



HAL
open science

Vers une optimisation des chambres réverbérantes par le chaos ondulatoire : mesures en cavité chaotique 2D.

Kamardine Selemani, Elodie Richalot, Olivier Legrand, Fabrice Mortessagne

► To cite this version:

Kamardine Selemani, Elodie Richalot, Olivier Legrand, Fabrice Mortessagne. Vers une optimisation des chambres réverbérantes par le chaos ondulatoire : mesures en cavité chaotique 2D.. 18e Journées Nationales des Microondes, May 2013, Paris, France. pp.J1-AP3-5. hal-00847773

HAL Id: hal-00847773

<https://hal.science/hal-00847773>

Submitted on 24 Jul 2013

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.

Vers une optimisation des chambres réverbérantes par le chaos ondulatoire : mesures en cavité chaotique 2D.

K. Selemani¹, E. Richalot¹, O. Legrand², F. Mortessagne²

¹Université Paris-Est, ESYCOM, Marne-la-Vallée, Cité Descartes, 77 454 Marne-la-Vallée, France

selemani@univ-mlv.fr, elodie.richalot@univ-mlv.fr

²LPMC, Université de Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice cedex 2, France

olivier.legrand@unice.fr, fabrice.mortessagne@unice.fr

Résumé

La théorie des cavités chaotiques montre que dans ces dernières les champs répondent aux critères statistiques voulus dans les chambres réverbérantes. C'est pourquoi nous cherchons à nous inspirer des connaissances sur ces cavités pour optimiser les chambres réverbérantes. Dans ce résumé, nous présentons des résultats de simulations et de mesures obtenus pour trois cavités bidimensionnelles. On décrit la technique de mesure utilisée, basée sur une approche perturbative. Les résultats montrent une bonne concordance des cartographies du champ électrique obtenues. Par ailleurs, il est montré que les géométries de cavité proposées permettent d'homogénéiser le champ.

1. Introduction

Parmi les techniques de test d'immunité aux perturbations rayonnées, les chambres réverbérantes à brasseur de modes (CRBM) sont aujourd'hui d'utilisation répandue et apparaissent comme un outil attractif par son faible coût et sa relative rapidité. Ces cavités ne peuvent être utilisées qu'au-delà d'une fréquence minimale fixée par leurs dimensions ainsi que par la prise en compte des pertes qui induisent un recouvrement modal. Leur fonctionnement n'est en effet généralement considéré comme correct que lorsque les champs respectent certains critères statistiques tels que l'homogénéité et l'isotropie sur un tour de brasseur. La présente étude constitue une première étape vers l'application des concepts du chaos ondulatoire aux chambres réverbérantes. En effet, les propriétés statistiques des champs dans les cavités chaotiques sont, pour la grande majorité des modes, celles visées dans les CRBM [1][2]; ainsi, l'homogénéité et l'isotropie y sont assurées sans avoir recours à un brasseur de modes. Ces critères statistiques sont en outre généralement vérifiés pour des fréquences plus basses que la fréquence minimale d'utilisation des CRBM et donc pour une gamme de fréquences où le recouvrement modal peut éventuellement être négligé [3]. Notre étude vise à proposer des modifications géométriques simples des

chambres réverbérantes afin d'assurer le respect des critères statistiques recherchés.

Dans cet article, des mesures de l'amplitude du champ électrique sont effectuées sur trois cavités chaotiques plates. La technique de mesure utilisée, basée sur une approche perturbative, sera tout d'abord exposée. Les résultats de mesure présentés, alliés à ceux issus de simulation, montreront tout d'abord la grande précision des mesures effectuées, et mettront par ailleurs en évidence les propriétés d'uniformité des champs relatifs aux modes étudiés.

2. Théorie et cavités étudiées

Afin de tester notre approche, nous nous sommes intéressés à une cavité modèle dont l'une des dimensions est inférieure à un quart de longueur d'onde. Dans cette cavité bidimensionnelle, seuls les modes TM peuvent exister. En choisissant (Oz) pour axe vertical, dans le plan (x,y) seules les composantes E_z , H_x et H_y peuvent être non nulles. L'équation de Helmholtz à deux dimensions de la composante E_z du champ électrique s'écrit alors :

$$\nabla^2 E_z(x, y) + \omega^2 \mu(x, y) \varepsilon(x, y) E_z(x, y) = 0 \quad (1)$$

où $\mu(x, y)$ est la perméabilité magnétique et $\varepsilon(x, y)$ la permittivité électrique.

Comme nous le verrons avec la présentation du dispositif de mesure, l'utilisation de cette cavité plate permet d'effectuer des mesures précises du champ électrique. Trois géométries différentes de cavité sont étudiées ici ; elles s'inspirent des géométries usuelles de la théorie du chaos ondulatoire [3][4] tout en se restreignant à des modifications simples de la cavité rectangulaire, et ceci dans l'optique d'étendre notre approche aux chambres réverbérantes de forme parallélépipédiques. La cavité métallique rectangulaire sera ainsi tronquée à l'aide de demi- et quart de cylindres métalliques de section circulaire.

2.a.

3. Dispositif de mesure

La technique de mesure utilisée consiste à introduire un petit objet perturbateur dans la cavité pour remonter aux propriétés du champ via une approche perturbative [5]. L'introduction du perturbateur modifie les champs ainsi que la fréquence de résonance du mode étudié. C'est cette dernière modification, variant avec la position de l'objet dans la cavité, qui est utilisée pour déterminer, de façon indirecte, les propriétés des champs à la position du perturbateur. Nous nous plaçons ici dans l'hypothèse où le perturbateur est de petite taille et induit une faible perturbation de la fréquence de résonance. Soient f_0 la fréquence de résonance à vide et f la fréquence de résonance perturbée, le décalage fréquentiel est lié au champ électromagnétique, au point où se trouve le perturbateur, par l'équation [6] :

$$\frac{f_0 - f}{f_0} = \alpha E^2 + \beta H^2 \quad (2)$$

Ici α et β sont des constantes positives déterminées par la géométrie et le matériau constitutif de l'objet perturbateur. Dans le cas étudié, nous cherchons à déterminer la composante verticale du champ électrique. Il a été montré que l'utilisation d'une aiguille métallique placée suivant l'axe (Oz) permet de perturber presque uniquement cette composante [7, 8]. Nous utilisons une aiguille métallique de section circulaire placée verticalement, pour laquelle on obtient, $E_z^2 \sim \Delta f$ avec $\Delta f = f - f_0$. Il est alors aisé d'extraire l'amplitude de E_z des mesures des fréquences de résonance en fonction de la position de l'aiguille perturbatrice déplacée à l'aide d'un aimant.

Les mesures de la transmission entre deux antennes insérées dans la cavité ont été effectuées à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel Rohde&Schwarz ZVA 24. La fréquence de résonance f est suivie pour chaque position du perturbateur.

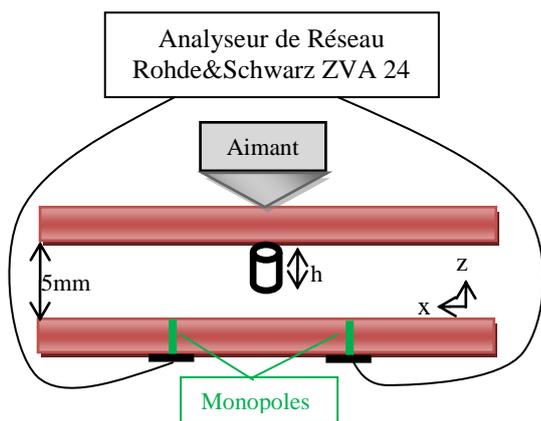


Figure 1. Dispositif de mesure, cavité 2D

4. Simulations et mesures

L'aiguille utilisée pour les mesures est de 0,5mm de diamètre et 3mm de hauteur. La cavité, fermée, a une surface de dimensions 76cm x 47cm pour une hauteur de 5mm. Afin d'assurer un bon facteur de qualité, les parois

de la cavité sont en cuivre de type OFHC (Oxygen-Free-High-Conductivity). Les demi-disques et quart de disque introduits dans la cavité pour modifier ses propriétés sont de même nature que les parois de la cavité et de rayon 10cm. La zone de mesure a une surface de 40cm x 26.5cm, la résolution spatiale dans le plan (x,y) étant de $\Delta=5$ mm soit environ $\lambda/28$ à 2.11GHz, $\lambda/20$ à 3.00GHz et $\lambda/24$ à 2.51GHz. Les simulations sont effectuées sous HFSS d'Agilent. La cavité est excitée par deux monopôles de 5mm de hauteur dont seule l'extrémité pénètre dans la cavité.

Les cartographies de l'amplitude de E_z pour des modes de résonance de chacune des cavités (figures 2, 4 & 6) montrent clairement que l'introduction d'un demi-disque pour la première cavité, de deux demi-disques pour la seconde, et deux demi- et un quart de disque pour la troisième, conduit à un profil de champ d'allure irrégulière très différente des profils observés en cavités rectangulaires.

Afin de comparer mesures et simulations, les amplitudes des champs ont été normalisées par leur valeur maximale sur la zone d'étude. La comparaison visuelle entre les cartographies issues des simulations et des mesures (figures 3, 5 & 7) montre alors une bonne concordance entre les deux approches, ce qui permet de valider la méthode de mesure de E_z^2 en 2D.

L'estimation de l'écart entre les cartographies issues des mesures et des simulations se fait via le calcul de l'erreur moyenne entre les amplitudes de E_z mesurées et simulées suivant la formule :

$$\text{erreur} = \langle |E_z^{\text{mesure}}| - |E_z^{\text{simulation}}| \rangle \quad (3)$$

Nous obtenons une erreur entre simulations et mesures de 1,4% dans la première cavité (Figure 3), de 1,1% dans la deuxième cavité (Figure 5) et de 1,8% dans la troisième cavité (Figure 7). Cette erreur est principalement liée à la résolution fréquentielle limitée et au diamètre non nul de l'aiguille.

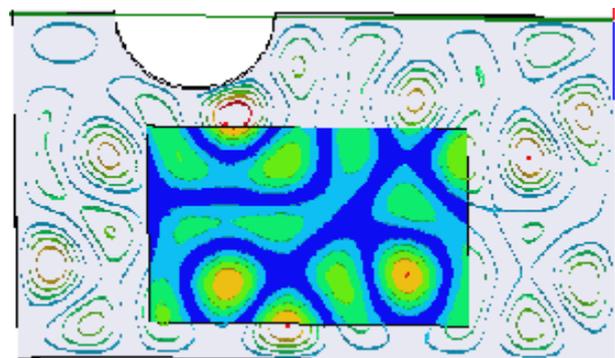
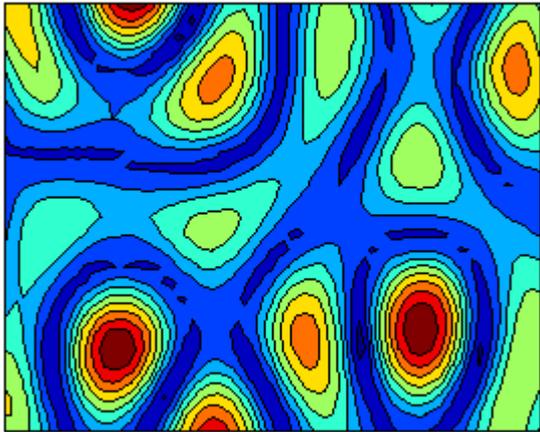
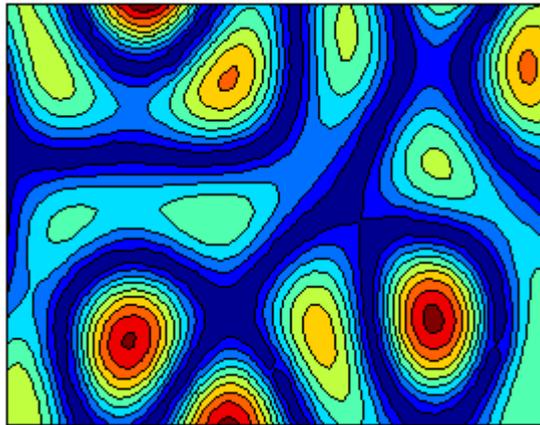


Figure 2. Cavité 2D et amplitude $|E_z|$ simulée sous HFSS à 2.11GHz.



(a)



(b)

Figure 3. (a) Mesure et (b) Simulation de l'amplitude de $|E_z|$ sur la zone centrale à 2.11GHz.

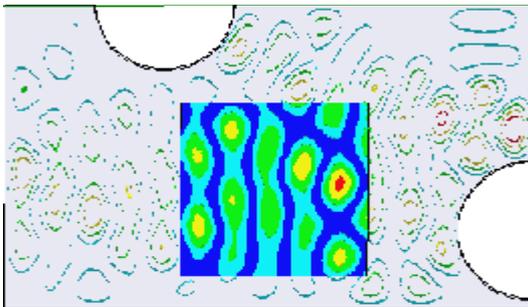
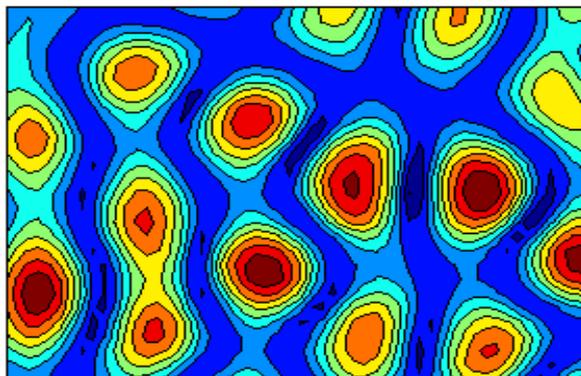
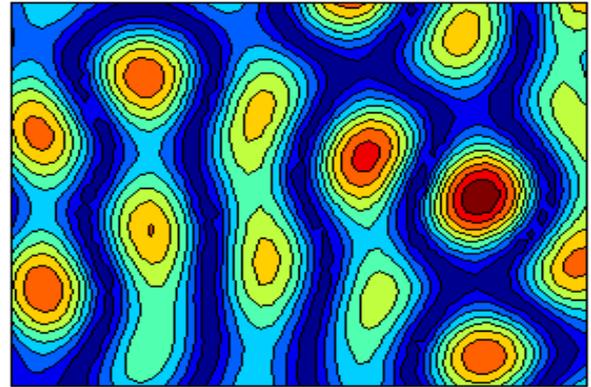


Figure 4. Cavité 2D et amplitude $|E_z|$ simulée sous HFSS à 3.00 GHz.



(a)



(b)

Figure 5. (a) Simulation et (b) mesure de l'amplitude de $|E_z|$ sur la zone centrale à 3GHz.

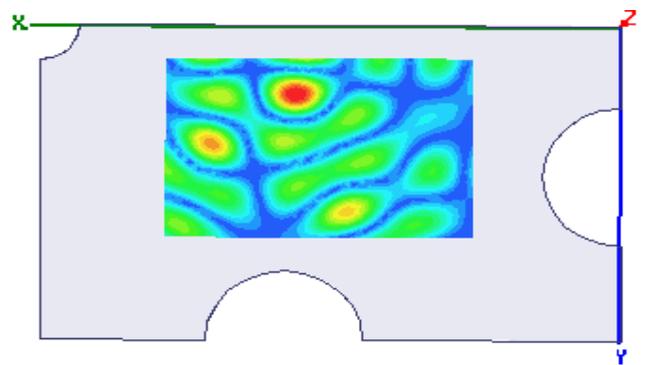
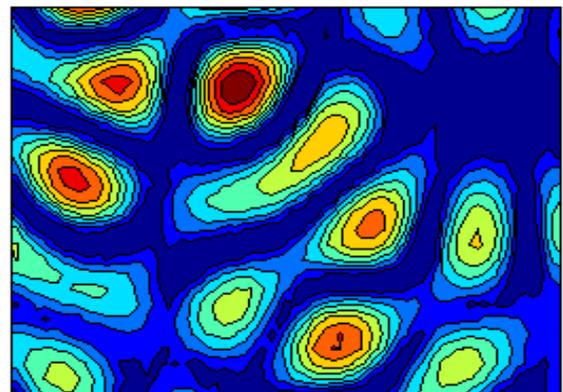
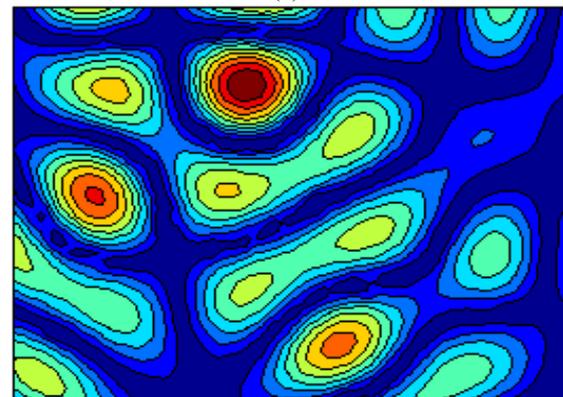


Figure 6. Cavité 2D et amplitude $|E_z|$ simulée sous HFSS à 2.51GHz.



(a)



(b)

Figure 7. (a) Simulation et (b) mesure de l'amplitude de $|E_z|$ sur la zone centrale à 2.51GHz.

5. Distribution du champ

La théorie du chaos ondulatoire prédit que la distribution statistique de E_z suit une loi normale [1], vérifiée ici par un échantillonnage spatial et démontrant le caractère statistiquement homogène du champ. On en déduit que la distribution de son module au carré suit une loi de Porter-Thomas définie par l'équation (3).

$$P(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi\langle\xi\rangle}} \exp\left(-\frac{\xi}{2\langle\xi\rangle}\right) \quad (4)$$

avec $\langle \rangle$ la moyenne arithmétique.

Dans cette partie nous allons vérifier si les amplitudes des champs mesurés et simulés suivent cette loi. Les distributions présentées en figure 7 correspondent au mode de fréquence de résonance 3.00GHz dans la deuxième cavité. La loi de Porter-Thomas a été tracée en considérant la valeur moyenne du module du champ au carré calculée sur l'ensemble des valeurs mesurées ou simulées sur la zone considérée. La bonne adéquation entre les distributions obtenues et la distribution théorique, et ceci à la fois à partir des résultats de mesure et de simulation, montre l'homogénéité statistique du champ sur la zone d'observation.

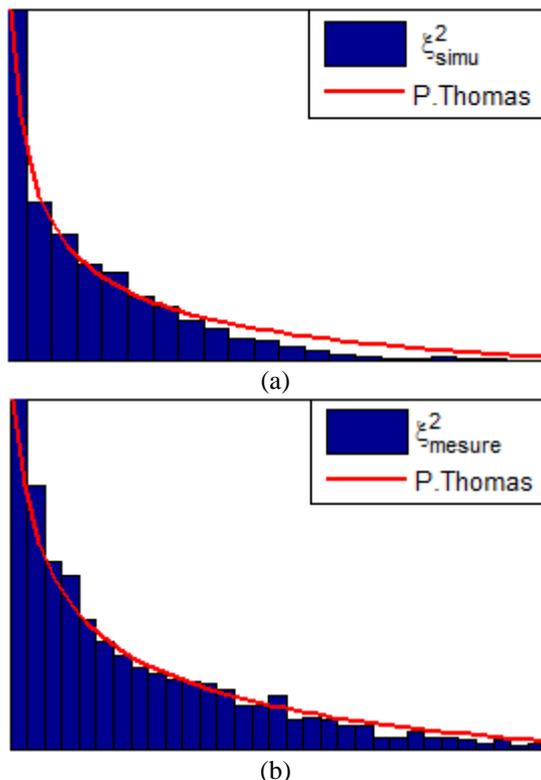


Figure 7. (a) Simulation et (b) mesure de la distribution de $|E_z|^2$ sur la zone centrale à 3.00GHz. Lois de Porter-Thomas les plus proches.

6. Conclusion

Une méthode de mesure basée sur une approche perturbative a été utilisée pour mesurer la distribution du champ électrique dans trois cavités électromagnétiques plates et de géométries s'inspirant des cavités chaotiques.

Les résultats obtenus ont montré la bonne précision de la méthode de mesure utilisée.

Cette méthode de mesure ayant été validée, elle peut être mise à profit pour l'étude des propriétés statistiques des champs dans les cavités proposées, et ceci en vue d'une optimisation de la géométrie des chambres réverbérantes à partir des connaissances issues de la théorie du chaos ondulatoire.

7. Remerciements

Ce travail est soutenu par l'ANR Blanc CAOREV (<http://syscom.univ-mlv.fr/CAOREV.htm>). Les auteurs remercient Gregory SAUDER pour son aide et ses travaux réalisés sur la plate-forme de mesures.

8. Bibliographie

- [1] H.-J. Stöckmann, *Quantum Chaos: an introduction*, Cambridge University Press, 1999.
- [2] G. Orjubin, E. Richalot, O. Picon, O. Legrand, "Chaoticity of a Reverberation Chamber Assessed from Analysis of Modal Distributions obtained by FEM", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, Vol. 49, Issue 4, Nov. 2007, pp. 762-771.
- [3] J. Barthélemy, O. Legrand, and F. Mortessagne, « Complete S matrix in a microwave cavity at room temperature », *Phys. Rev. E* **71**, 016205 (2005).
- [4] V. Galdi, I.M. Pinto, and L.B. Felsen, « Wave propagation in Ray-Chaotic Enclosures : Paradigms, Oddities and Examples », *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 47, no. 1, pp. 62-81, Feb. 2005.
- [5] L. C. Maier and J. C. Stater. Field strength measurement in resonant cavities. *J. Appl. Phys.*, 23(1) :66-77, Jan. 1952
- [6] David A. Hill, *Electromagnetic Fields in cavity Deterministic and Statistical Theories*, John Wiley&Sons, New Jersey, 2009.
- [7] D. Laurent, «Chaos Ondulatoire et Diffusion Multiple en Cavité Micro-Ondes : Expériences modèles et applications», Thèse de doctorat de l'Université de Nice Sophia Antipolis, (2007). <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00460414/fr/>.
- [8] A. Gokirmak, D.-H. Wu, J. S.A. Bridgewater, and S. M. Anlage, *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 3410 (1998).