



HAL
open science

Impact du brasseur de modes dans la mesure de Surface Équivalente Radar en Chambre Réverbérante

Ariston Reis, François Sarrazin, Elodie Richalot, Philippe Pouliguen

► **To cite this version:**

Ariston Reis, François Sarrazin, Elodie Richalot, Philippe Pouliguen. Impact du brasseur de modes dans la mesure de Surface Équivalente Radar en Chambre Réverbérante. 21èmes Journées Nationales Microondes, May 2019, Caen, France. hal-02135036

HAL Id: hal-02135036

<https://hal.science/hal-02135036>

Submitted on 20 May 2019

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.

Impact du brasseur de modes dans la mesure de Surface Équivalente Radar en Chambre Réverbérante

Ariston Reis¹, François Sarrazin¹, Elodie Richalot¹, Philippe Pouliguen²

¹ Université Paris-Est, ESYCOM (CNRS), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM F-77454 Marne-la-Vallée, France

² Direction de la Stratégie, Direction Générale de l'Armement (DGA) Paris 75509, France
ariston.defreitastavaresdosreis@u-pem.fr

Résumé – Cet article présente la mesure de la Surface Équivalente Radar d'une plaque métallique en Chambre Réverbérante à Brassage de Modes. Les résultats montrent que la mesure dépend fortement de l'environnement et en particulier de la position du brasseur de modes. Une méthode fondée sur l'utilisation d'une valeur moyennée sur un tour de brasseur est développée, permettant une amélioration sensible de la précision de l'extraction de la SER comparée aux données issues de la simulation.

1. Introduction

La Surface Équivalente Radar (SER) est un paramètre couramment utilisé pour décrire la diffusion d'un objet. Celle-ci présente un intérêt pour une large gamme d'applications, notamment l'optimisation de la furtivité, la détection radar, l'interrogation RFID [1] et la caractérisation d'antennes [2]. La SER est généralement obtenue grâce à la mesure du coefficient de réflexion S_{11} réalisée en chambre anéchoïque (CA). Récemment, les Chambres Réverbérantes à Brassage de Modes (CRBMs) ont été proposées comme nouvel environnement pour mesurer la SER d'objets métalliques. La méthode présente l'avantage d'utiliser une configuration de mesure moins chère que la mesure en CA classique. Alors que le champ incident statistiquement uniforme et isotrope à l'intérieur du volume utile de la CRBM est adapté à l'obtention de la Surface Équivalente d'Absorption [3], la récupération de la SER pour la configuration monostatique ou bistatique dans la CRBM n'est pas aussi évidente. Dans [4], les auteurs proposent une nouvelle approche pour extraire la SER en CRBM. Le principe de mesure repose sur l'extraction de l'onde balistique (trajet direct entre l'antenne et la cible) rétrodiffusée par la cible. La mesure de la SER se fait en deux étapes : la mesure du coefficient de réflexion de l'antenne avec et sans la cible. La différence entre les coefficients de réflexion mesurés avec et sans cible permet de remonter à la SER de la cible par un processus de régression. La précision de la SER obtenue avec cette nouvelle approche dépend essentiellement du Rapport Signal à Bruit (RSB). Dans [4], le brasseur de modes a été maintenu dans une position fixe, tandis que nous suggérons de tirer profit du brasseur de modes, en moyennant les coefficients de réflexion mesurés sur un tour de brasseur, afin d'augmenter le RSB.

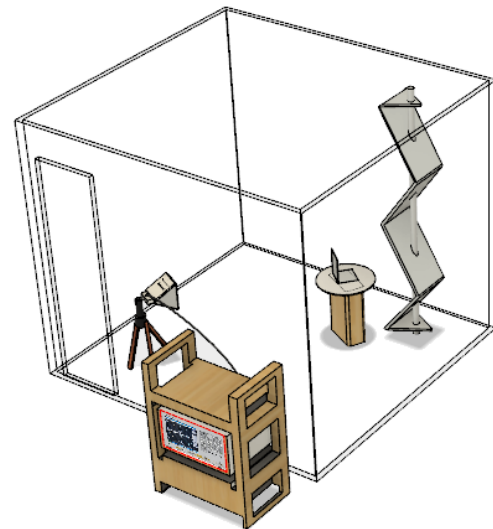


Figure 1. Banc de mesure d'une plaque métallique en CRB

Cet article est structuré comme suit. La section 2 présente les détails du processus de mesure de la SER en CRBM. Ensuite, la procédure d'extraction RCS est exposée dans la section 3. Les résultats des mesures comparés à ceux de la simulation discutés dans la section 4 montrent clairement la contribution du brassage mécanique à la précision des mesures RCS.

2. Processus de mesure de la SER en CRBM

2.a. Configuration de la mesure

Pour cette mesure, l'antenne cornet est placée dans le volume de travail de la CRBM et connectée à l'analyseur de réseau (VNA). La cible (plaque métallique de dimension $20 \times 25 \text{ cm}^2$) est positionnée à une distance $R = 2,29 \text{ m}$ de l'antenne, et centrée à la même hauteur que l'antenne (Figure 1). La bande de fréquence choisie pour cette mesure est de $6 \text{ GHz} - 6,4 \text{ GHz}$, donc la distance R est suffisamment grande pour considérer l'onde balistique comme sphérique au niveau de la cible. La fréquence considérée est très haute comparée à la fréquence minimale de l'utilisation de la CRBM (autour de 400 MHz), de sorte que le champ magnétique à l'intérieur de la cavité peut être considéré comme homogène et isotrope.

La SER de la cible est évaluée dans le plan azimutal, entre +/-30° par pas de 1° autour de la position associée au maximum de rétrodiffusion. Pour chaque angle de la cible, nous faisons tourner le brasseur de 0° à 360° avec un pas de 30° et effectuons une mesure du coefficient de réflexion.

2.b. Mesure à vide en CRBM

Pendant cette mesure sans la cible (mais conservant le support de la cible), la CRBM est excitée par l'antenne cornet à la fréquence f_0 dans bande de fréquence 6 – 6,4 GHz. L'objectif de cette première mesure est de déterminer la réponse propre de la chambre. Par conséquent, le coefficient de réflexion $S(f_0)$ est mesuré par le VNA (une fois calibré au niveau du connecteur de l'antenne), sur un tour de brasseur (avec un pas de 30°). Il peut être exprimé comme suit [5] :

$$S(f_0) = S_{EL}(f_0) + (1 - |S_{EL}(f_0)|^2)H(f_0)\eta_{ant} \quad (1)$$

Dans cette équation, le terme $S_{EL}(f_0)$ représente le coefficient de réflexion de l'antenne en espace libre (il peut être déduit en calculant la moyenne du coefficient de réflexion sur un tour de brasseur dans la CRBM à vide). Le second terme est composé de l'expression $(1 - |S_{EL}(f_0)|^2)$ qui représente des pertes dues à la désadaptation de l'antenne, de l'efficacité du rayonnement de l'antenne η_{ant} qui correspond aux pertes liées à la performance de l'antenne, et de $H(f_0)$ qui représente la fonction de transfert de la chambre à l'emplacement de l'antenne et est censé suivre une loi Gaussienne normale standard, en fonction de la fréquence ainsi que la position du brasseur dans une chambre qui fonctionne bien.

2.c. Mesure de la rétrodiffusion de la cible

Les mesures sont ensuite effectuées après l'insertion de la cible. Pour chaque angle de la cible, le coefficient de réflexion est mesuré sur un tour de brasseur (avec un pas de 30°). Lorsque la chambre est chargée par la cible, l'équation précédente du coefficient de réflexion est modifiée avec l'apparition du terme $C(f_0)\sqrt{\sigma^c(f_0)}$:

$$S^c(f_0) = S_{EL}(f_0) + C(f_0)\sqrt{\sigma^c(f_0)} + (1 - |S_{EL}(f_0)|^2)H^c(f_0)\eta_{ant} \quad (2)$$

Ce terme additionnel représente la rétrodiffusion de l'onde balistique par la cible vers l'antenne. En particulier, la grandeur complexe $C(f_0)$ décrit la propagation de l'onde sur le trajet aller-retour entre l'antenne et la cible à la fréquence f_0 . Le terme σ^c symbolise la Surface Equivalente Radar de la cible à la même fréquence f_0 . En tenant compte la distance entre l'antenne et la cible, l'amplitude de $C(f_0)$ peut être simplifiée comme :

$$|C(f_0)| = \frac{G_{ant}(f_0)\lambda_0}{(4\pi)^{3/2}R^2}(1 - |S_{EL}(f_0)|^2) \quad (3)$$

On remarque que ce terme est proportionnel au gain d'antenne G_{ant} , et inversement proportionnel au carré de la distance R entre l'antenne et la cible.

Comme la dimension de la cible est très petite devant la distance R , la phase est considérée comme constante le long de la cible, ce qui conduit à l'expression simplifiée suivante:

$$C(f_0) = |C(f_0)| \cdot \exp\left(\frac{-j2\pi f_0 2R}{c}\right) \cdot \exp(j\phi_0) \quad (4)$$

Avec ϕ_0 une phase arbitraire constante. La variation de la phase correspond à la propagation de l'onde à la vitesse de la lumière c le long du trajet $2R$ aller-retour entre l'antenne de mesure et la plaque métallique.

2.d. Récupération de la SER

Pour obtenir l'expression qui permet d'extraire la SER, on calcule la différence entre les deux mesures précédentes :

$$S^c(f_0) - S(f_0) = (1 - |S_{EL}(f_0)|^2)(H^c(f_0) - H(f_0))\eta_{ant} + \sqrt{\sigma^c(f_0)} \frac{G_{ant}(f_0)\lambda_0}{(4\pi)^{3/2}R^2}(1 - |S_{EL}(f_0)|^2) \times \exp\left(\frac{-j2\pi f_0 2R}{c}\right) \cdot \exp(j\phi_0) \quad (5)$$

Cette équation (5) représente la différence entre les coefficients de réflexion mesurés avec et sans cible. Elle consiste en deux termes. Le premier est proportionnel à la différence des fonctions de transfert de la chambre pour la mesure avec et sans la cible, $H^c(f_0) - H(f_0)$, supposée être une variable aléatoire centrée. Cette supposition permet d'extraire la SER du deuxième terme, qui contient l'amplitude du signal rétrodiffusé par la cible. Pour extraire cette amplitude, on considère la partie réelle ou imaginaire de (5), qui varie comme une onde sinusoïdale en fonction de la fréquence. Ainsi, nous pouvons écrire:

$$Re(S^c(f_0) - S(f_0)) = \sqrt{\sigma^c(f_0)} \frac{G_{ant}(f_0)\lambda_0}{(4\pi)^{3/2}R^2}(1 - |S_{EL}(f_0)|^2) \times \cos\left(\frac{2\pi f_0 2R}{c} - \phi_0\right) + N(f) \quad (6)$$

Lorsqu'on simplifie cette équation, on obtient :

$$Re(S^c(f_0) - S(f_0)) = A \cos\left(\frac{2\pi f_0 2R}{c} - \phi_0\right) + N(f) \quad (7)$$

Où A représente l'amplitude du signal et est calculé en minimisant l'expression suivante:

$$A \cos\left(\frac{2\pi f_0 2R}{c} - \phi_0\right) - Re(S^c(f_0) - S(f_0)) \quad (8)$$

Une fois l'amplitude du signal trouvée, la SER peut être extraite car les deux grandeurs sont directement liées.

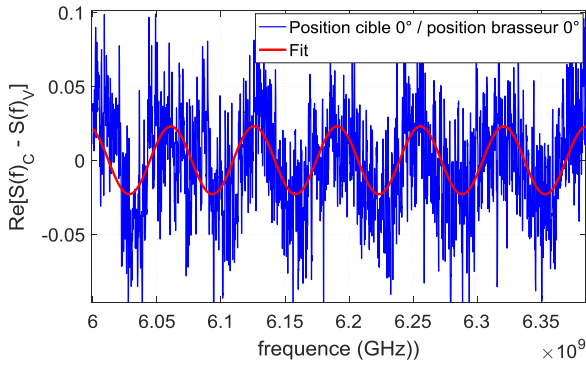


Figure 2. Forme d'onde de la partie réelle de la différence entre les coefficients de réflexion mesurés des cavités chargées et vides, à la position cible 0° et position 0° du brasseur, en fonction de la fréquence.

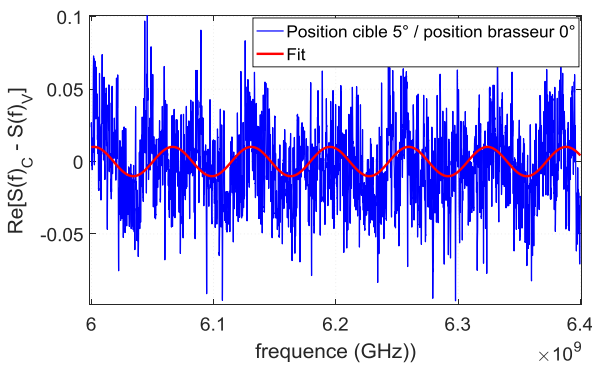


Figure 3. Forme d'onde de la partie réelle de la différence entre les coefficients de réflexion mesurés des cavités chargée et vide, à la position cible 5° et position 0° du brasseur, en fonction de la fréquence.

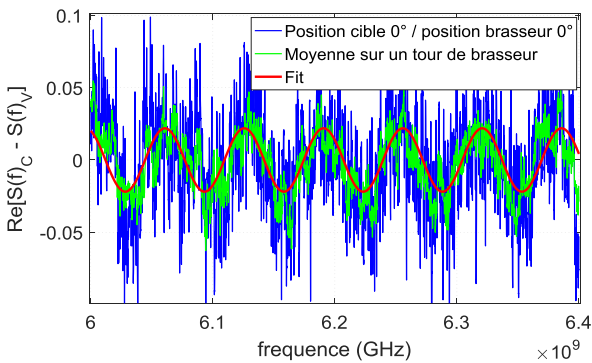


Figure 4. Forme d'onde moyennée sur un tour de brasseur, pour la position 0° de la cible.

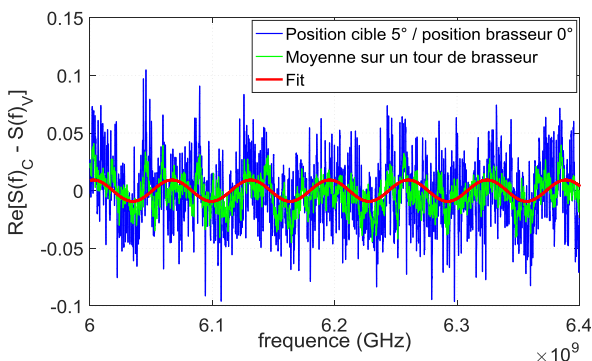


Figure 5. Forme d'onde moyennée sur un tour de brasseur, pour la position 5° de la cible.

3. Résultats

3.e. L'extraction de l'onde balistique rétrodiffusée en fonction de l'angle de la cible

La Figure 2 montre (courbe bleue) la forme d'onde lorsque le vecteur d'onde est normal au plan de la cible (rétrodiffusion maximale) et le brasseur est dans sa position initiale (brasseur à 0°). L'amplitude du signal liée au second terme de (5) peut être extraite (courbe en rouge) malgré le niveau de bruit (lié au premier terme de (5)). L'amplitude du signal liée directement à la rétrodiffusion de la cible, a l'air d'être constante dans la bande de fréquence considérée.

La Figure 3 correspond à la position 5° de la cible, pour lequel la rétrodiffusion de la cible présente une amplitude inférieure en comparaison à la position de la cible précédente (Figure 2). Par conséquent, l'amplitude du signal d'intérêt est plus petite et son extraction devient plus difficile. Le manque de précision dans cette extraction d'amplitude lorsque la SER diminue, sera évident dans la suite de cet article.

3.f. Apport du moyennage sur un tour de brasseur

La Figure 4 montre la moyenne sur un tour de brasseur (courbe verte) de la différence entre les coefficients de réflexion des deux types de mesures, avec et sans la cible. On peut voir que cette technique permet de réduire le bruit associé au premier terme de (5), et améliorer la précision sur l'extraction de l'amplitude.

L'intérêt du signal moyenné augmente pour des positions de la cible liées à une faible SER, car la faible amplitude du champ rétrodiffusé rend difficile son extraction en présence du bruit. Par exemple, pour la position cible de 5° (Figure 5), la forme sinusoïdale du signal d'intérêt apparaît après la moyenne sur un tour de brasseur, ce qui facilite l'extraction de son amplitude.

3.g. Extraction du modèle de la SER

La SER de la plaque métallique a d'abord été extraite pour des positions fixes du brasseur et comparée à celle obtenue par des simulations utilisant le logiciel ANSYS HFSS. Comme aucune mesure de calibrage n'a été faite (en utilisant une cible de référence), les résultats obtenus ont été normalisés de sorte que la valeur maximum de la SER (angle de la cible à 0°) soit égale à sa valeur théorique $\sigma = \frac{4\pi S^2 f^2}{c^2}$ (avec S la surface de la cible et c la vitesse de la lumière).

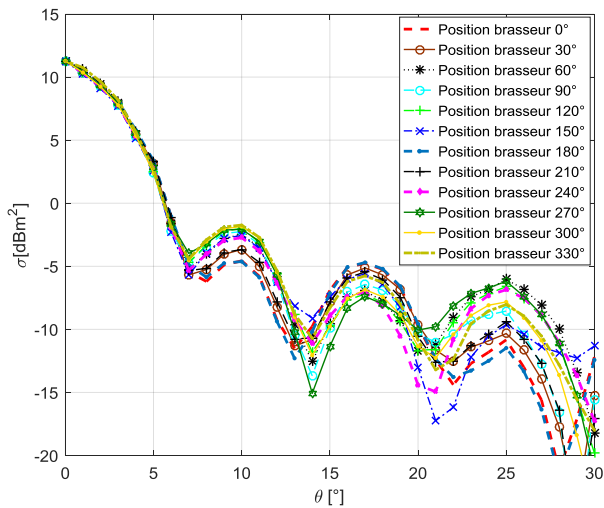


Figure 6. SER extraite des mesures pour toutes les positions de brasseur, à la fréquence 6,2 GHz.

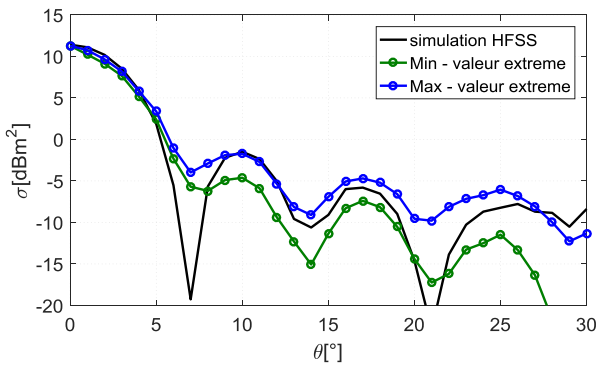


Figure 7. Comparaison entre les valeurs extrêmes de la SER pour toutes les positions du brasseur et la SER simulée sur le logiciel ANSYS HFSS.

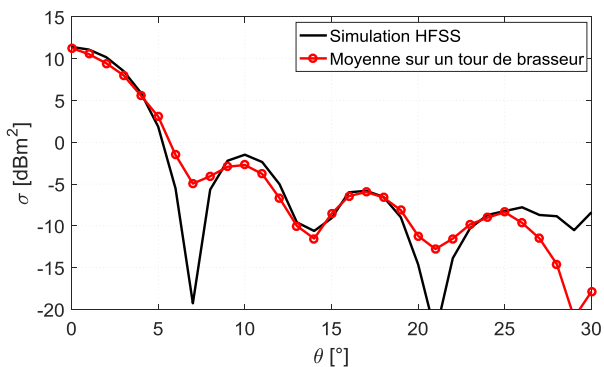


Figure 8. Comparaison entre la SER après le moyennage sur un tour du brasseur et la SER simulée sur le logiciel ANSYS HFSS.

La Fig.6 montre une forte variation de la SER en fonction de l'angle auquel le brasseur est fixé lors de la mesure. Comme attendu, les valeurs maximales de la SER sont obtenues lorsque la cible est orthogonale au trajet direct entre l'antenne et la plaque métallique et à proximité de cette position. Par conséquent, dans cette plage angulaire, l'amplitude de l'onde rétrodiffusée est suffisante pour permettre son extraction avec une bonne précision; ceci explique pourquoi les courbes relatives aux différentes positions du brasseur se superposent pour

$\theta \leq 7^\circ$. Lorsque l'angle de la cible augmente, la SER diminue et devient plus difficile à extraire; l'écart entre les courbes relatives aux différentes positions du brasseur s'écartent. Si on récupère les valeurs extrêmes pour tous les angles du brasseur et on compare avec la SER théorique (Fig.7), on voit que la courbe théorique reste entre les valeurs extrêmes, en dehors des valeurs de SER très basses. Comme indiqué dans la section précédente, le moyennage sur un tour de brasseur permet d'améliorer la précision de l'estimation de la SER. La Fig.8 montre le résultat de cette technique de moyennage, et on voit une meilleure adéquation entre la SER théorique et la SER mesurée.

4. Conclusion

La SER d'une plaque métallique de dimension $20 \times 25 \text{ cm}^2$ a pu être extraite à partir de mesures réalisées en CRBM. La SER a été déterminée en extrayant l'onde balistique entre l'antenne de référence et la cible. La variation angulaire de la SER a été retrouvée, sauf pour des positions de la cible liées à des faibles valeurs de la SER, en bon accord avec la simulation. Cependant, nous avons montré que l'estimation de la SER dépend fortement de la position du brasseur. Ainsi, nous suggérons de tirer profit du brasseur des modes, en moyennant les S_{11} mesurés sur un tour de brasseur, afin d'augmenter le RSB. Ce processus permet d'obtenir un meilleur accord avec la SER simulée.

5. Remerciements

Ce travail a été soutenu financièrement par la Direction Générale de l'Armement (DGA / MRIS).

Références

- [1] P. V. Nikitin, and K. V. S. Rao, «Theory and measurement of backscattering from RFID tags,» IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 48, no. 6, pp. 212-218, Dec. 2006.
- [2] F. Sarrazin, P. Pouliguen, A. Sharaiha, J. Chauveau and P. Potier, «Antenna Physical Poles Extracted From Measured Backscattered Fields,» IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 63, no. 9, pp. 3963-3972, Sept. 2015.
- [3] G. Lerosey, J. de Rosny, «Scattering cross section measurement in reverberation chamber,» IEEE Trans. Electromagn. Compat. vol. 49, no. 2, pp. 280-284, May 2007.
- [4] P. Besnier, J. Sol and S. Meric, «Estimating radar cross-section of canonical targets in reverberation chamber,» 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Angers, 2017, pp. 1-5.