

# Variabilité de la densité d'énergie dans une chambre réverbérante à brassage de modes

Florian Monsef, Andrea Cozza

► **To cite this version:**

Florian Monsef, Andrea Cozza. Variabilité de la densité d'énergie dans une chambre réverbérante à brassage de modes. GdR Ondes 2013, Oct 2013, Dijon, France. hal-00933771

**HAL Id: hal-00933771**

**<https://hal-supelec.archives-ouvertes.fr/hal-00933771>**

Submitted on 21 Jan 2014

**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.

# Variabilité de la densité d’énergie dans une chambre réverbérante à brassage de modes

F. Monsef<sup>1</sup>, A. Cozza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Département de Recherche en Electromagnétisme, L2S, UMR8506,  
 Univ Paris-sud, SUPELEC, CNRS, 3 rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette  
 florian.monsef@lss.supelec.fr

## Résumé

Les chambres réverbérantes à brassage de modes (CRBM) sont utilisées dans les mesures de puissances rayonnées ainsi que dans les tests de susceptibilité ondes électromagnétiques. On présente ici la loi de variation de la variance relative de la densité d’énergie en fonction de la fréquence d’utilisation de la CRBM.

## 1. Introduction

Les procédures de test en CRBM sont basées sur une approche statistique [1]. La fiabilité des tests est donc soumise de manière inhérente à un niveau d’incertitude. L’estimation de cette incertitude requiert l’accès à un modèle statistique du champ électromagnétique au sein de la chambre. A l’heure actuelle, les modèles adoptés par la communauté sont basés sur des approches asymptotiques [2] où le champ est décomposé en une somme infinie d’ondes planes.

Les approches non asymptotiques supposent de pouvoir introduire la densité modale. En 1993, Lehman[3] a adopté une approche modale pour décrire le champ au sein d’une CRBM mais c’est seulement récemment [4][5] qu’une expression de la variabilité du champ a été entreprise et établie.

On présente ici les hypothèses sous-jacentes au modèle du champ dans la CRBM. On résume le principe de la dérivation de la variabilité de la densité d’énergie que l’on confronte à des estimations basées sur des données expérimentales.

## 2. Modèle du champ électromagnétique dans la CRBM

Le champ électromagnétique  $\vec{E}(\vec{r}, f)$  mesuré en un point  $\vec{r}$  et à une fréquence  $f$  dans une cavité micro-onde, telle qu’une CRBM, peut être exprimée par un développement modal comme suit,

$$\vec{E}(\vec{r}, f) = \sum_i \gamma_i \psi_i(f) \vec{\zeta}_i(\vec{r}), \quad (1)$$

où les paramètres modaux  $\gamma_i, \psi_i(f)$  et  $\vec{\zeta}_i(\vec{r})$  correspondent respectivement au couplage de la source et du récepteur au mode  $i$ , à la réponse en fréquence du mode  $i$  et à la polarisation du mode  $i$ [4].

La CRBM est considérée comme conforme si le niveau d’uniformité du champ moyen et maximum répond aux normes régissant ce type de dispositif. Bien que seul l’uniformité du champ maximum soit quantitativement régi par [1], le degré d’uniformité du champ moyen est communément considéré comme un indicateur de diffusivité du champ. Dans le cas d’un modèle asymptotique (nombre infini de modes excités), la densité d’énergie associée au champ décrit par (1) correspond à une variable aléatoire suivant une loi de type  $\chi^2$  à 6 degrés de liberté ; sa variance relative est alors de 1/3.

Figure 1. Géométrie de l’antenne

## 3. Variabilité de la densité d’énergie

Si l’on considère la densité d’énergie  $W$ , telle que

$$W \equiv W(\vec{r}, f) = \varepsilon_0 \|\vec{E}(\vec{r}, f)\|^2. \quad (2)$$

On montre que la variance relative peut s’exprimer telle que

$$\zeta_w^2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{3\pi M_M}, \quad (3)$$

où  $M_M$  correspond au nombre moyen de modes excités dans une bande modale, notée  $B_M$ , centrée à la fréquence de travail. L’expression (3) suppose que d’une part, les paramètres modaux sont indépendants et identiquement distribués et d’autre part, que les poids modaux sont considérées comme des variables complexes aléatoires ; leur partie réelle et imaginaire sont supposées suivre une loi normale.

## 4. Résultats

Nous montrons sur la figure 1 l'estimation du nombre moyen de modes se recouvrant dans une bande modale. On considère le cas d'une CRBM vide (courbe inférieure) et le cas d'une CRBM dans laquelle des absorbants ont été insérés (courbe supérieure).

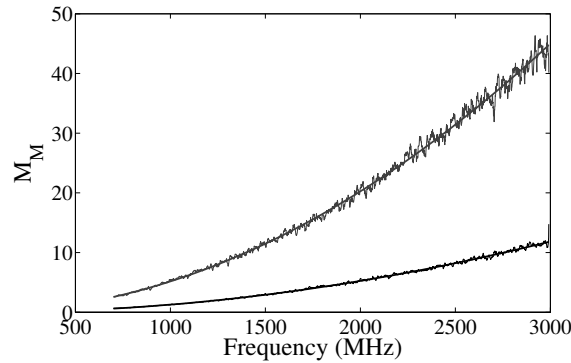


Figure 1. Nombre moyen de modes dans la bande modale

De cette estimation, il est alors possible de comparer les valeurs de la variabilité de  $W$  estimée expérimentalement à la loi de variation donnée par (3). On a également procédé à des simulations Monte Carlo (MC) permettant de vérifier la consistance du modèle avec les hypothèses sous-jacentes au modèle donné par (3). On résume les résultats obtenus sur la figure 2 dans le cas de la CRBM vide (gauche) et chargée (droite).

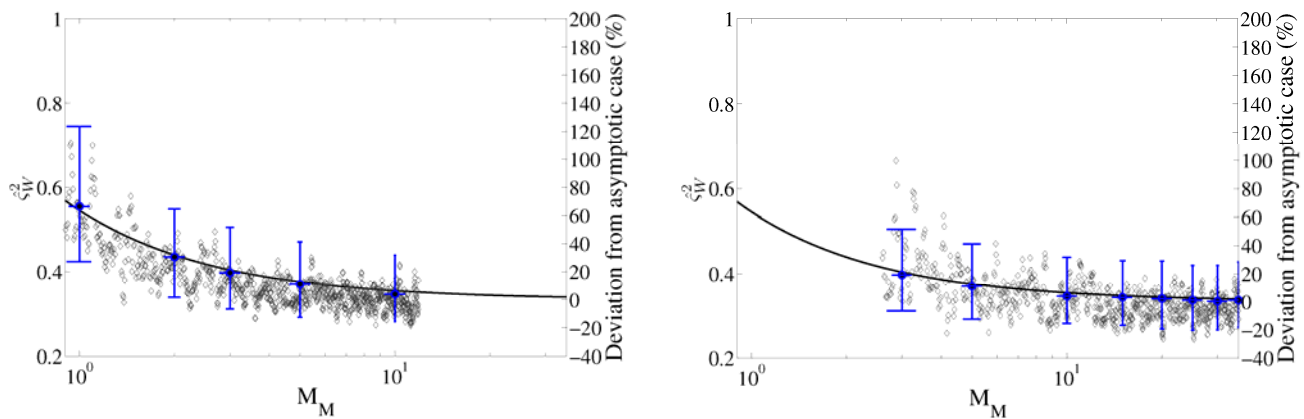


Figure 2. Variabilité de la densité d'énergie dans le cas d'une CRBM vide (gauche) et chargée (droite). Les résultats analytiques (ligne continue) sont superposés aux variabilités estimées expérimentalement (losanges) et à celles estimées par simulations Monte Carlo (cercles pleins).

Comme toute estimation est soumise à un degré d'incertitude, nous avons déterminé l'intervalle de confiance découlant du modèle, et ce, à l'aide également de simulation MC. Nous constatons un bon accord aussi bien au niveau des valeurs moyennes de la variabilité  $\zeta_W^2$  qu'au niveau de la dispersion de celle-ci.

## 5. Conclusion

Nous avons pu établir la variabilité de la densité d'énergie  $W$  en fonction du nombre moyen de modes superposés dans la bande modale. Ce résultat permet d'avoir une métrique qui donne le degré d'uniformité d'une grandeur associée au champ électrique, et ce, d'une manière non-asymptotique.

## 6. Bibliographie

- [1] *Reverberation chamber test methods*, International Electrotechnical Commission (IEC), Std. 61 000-4-21, 2011.
- [2] D. Hill, "Plane-wave integral representation for fields in reverberation chambers," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 40, pp. 209–217, 1998.
- [3] T. Lehman, "A statistical theory of electromagnetic fields in complex cavities," *Interaction Notes*, vol. 494, 1993.
- [4] A. Cozza, "The role of losses in the definition of the overmoded condition for reverberation chambers and their statistics," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 53, no. 2, pp. 296–307, 2011.
- [5] F. Monsef and A. Cozza, "Average number of significant modes excited in a mode-stirred reverberation chamber," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, accepté, 2013.