails dans [3]), que l'efficacité de rayonnement des antennes de mesure (ou AUT) se calcule suivant

$$\eta_i = \sqrt{\frac{\langle |S_{ii,s}|^2 \rangle . C_{RC}}{(1-|\langle S_{ii} \rangle|^2)^2 . Q . eb}} \quad (7)$$

avec: $$C_{RC} = \frac{16\pi^2 V}{\lambda^3}$$

III. CONFIGURATION DE MESURE ET TRAITEMENT

Les mesures ont été effectuées dans la CR du laboratoire ESYCOM (Fig. 1). La chambre est de dimensions: 2,95 m x 2,95 m x 2,35 m et est équipée d'un brasseur métallique possédant une géométrie complexe.

Fig. 1. CR du laboratoire ESYCOM.

La LUF de la CR du laboratoire ESYCOM est estimée à 400 MHz. La bande fréquentielle considérée pour la mesure est choisie largement supérieure à la LUF: [1,2 GHz – 3,2 GHz], on considère que les pertes introduites par les antennes sont donc négligeables. Les antennes caractérisées sont présentées sur la Fig. 2.

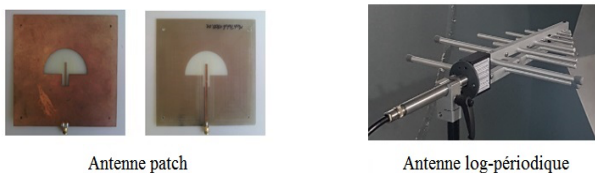


Fig. 2. Antennes caractérisées.

Les deux antennes de la Fig. 2 sont caractérisées par les deux méthodes, avec et sans Ant_{ref}. L'antenne patch est imprimée sur un substrat en FR4 et constituée d'une fente en forme de demi-cercle excitée par un monopole. Cette antenne large bande est adaptée entre 1,75 et 2,7 GHz (S_{11} inférieur à -6 dB). L'antenne log-périodique est large bande et possède une bande fréquence d'utilisation de [340 MHz – 4 GHz]. Cette antenne est utilisée comme une Ant_{ref} dans la méthode qui en nécessite l'utilisation. Les mesures ont été effectuées en CR en utilisant un analyseur de réseau Rohde&Schwarz ZNB8 sur 10.001 points fréquentiels uniformément espacés. Le brasseur tourne avec un pas angulaire de 5° en nous fournissant 72 mesures sur un tour complet du brasseur. Le schéma synoptique de la mesure est présenté sur la Fig. 3. Différents post-traitements sont appliqués sur les mesures selon la méthode utilisée.

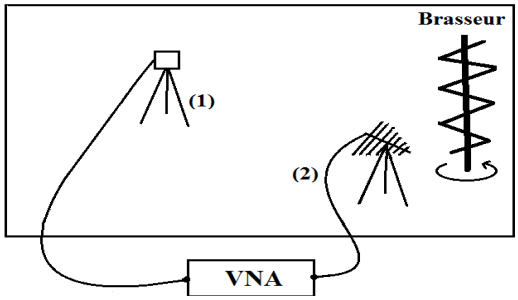


Fig. 3. Setup de mesure.

Une partie du post-traitement est la même pour les deux méthodes de mesure : la moyenne est calculée en utilisant les mesures prélevées en 72 positions du brasseur. Cependant, en raison des fluctuations statistiques importantes propres aux mesures en CR compte tenu du nombre limité d'états de la CR issus du brassage, le résultat obtenu est lissé sur une fenêtre glissante de 20 MHz. Concernant la méthode fondée sur l'utilisation d'une Ant_{ref}, l'efficacité de rayonnement de cette dernière est considérée constante et égale à 90% sur toute la bande fréquentielle. Concernant la seconde méthode (sans Ant_{ref}), la constante de temps de la CR est calculée sur une fenêtre fréquentielle glissante de 100 MHz et le résultat obtenu est associé à la fréquence centrale de cette fenêtre. Dans le but de vérifier l'hypothèse relative au coefficient de qualité des antennes posée par les deux méthodes on calcule le facteur de qualité des deux antennes patch et log-périodique [7]. Sur la Fig. 4, on présente le facteur de qualité des deux antennes que l'on compare au facteur de qualité de la CR estimé en temporel.

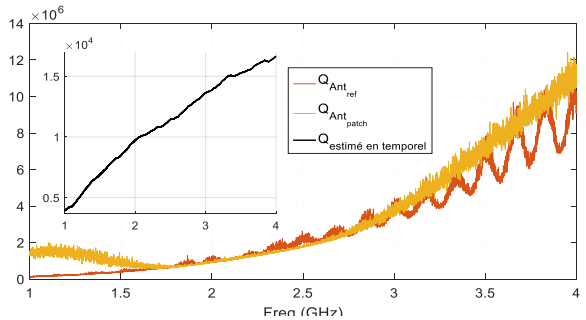


Fig. 4. Facteur de qualité de la CR et des antennes de mesure.

On remarque que le facteur de qualité des deux antennes est beaucoup plus important que le facteur de qualité de la CR calculé en temporel. Par conséquent, on peut considérer que les antennes ont une faible contribution dans le facteur de qualité composite. Ce résultat confirme que l'hypothèse sur laquelle les deux méthodes d'estimation de l'efficacité reposent est bien vérifiée.

IV. RESULTATS DE MESURE

Dans cette partie, nous présentons les résultats d'efficacité de rayonnement obtenus pour une antenne patch et log-périodique (Ant_{ref}) en utilisant les deux méthodes présentées dans la section II. La Fig. 5 présente des résultats cohérents pour les deux méthodes. Nous remarquons cependant qu'à partir de 2,1 GHz, le résultat obtenu par la méthode sans Ant_{ref} présente des valeurs inférieures à celles obtenues selon la méthode avec Ant_{ref}. À 3,2 GHz, l'efficacité estimée par la première méthode est de 67,8 % contre 75,7 % par la seconde. Le même comportement est observé pour les résultats d'efficacité de rayonnement de l'antenne log-périodique (Ant_{ref}) dans la Fig. 6 par rapport à sa valeur hypothétiquement fixée de 90 %.

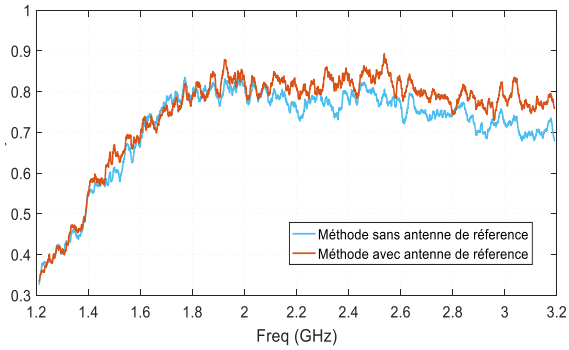


Fig. 5. Efficacité de rayonnement de l'antenne patch.

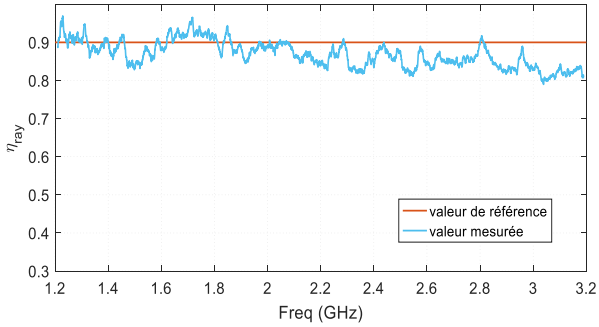


Fig. 6. Efficacité de rayonnement de l'antenne log-périodique (Ant_{ref}) comparée à sa valeur supposée fixe et égale à 90%.

Ces résultats montrent que le fait de considérer l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref} comme constante sur toute la bande fréquentielle de mesure est non seulement incorrect mais que cette hypothèse réductrice entraîne un biais d'estimation significatif comme l'atteste le résultat obtenu avec Ant_{ref}. Ceci montre l'importance d'une bonne connaissance de l'efficacité de l'antenne de référence pour caractériser l'antenne sous test. L'efficacité estimée de l'Ant_{ref} (Fig. 6) présente toutefois des fluctuations qui ne semblent pas représentatives du fonctionnement de l'antenne. Dans le but de corriger cette erreur et d'améliorer l'estimation de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref} nous proposons de faire une mesure dans une autre CR (CR de l'IETR). Le résultat de cette deuxième mesure présenté sur la Fig. 7 montre des fluctuations différentes de celles obtenues dans la première mesure (CR ESYCOM, Fig. 6). Cette différence est donc bien liée aux propriétés de l'environnement de mesure (CR) et non pas à l'antenne elle-même. En exploitant les résultats obtenus dans les deux CRs, nous proposons un modèle linéaire pour décrire l'efficacité de rayonnement de l'antenne log-

périodique (Ant_{ref}) qui sera fondé sur un fit linéaire de la moyenne des deux mesures. L'efficacité de rayonnement de l'antenne log- périodique ($\eta_{Ant_{ref}}$) est donc présentée dans la Table. 1. Les résultats de mesure de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref} ainsi que son modèle analytique sont présentés sur la Fig. 7.

Table 1. Modélisation linéaire de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref}

Fréquence (f)	$\eta_{Ant_{ref}}$
$[1{,}2\ GHz - 1{,}8\ GHz]$	0,9
$[1{,}8\ GHz - 3{,}2\ GHz]$	$-0{,}051f + 0{,}99$

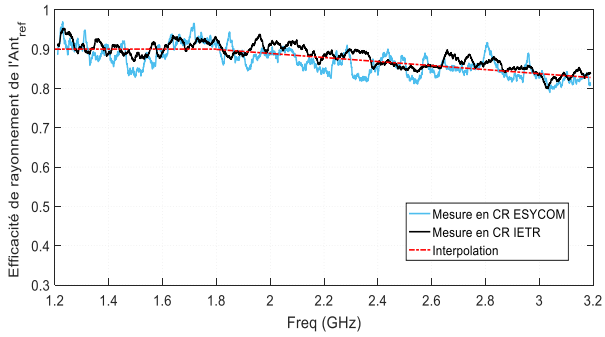
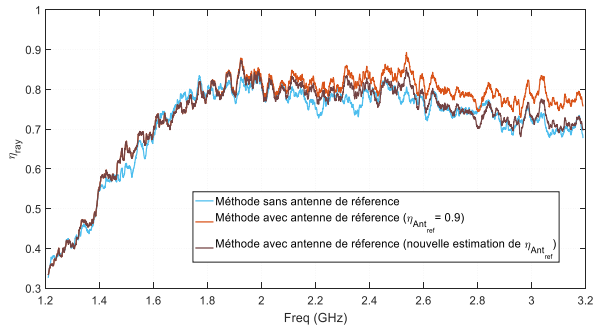


Fig. 7. Résultats de mesure et de modélisation de l'efficacité de rayonnement de l'Ant_{ref}.

Le résultat obtenu avec le modèle proposé est utilisé dans la méthode de mesure fondée sur une Ant_{ref} afin de calculer l'efficacité de rayonnement de l'antenne patch. Le résultat obtenu pour la méthode avec Ant_{ref} en considérant la nouvelle estimation de son efficacité est très similaire au résultat obtenu avec la méthode sans Ant_{ref}. Le résultat (Fig. 8) montre bien qu'une estimation plus réaliste de l'efficacité de l'antenne de référence permet l'obtention de résultats similaires par l'une ou l'autre des méthodes.



en utilisant les méthodes sans Ant_{ref} puis avec Ant_{ref} et pour les deux valeurs d'efficacité associées.

V. CONCLUSION

Cet article présente les résultats obtenus pour la mesure d'efficacité de rayonnement d'antenne en CR obtenue à l'aide de deux méthodes différentes : une méthode fondée sur une antenne de référence et une méthode sans antenne de référence. Contrairement à la méthode sans Ant_{ref}, la méthode avec Ant_{ref} repose sur l'utilisation d'une Ant_{ref} ayant une efficacité de rayonnement connue, classiquement considérée constante sur toute la bande fréquentielle de mesure. En utilisant la méthode sans Ant_{ref}, nous avons déterminé l'efficacité de rayonnement d'une antenne patch et d'une antenne log-périodique. Cette dernière a ensuite été utilisée comme Ant_{ref} dans la méthode avec Ant_{ref}. Les résultats obtenus démontrent que l'hypothèse classiquement retenue d'une efficacité de rayonnement constante pour l'antenne de référence sur une très large bande est trop conservatrice. Dans le contexte de la mesure d'une antenne patch large bande, cette erreur d'estimation, si elle n'est pas corrigée, génère des résultats erronés pour l'efficacité de rayonnement de l'antenne patch (AUT) avec cette méthode de mesure. Grâce aux résultats de la méthode sans Ant_{ref}, nous avons proposé une estimation plus précise de cette efficacité de référence, sous la forme d'un modèle linéaire, construit sur la mesure existante et sur une nouvelle mesure dans une seconde CR. La similitude des résultats obtenus par les deux méthodes confirme que nous disposons désormais d'une référence suffisamment précise pour l'application de la méthode avec Ant_{ref}.

REFERENCES

[1] R. Serra et al., *"Reverberation chambers a la carte: An overview of the different mode-stirring techniques"*, Electromagn. Compat. Mag., vol. 6, no. 1, pp. 63–78, Jan.–Mar. 2017.

[2] W. Krouka, F. Sarrazin, E. Richalot, *"Influence of the Reverberation Chamber on Antenna Characterization Performances"*, Int. Symp. Electromagn. Compat. EMC EUROPE, 2018.

[3] C. L. Holloway, H. A. Shah, R. J. Pirkl, W. F. Young, D. A. Hill and J. Ladbury, *"Reverberation chamber techniques for determining the radiation and total efficiency of antennas"*, IEEE Trans. Antennas. Propag. vol .60, no 4, April, 2012.

[4] W. Krouka, F. Sarrazin and E. Richalot, *"Antenna Characterization in Reverberation Chamber at Frequencies Close to the Lowest Usable Frequency,"* 2020 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. (APSURSI), Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 1261-1262.

[5] P. Hallbjorner, *"Reflective antenna efficiency measurements in reverberation chambers"*, Microwave Opt. Tecnol. Lett, vol. 30, no. 5, pp 332-335, Sept 2001.

[6] P. Besnier, J. Sol, A. Presse, C. Lemoine and A. C. Tarot, *"Antenna efficiency measurement from quality factor estimation in reverberation chamber"*, European Microwave Conference (EuMC), London, pp. 715-718, 2016.

[7] D. A. Hill, *"Electromagnetic Theory of Reverberation Chambers"*, NIST technical notes 1506, December 1998.