



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

Quantification des performances d'une chambre réverbérante à brassage de modes par détection fréquentielle du régime « quasi-idéal »

Performance assessment of mode stirred reverberation chamber by determining the minimal frequency corresponding to the "quasi-ideal" regime

Aziz Adardour, Guillaume Andrieu*, Alain Reineix **

** Laboratoire XLIM, Département OSA, Université de Limoges, {aziz.adardour, guillaume.andrieu, alain.reineix}@xlim.fr*

Mots-clefs: chambre réverbérante à brassage de modes, facteur de qualité, nombre d'échantillons indépendants, régime idéal, tests d'ajustement à une loi de probabilité.

Keywords: mode stirred reverberation chamber, quality factor, number of independent samples, ideal regime, goodness-of-fit tests.

Résumé

Une méthode originale permettant de déterminer la fréquence minimale à partir de laquelle une chambre réverbérante à brassage de modes (CRBM) peut être considérée comme fonctionnant en régime « quasi-idéal » est présentée dans cette communication. La méthode est basée sur 1) l'évaluation du taux de rejet des lois de distribution du champ électromagnétique (EM) obtenu au sein du volume utile de la CRBM en comparaison des lois prévues par le modèle idéal d'une CRBM défini par Hill [1] et 2) le nombre d'échantillons indépendants obtenus sur une révolution du brasseur de modes. La fréquence minimale du régime « quasi-idéal » de la CRBM est alors obtenue en choisissant des valeurs seuils judicieuses pour chacun de ces deux critères.

Des résultats expérimentaux montrent qu'il est possible d'abaisser sensiblement cette fréquence en travaillant à un coefficient de qualité défini comme optimal (obtenu en insérant une faible quantité d'absorbants dans la chambre) ou en augmentant la complexité de la géométrie du brasseur de modes.

1. Introduction

Une CRBM idéale est un moyen d'essai permettant de générer au sein de son volume utile un champ EM (EM) correspondant à la superposition d'une infinité d'ondes planes de polarisation et d'incidence aléatoires [1] pour un nombre fini mais suffisant de positions du brasseur de modes. De plus, chaque position du brasseur doit mener à des résultats indépendants en comparaison de ceux obtenus pour chacune des autres positions.

Dans la pratique, une CRBM peut être considérée comme idéale lorsque la fréquence est suffisamment élevée (pour des fréquences supérieures à environ 10 à 20 fois la fréquence de résonance du mode fondamental de la cavité vide). Malheureusement, le fonctionnement d'une CRBM s'éloigne de ce régime idéal à plus basses fréquences en raison de la densité modale insuffisante (celle-ci étant proportionnelle au volume total de la CRBM et au carré de la fréquence).

Les normes en vigueur ([2]-[3]) décrivent donc une méthode permettant de déterminer la fréquence minimale d'utilisation (LUF pour "Lowest Usable Frequency") d'une CRBM. Cette méthode est basée sur l'évaluation de l'uniformité du champ électrique obtenu au sein du volume utile comparée alors à un gabarit déterminé. Cette méthode, utilisée largement par la communauté CEM, présente le grand avantage de proposer une procédure rapide pour la détermination de la LUF. Cependant, cette méthode doit être appréhendée prudemment. En effet, pour des fréquences immédiatement supérieures à la LUF, les lois de distribution du champ EM correspondant au modèle idéal sont généralement rejetées [4] tandis que les échantillons collectés sur un tour de brasseur sont encore largement corrélés.

Ainsi, de notre point de vue, la communauté CEM manque d'une méthode rigoureuse basée sur des indicateurs pertinents afin de quantifier la « qualité » du champ EM généré au sein du volume utile d'une CRBM dans la bande de fréquences intermédiaires (fréquences comprises entre la LUF et la fréquence où la CRBM fonctionne en régime idéal). Cette communication présente donc une méthode permettant de déterminer la fréquence minimale où une CRBM peut être considérée comme fonctionnant en régime « quasi-idéal ».

Il n'est pas interdit de se demander pourquoi est-il si important de travailler en régime quasi-idéal. Pour répondre à cette interrogation, il est important de garder à l'esprit que de nombreuses équations liées à l'utilisation d'une CRBM ont été obtenues à l'aide de démonstrations théoriques prenant comme hypothèses de départ les lois de distribution du champ EM décrites par le modèle idéal. De plus, un papier récent [4] montre d'un point de vue théorique que l'écart-type du champ électrique obtenu dans le cas d'une parfaite réverbération est plus faible que celui obtenu dans le cas d'une imparfaite réverbération (en utilisant des distributions de champ asymptotiques) pour un nombre d'échantillons indépendants identiques (cf Fig. 11 de [4]). Autrement dit, le fait de travailler en régime idéal réduit les incertitudes de mesures.

2. Méthode de détermination de la fréquence minimale de régime « quasi-idéal » (FMRQI)

Compte tenu de la définition d'une CRBM idéale présentée plus haut, cette méthode est donc basée sur 1) l'évaluation du taux de rejet des lois de distribution du champ EM obtenues dans le volume utile en comparaison des lois de distribution prévues par le modèle idéal et 2) l'évaluation du nombre d'échantillons indépendants obtenus sur un tour de brasseur.

Tout d'abord, il est important de préciser que la méthode requiert la collecte de la même quantité de mesures que la méthode décrite par les normes pour évaluer la LUF. Ainsi, le module de chaque composante rectangulaire $|E_R|$ du champ électrique doit être mesuré sur X (généralement X=8 ou 9) points de champ appartenant au volume utile pour N (généralement N=50 ou 60) positions du brasseur de modes équitablement réparties.

L'évaluation des lois de distribution du champ EM obtenues dans le volume utile est réalisée pour chaque fréquence d'intérêt à l'aide du test d'Anderson-Darling, le test d'ajustement à une loi de probabilité le plus adapté [4] à l'analyse des lois de distribution du champ EM en CRBM. Ce test est utilisé afin de valider l'hypothèse selon laquelle le module de chaque composante rectangulaire du champ électrique obtenu en un point pour les N positions de brasseur suit une distribution de Rayleigh (aussi appelée distribution du χ à 2 degrés de liberté) décrite par le modèle idéal [1]. Un taux de rejet correspondant au ratio entre le nombre de tests rejetés et le nombre total de tests (égal à $3 \cdot X$, le facteur 3 correspondant aux 3 composantes de champ) peut alors être calculé. Une première fréquence limite f_1 est alors définie comme la fréquence minimale à partir de laquelle le taux de rejet devient inférieur à 50%.

L'évaluation du nombre d'échantillons indépendants obtenus sur une révolution du brasseur est basée sur l'étude de la corrélation des échantillons, ce qui est déjà préconisé par les normes en vigueur. Cependant, alors que la norme propose une valeur limite de 0,37 au-dessus de laquelle les échantillons sont considérés comme corrélés, la méthode utilise la démarche proposée dans [6] permettant de définir une valeur limite en fonction du nombre d'échantillons considérés. La méthode requiert donc le calcul pour chaque fréquence d'intérêt du coefficient d'autocorrélation obtenu à l'ordre 1 sur les N modules d'une composante rectangulaire du champ électrique obtenus en 1 point pour les N positions de brasseur. Afin de filtrer les fluctuations obtenues pour chaque série de données, la moyenne du coefficient d'autocorrélation est alors calculée à chaque fréquence. Une deuxième fréquence limite f_2 est alors définie comme la fréquence minimale à partir de laquelle la moyenne du coefficient d'autocorrélation obtenue est inférieure à la valeur limite calculée par [6] (par exemple 0,28 pour N=50 avec un niveau de confiance de 95%).

La FMRQI est alors obtenue en prenant la valeur maximale entre f_1 et f_2 .

3. Résultats obtenus

Les essais ont été réalisés dans la CRBM du laboratoire XLIM dont les dimensions sont les suivantes : longueur=3.57 m, largeur=2.45 m et hauteur=2.46 m (correspondant à un volume total de 21,5 m³). En considérant ces dimensions, la fréquence de résonance fondamentale de la cavité peut être évaluée théoriquement autour de 65 MHz.

Le brasseur de modes, utilisé pour 50 positions différentes, contient 8 plaques métalliques rectangulaires de longueur 60 cm et de largeur 40 cm. Pour ce brasseur et dans le cas où aucun absorbant n'est introduit dans la chambre réverbérante, celle-ci respecte le gabarit de champ à partir d'environ 200 MHz.

La FMRQI d'une CRBM peut être réduite significativement grâce à l'insertion d'une « quantité d'absorbants optimale » placée à distance du volume utile (cf Figure 1). Par exemple, l'ajout de 3 ou 6 pyramides absorbantes permet d'abaisser la FMRQI de 20%, celle-ci passant de 500 MHz pour la CRBM sans absorbants à 400 MHz. Cette quantité d'absorbants étant relativement faible, le coefficient de qualité reste de forte valeur. Ainsi, des niveaux de champ EM élevés peuvent toujours être obtenus, y compris dans le cas où la puissance injectée par la source est modérée. Ces résultats sont dus à la forte diminution du taux de rejet des lois de distribution du champ EM obtenue après avoir inséré une faible quantité d'absorbants dans la CRBM (le nombre d'échantillons indépendants obtenus étant alors légèrement réduit).

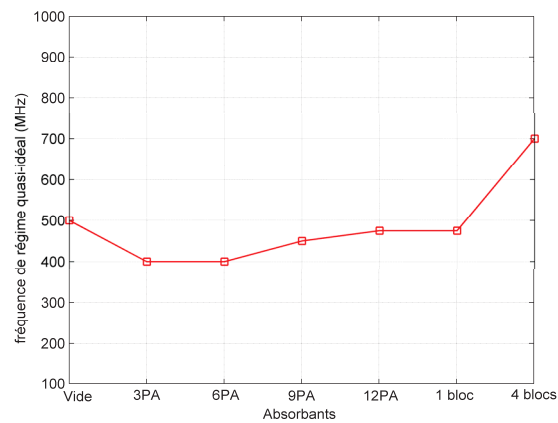


Fig. 1 – FMRQI obtenue en fonction de la quantité d’absorbants insérés dans la CRBM du laboratoire XLIM (PA signifie pyramides absorbantes – les blocs d’absorbants contenant chacun 36 PA)

Ensuite, la FMRQI a été déterminée (cf Tableau 1) pour différentes géométries du brasseur de modes pour la CRBM chargée par différentes quantités d’absorbants. 3 autres brasseurs de modes composés respectivement de 2, 4 et 6 plaques métalliques du brasseur de référence ont été utilisés.

Tableau 1 – FMRQI obtenue en fonction de la géométrie du brasseur pour différentes quantités d’absorbants insérés dans la CRBM du laboratoire XLIM

QIRCF (MHz)	Nombre de plaques métalliques du brasseur de modes			
	2	4	6	8
Pas d’absorbants	550	625	625	500
6 PA	600			400
1 bloc de 36 PA	875			475
4 blocs de 36 PA	X			750

L’augmentation de la complexité de la géométrie du brasseur de modes permet également d’abaisser significativement la FMRQI surtout lorsque la CRBM travaille à son facteur de qualité optimal. Ces résultats s’expliquent par la forte augmentation du nombre d’échantillons indépendants obtenus lorsque le brasseur a une géométrie plus complexe, celle-ci étant par contre sans influence sur les lois de distributions du champ EM obtenues lorsque la CRBM travaille à un fort coefficient de qualité.

4. Conclusion

Cette communication présente une méthode, nécessitant la même quantité de mesures que les procédures d’étalonnage indiquée dans les normes de référence [2]-[3], permettant de définir la fréquence minimale à partir de laquelle une CRBM peut être considérée comme fonctionnant en régime « quasi-idéal ».

De nombreux exemples d’applications de la méthode ont d’ores et déjà été identifiés :

- comparer les performances de différentes CRBM existantes à partir de résultats expérimentaux;
- optimiser à l’aide de simulations numériques la géométrie d’un brasseur de modes d’une future CRBM;
- comparer la « qualité » du champ EM dans le cas du brassage mécanique et du brassage électronique.

Références bibliographiques

- [1] D.A. Hill, “Plane wave integral representation for fields in reverberation chambers”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 40, n°3, pp. 209-217, Aug. 1998.
- [2] *Reverberation Chamber Test Methods*, Int. Electrotech. Commiss. Standard IEC 61000-4-21:2011, Jan. 2011.
- [3] *Environmental conditions and test procedures for airborne equipments*, Standard RTCA/DO-160 / ED 14, Dec. 2010.
- [4] C. Lemoine, P. Besnier, M. Drissi, “Investigation of reverberation chamber measurements through high-power goodness-of-fit tests”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 49, no. 4, pp. 745-755, Nov. 2007.
- [5] H. G. Krauthauser, “Number of samples required to meet a field inhomogeneity limit with given confidence in reverberation chambers”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 54, no. 5, pp. 968-975, Oct. 2012.
- [6] O. Lünden, M. Bäckström, “Stirrer efficiency in FOA reverberation chambers. Evaluation of correlation coefficients and chi-squared tests”, *Proceedings of the IEEE Int. Symposium on EMC*, Washington D.C, vol. 1, pp. 11-16, Aug. 2000.