



HAL
open science

Visualisation optique directe de phénomènes de propagation en chambre réverbérante à brassage de mode

Jean Rioult, Marc Heddebaut, Virginie Deniau, Lamine Kone, Grégoire Copin

► **To cite this version:**

Jean Rioult, Marc Heddebaut, Virginie Deniau, Lamine Kone, Grégoire Copin. Visualisation optique directe de phénomènes de propagation en chambre réverbérante à brassage de mode. 18ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité Électromagnétique (CEM 2016), Jul 2016, Rennes, France. 4p. hal-01374211

HAL Id: hal-01374211

<https://hal.science/hal-01374211v1>

Submitted on 30 Sep 2016

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.

VISUALISATION OPTIQUE DIRECTE DE PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION EN CHAMBRE REVERBERANTE A BRASSAGE DE MODES

J. Rioult¹, M. Heddebaut¹, V. Deniau¹, L. Koné², G. Copin³

IFSTTAR, 20 rue Elisée Reclus 59666 Villeneuve d'Ascq, jean.rioult@ifsttar.fr

IEMN/TELICE Bat P3, 59655 Villeneuve d'Ascq, lamine.kone@univ-lille1.fr

LUXONDES, Ruche des 2 Lys, Av. de l'Europe 59280 Armentières, contact@luxondes.com

Résumé. Une méthode permettant la visualisation directe de phénomènes de propagation dans une CRBM est proposée. Cette méthode exploite une rampe fixe de capteurs électro optiques mis en fonctionnement dans une CRBM et observés continuellement lors de balayages en fréquence ou de rotations du brasseur de modes. Chacun de ces capteurs effectue une conversion directe entre la puissance reçue par une antenne électrique élémentaire équipant ce capteur et une énergie lumineuse émise depuis ce capteur dont la couleur varie en relation directe avec la puissance reçue par l'antenne. Une présentation de la méthode est effectuée puis sa mise en œuvre en CRBM et son calibrage sont exposés. Des résultats expérimentaux visualisant directement l'évolution des caractéristiques de modes de résonance en fonction de la fréquence ou de la charge absorbante apportée dans la chambre ou encore de l'indépendance des mesures en fonction de la position du brasseur sont fournis.

I. INTRODUCTION

L'observation directe du rayonnement électromagnétique d'un équipement sous test constitue un développement scientifique et technique qui présente un intérêt certain pour la bonne compréhension et l'interprétation physique de phénomènes de propagation électromagnétique [1]. Nous proposons dans cette conférence de nous intéresser au cas particulier de la chambre réverbérante à brassage de modes et de tenter d'observer certains phénomènes largement analysés sur les plans théoriques et expérimentaux depuis quelques années [2] [3] par une méthode d'observation optique directe.

II. DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Une rampe de capteurs électro optiques est installée verticalement dans la CRBM en une position fixe que nous pourrions faire évoluer : dans la zone de test, près des parois... La rampe de mesure employée lors de nos travaux comporte vingt capteurs identiques fonctionnant dans la gamme 40 MHz à 3 GHz et constitués chacun d'une antenne que nous décrirons plus en détail au paragraphe suivant, d'un amplificateur-détecteur logarithmique alimentant une puissante diode led RVB commandée par le signal de sortie du détecteur. Un appareil photographique est également disposé dans la

CRBM. Un dispositif d'orientation commande sa rotation dans un plan horizontal sur 90° de manière à toujours maintenir la rampe de capteurs dans son champ. La figure 1 présente ce dispositif.

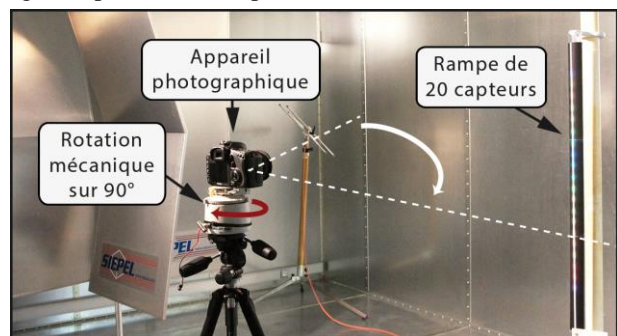


Figure 1 : Dispositif de mesure installé en CRBM

Le temps de pause de l'appareil photo et son temps de rotation sur 90° sont identiques, de l'ordre de 15s lors de nos essais. Nous ferons coïncider cette durée fixe avec un autre paramètre physique directement lié au fonctionnement de la CRBM et synchroniserons ces opérations. Nous exploiterons successivement une incrémentation progressive de la puissance aux fins de calibrage, un balayage en fréquence puis, une rotation du brasseur de modes effectuée jusqu'à un tour complet afin de restituer les phénomènes physiques souhaités. La CRBM est ensuite fermée, plongée dans le noir et nous démarrons une acquisition. Nous obtenons à la fin du temps de pause une image présentant une définition de 20 lignes horizontales correspondant aux 20 capteurs utilisés, image dont le balayage de gauche à droite représente le suivi continu des puissances reçues par ces capteurs en fonction du paramètre de mesure sélectionné (puissance émise, fréquence, position du brasseur...). Avec cette méthode et ce dispositif, nous pouvons désormais observer rapidement et directement l'évolution de nos signaux selon différentes conditions opératoires.

III. RAMPE DE CAPTEURS

Ainsi qu'indiqué précédemment, chaque capteur élémentaire est constitué d'une antenne, d'un détecteur large bande et d'une diode LED RVB. Une vue d'un capteur élémentaire réalisé par conception assistée par ordinateur est fournie figure 2. Chaque capteur est réalisé

sur un circuit d'une surface totale de 45 x 45 mm. Ces capteurs sont empilés dans le sens de la hauteur et maintenus espacés dans la rampe d'une distance centre à centre de 50 mm.

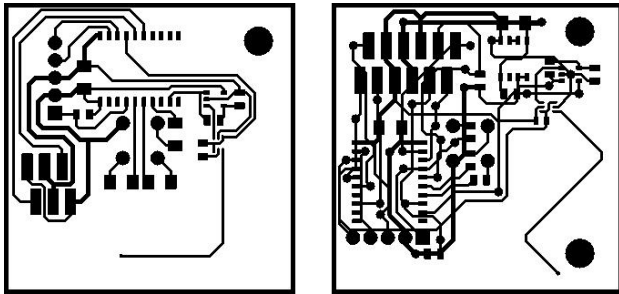


Figure 2 : Capteur élémentaire et antennes associées

Le capteur peut être réalisé avec différents types d'antennes. Deux réalisations sont présentées figure 2. Elles possèdent toutes un développement total voisin de 30 mm de long et s'avèrent de ce fait courtes vis-à-vis de fréquences maximales envisagées. Leurs efficacités dépendent de la fréquence. La vue de la figure 3-gauche représente l'utilisation d'une antenne en forme de L tentant de mettre en évidence des signaux selon deux polarisations orthogonales. L'antenne présentée figure 3-droite se propose de mieux répondre à une polarisation verticale des signaux incidents lorsque la rampe de capteurs est disposée verticalement.

III.1. Couplage entre antennes

Afin d'évaluer le couplage existant le long de la rampe de capteurs, entre deux antennes voisines, une approche expérimentale a consisté à monter trois de ces éléments rayonnants en forme de L, notés A, B et C alignés et centrés au-dessus d'un plan métallique de grande taille en les soudant sur des embases SMA. Les antennes sont espacées d'une distance de 50 mm l'une de l'autre, à l'image de la rampe de capteurs réalisée. À l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel préalablement calibré dans la bande d'utilisation entre 50 MHz et 3 GHz, des mesures de paramètres S_{ij} sont pratiquées depuis ces trois antennes. Nous obtenons les résultats présentés figure 3.

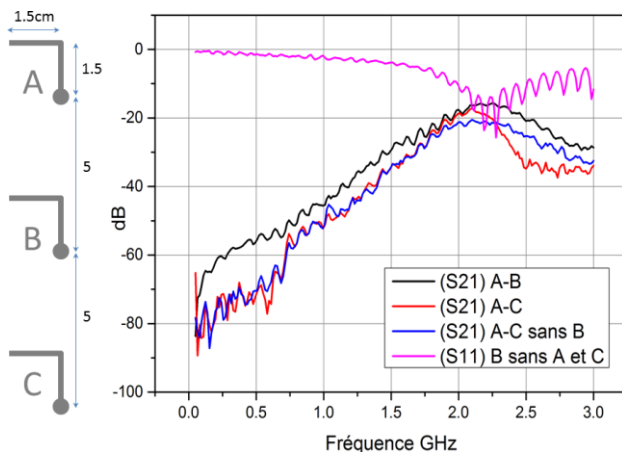


Figure 3 : Mesure de paramètres S_{ij} entre antennes

La courbe rose présente la mesure de S_{11} pratiquée sur une seule antenne. Une adaptation apparaît centrée sur 2,2 GHz. La courbe noire représente la mesure du paramètre S_{21} entre deux antennes espacées de 5 cm, celle de couleur rouge entre deux antennes espacées de 10 cm, en présence d'une antenne intermédiaire non chargée, et celle de couleur bleue entre deux antennes espacées de 10 cm sans antenne intermédiaire. Nous obtenons logiquement que le couplage croît avec la fréquence et l'efficacité de l'antenne pour atteindre une valeur maximale de -18 dB vers 2,2 GHz. Le découplage entre antennes augmente avec l'espacement inter antennes cependant que la présence d'une antenne intermédiaire augmente le découplage entre antennes disposées de part et d'autre à partir de 2 GHz et d'une adaptation suffisante des antennes. Afin d'obtenir un découplage plus important entre antennes, spécialement en haute fréquence, certaines techniques abritant chacun des capteurs dans une mousse absorbante dégageant la face avant pourrait être employée.

IV. CALIBRAGE DE LA RAMPE DE CAPTEURS

Afin de procéder au calibrage de l'équipement de mesure, nous observons la sortie optique de la rampe de capteurs pour une position du brasseur fixe donnée quelconque. Nous faisons varier progressivement en fonction du temps la puissance émise dans l'antenne d'émission équipant la CRBM. Nous cherchons ainsi la relation existante entre la puissance émise et la couleur générée par chacun des capteurs. En fonction de la variation de puissance émise, nous observons les couleurs restituées, du bleu pâle pour une puissance émise nulle au rouge vif, pour la puissance maximale, voire au blanc lorsque nous sommes en saturation d'un capteur. La figure 4 présente le résultat d'un essai mené à 125 MHz volontairement choisie inférieure à la fréquence basse utilisable dans cette CRBM. La puissance émise varie de -5 dBm à +15 dBm. La source est ensuite interrompue.

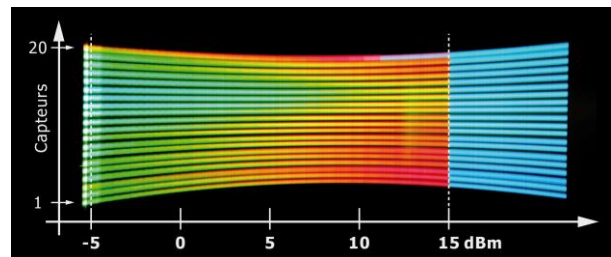


Figure 4 : Calibrage en CRBM de la rampe de capteurs

En observant cette figure 2 de gauche à droite, nous obtenons sur les 20 lignes que les couleurs restituées par les capteurs évoluent progressivement du bleu clair au rouge foncé, introduisant un dégradé de couleurs représentatif de cette dynamique de puissance émise de 20 dB. Cette dynamique a été choisie préalablement par les paramètres gain et seuil communs à tous les détecteurs de la rampe ; une autre dynamique de mesure peut être sélectionnée, selon le souhait de l'opérateur. Dans la

dernière partie droite de cette figure, l'émetteur est arrêté et tous les afficheurs restituent un bleu pâle constant préréglé afin de correspondre à une absence de signal détecté. Etant donnée la fréquence utilisée, la géométrie de la CRBM et la position constante du brasseur, tous les capteurs de la rampe ne reçoivent pas la même puissance et restituent de ce fait des couleurs différentes selon la ligne observée.

V. OBSERVATIONS

Nous fournissons dans ce paragraphe quelques exemples de résultats significatifs obtenus avec la méthode proposée. Nous augmenterons progressivement la fréquence d'émission du signal continu émis dans la CRBM afin d'illustrer quelques résultats bien établis [4].

V.1. Premières fréquences de résonance

Dans une première expérience, lors du temps de pause de l'appareil photographique, un balayage en fréquence est effectué de 40 MHz à 100 MHz. Nous injectons une puissance de 10 dBm. Nous obtenons les résultats présentés figure 5.

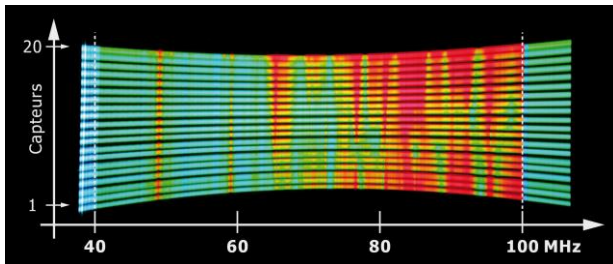


Figure 5 : Les premières fréquences de résonance

La première fréquence de résonance de la CRBM utilisée se situe à 45,5 MHz. Nous la retrouvons aisément sur notre observation. Quelques fréquences supérieures à des modes pour lesquels un minimum de puissance détectée apparaît au centre de la rampe. Un balayage en fréquence centré sur celle-ci pourrait aider à les discerner, voire à observer leurs étalements en fonction de la charge introduite dans la CRBM. Un enregistrement similaire est ensuite effectué en déplaçant la rampe de capteurs depuis une position initiale de la rampe de capteurs dans la zone utile de la CRBM vers une paroi métallique de façon à la disposer au plus près de la paroi. Nous obtenons les résultats de la figure 6.

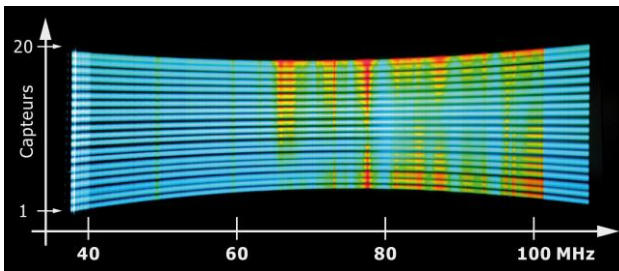


Figure 6 : Observation des premières fréquences de résonance à proximité d'une paroi

Les premières fréquences de résonance subsistent mais les signaux enregistrés sont logiquement de plus faible amplitude à cet emplacement.

V.2. Influence de la présence d'absorbants

La rampe de capteurs est maintenant replacée dans la zone de test de la CRBM. Cette fois, lors du temps de pause, la fréquence est maintenue constante mais nous effectuons une rotation complète du brasseur de modes. À 250 MHz et pour 10 dBm de puissance émise, nous obtenons le résultat de la figure 7 pour cette position de la rampe.

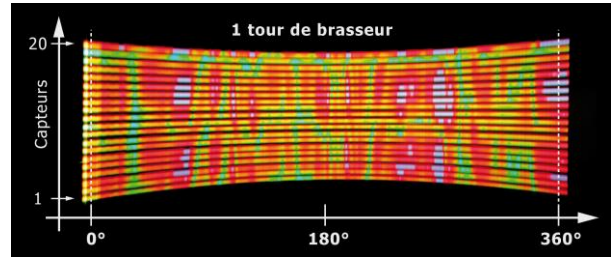


Figure 7 : Mesure à 250 MHz - CRBM non chargée

Figure 8 nous proposons le résultat obtenu toujours à 250 MHz mais après avoir disposé six blocs d'absorbants pyramidaux de 50 cm de côté posés au centre de la CRBM apportant ainsi une forte charge.

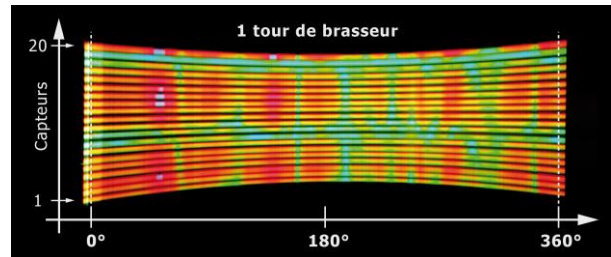


Figure 8 : Mesure à 250 MHz - CRBM chargée

De l'observation de ces figures 7 et 8, nous vérifions aisément l'augmentation de la largeur des modes liée à la présence des charges. Nous obtenons ainsi que sur de longues plages de rotation du brasseur les puissances reçues par les capteurs restent pratiquement constants.

Nous retirons maintenant les absorbants disposés dans la CRBM et, de la même façon que lors de la section V.1 précédente nous disposons la rampe de capteurs à proximité immédiate des parois. Nous obtenons le résultat présenté figure 9.

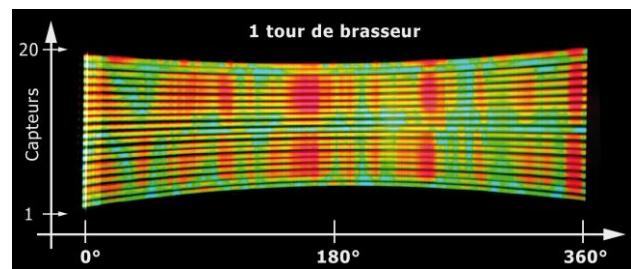


Figure 9 : Mesure à 250 MHz - Rampe de capteurs à proximité de la paroi métallique

Ce résultat est donc à comparer à celui présenté figure 7. Nous observons qualitativement un nombre de motifs élémentaires plus réduit.

V.3. Expérimentation à plus haute fréquence

Replaçant la rampe de capteurs dans la zone de test, nous continuons notre exploration en fréquence et pratiquons cette fois une expérience à 1 GHz, en exploitant une puissance de 10 dBm, toujours selon un tour de brasseur de modes. Le résultat est présenté figure 10.

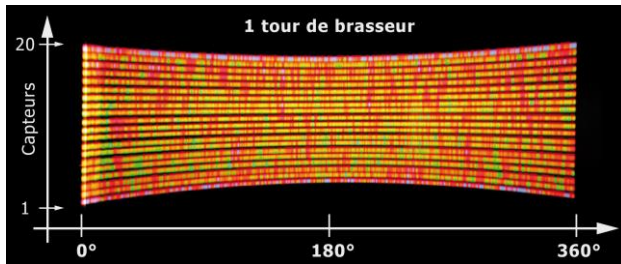


Figure 10 : Mesure à 1 GHz

La multiplicité de modes attendue est bien présente et l'on observe des variations très rapides de niveau à la fois sur l'axe des x, lorsque le brasseur évolue et sur l'axe des y correspondant aux positions verticales successives de capteurs.

VI. EXTENSION DU DISPOSITIF

Le dispositif présenté tire parti du grand nombre de points d'acquisition disponible actuellement accessible depuis un appareil photographique. Cependant, le dispositif tel que présenté ne permet pas de synchronisation externe, ce qui peut s'avérer une difficulté dans la réalisation de certaines mesures. Afin de pallier cette difficulté, une caméra ligne peut être employée permettant des cadences d'acquisition élevées, jusqu'à 18 kHz avec les équipements actuels. La synchronisation par un signal de commande extérieur est alors possible. A titre d'exemple, l'acquisition peut être déclenchée après des rotations successives du brasseur d'un angle déterminé et stabilisation mécanique de celui-ci. L'utilisation d'une telle caméra a été expérimentée et la figure 11 présente le dispositif réalisé, la caméra ligne visant la rampe de capteurs.

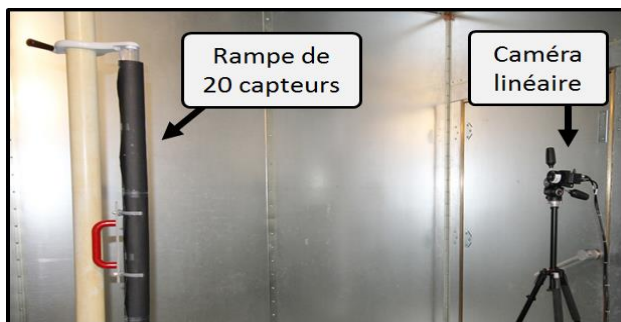


Figure 11 : Expérimentation avec caméra linéaire

Nous obtenons des résultats similaires à ceux obtenus avec l'appareil photographique et, pour conclure ce

document, nous proposons figure 12 une visualisation des signaux que nous pouvons obtenir en exploitant non pas un signal CW habituel en CRBM mais un signal à 250 MHz (10 dBm) modulé en tout ou rien avec une cadence de 10 Hz.

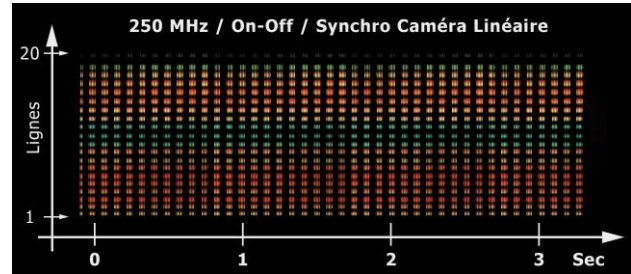


Figure 12 : Mesure à 250 MHz

Nous observons les phénomènes présentés précédemment auxquels se superposent également la présence ou l'absence de signal correspondant à la modulation tout ou rien employée.

VII. CONCLUSION

Nous avons présenté une méthode permettant la visualisation directe de phénomènes de propagation dans une CRBM. Celle-ci exploite une rampe fixe composée de plusieurs capteurs électro optiques. Le procédé permet d'effectuer rapidement un grand nombre de mesures qu'une approche point par point rendrait fastidieuse. Afin d'effectuer une présentation du potentiel de visualisation associé nous avons présenté plusieurs résultats d'expérimentations illustrant quelques résultats bien établis tels que ceux liés à l'évolution des caractéristiques de modes de résonance en fonction de la fréquence ou de la charge absorbante apportée dans la chambre. Une évolution du dispositif exploitant non plus un appareil photographique mais une caméra ligne est également présentée. Cette évolution permet en outre la synchronisation de l'acquisition.

RÉFÉRENCES

- [1] <http://ciid.dk/education/portfolio/idp13/courses/experimental-imaging/projects/visualising-electromagnetic-fields/>
- [2] K. Selemeni, E. Richalot, O. Picon, O. Legrand, F. Mortessagne, "Phénomènes de localisation d'énergie en chambre réverbérante 17eme Colloque International et Exposition sur la Compatibilité ElectroMagnétique
- [3] J. Clegg, A. Marvin, J. Dawson, and S. Porter, "Optimization of stirrer designs in a reverberation chamber," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 47, no. 4, pp. 824–832, 2005.
- [4] D. A. Hill, Electromagnetic fields in cavities: deterministic and statistical theories, vol. 35. John Wiley & Sons, 2009.