



**HAL**  
open science

# Détermination des Modes Résonants d'une Chambre Réverbérante à Brassage de Modes à l'aide de Matrix Pencil

François Sarrazin, Elodie Richalot

► **To cite this version:**

François Sarrazin, Elodie Richalot. Détermination des Modes Résonants d'une Chambre Réverbérante à Brassage de Modes à l'aide de Matrix Pencil. Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01525547

**HAL Id: hal-01525547**

**<https://hal.science/hal-01525547>**

Submitted on 21 May 2017

**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.

## Détermination des Modes Résonants d'une Chambre Réverbérante à Brassage de Modes à l'aide de Matrix Pencil

F. Sarrazin, E. Richalot

Université Paris-Est, ESYCOM (EA 2552), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM, F-77454 Marne-la-Vallée, France  
francois.sarrazin@u-pem.fr

**Résumé** – Ce papier présente l'extraction des modes résonants d'une Chambre Réverbérante à Brassage de Modes à l'aide de l'algorithme Matrix Pencil (MP). Le nombre de modes extraits par MP étant généralement supérieur au nombre de résonances physiques, l'objectif est de trouver de nouveaux critères permettant de discriminer les modes physiques de la cavité des modes parasites (dus au bruit de mesure). Nous proposons ici de discriminer ces modes en étudiant la stabilité des fréquences de résonance extraites lors de l'application de l'algorithme MP sur une fenêtre temporelle glissante. Nous montrons que ce nouveau critère permet d'éliminer la majorité des modes parasites.

### 1. Introduction

Les Chambres Réverbérantes à Brassage de Modes (CRBMs) sont des moyens de mesure efficaces permettant notamment de tester la Compatibilité Electromagnétique d'un dispositif ou encore de caractériser un système antennaire [1], [2]. Le fonctionnement idéal d'une CRBM est associé à une distribution de champs au sein d'un volume utile statistiquement homogène et isotrope sur une rotation complète de brasseur. Toutefois, ces propriétés ne sont respectées qu'à partir d'une fréquence minimale appelée la Fréquence Minimale Utilisable (ou LUF pour Lowest Usable Frequency). Classiquement, la détermination de la LUF pour une CRBM donnée nécessite une mesure de champs sur un tour de brasseur et en huit positions différentes de l'antenne de réception [3], ce qui implique un temps de mesure conséquent ainsi que l'intervention d'un expérimentateur. De plus, il a été montré que le critère d'homogénéité déduit de cette mesure est très sensible aux positions précises de cette antenne [4].

En vue de réduire le temps de mesure et l'incertitude sur l'estimation de la LUF, un nouveau critère fondé sur l'étude des fréquences de résonance de la CRBM a été proposé [5]. Ce critère est issu de l'étude des cavités chaotiques. Le principe est d'estimer la distribution statistique des écarts fréquentiels entre deux modes adjacents (Figure 1). Pour une cavité classique (intégrable), cette distribution suit une loi de Poisson et il y a donc une majorité de modes très proches les uns des autres (Figure 2a). En revanche, pour une cavité chaotique, la distribution suit une loi de Wigner et la majorité des modes sont donc équidistants (Figure 2b).

Une cavité chaotique assurant donc une bonne uniformité spectrale, le nouveau critère proposé repose sur le respect de la loi de Wigner concernant la distribution des écarts fréquentiels. Il convient alors d'extraire les fréquences de résonance du coefficient de transmission mesuré entre deux antennes placées dans la cavité, une pour exciter les modes la chambre et l'autre dans le volume utile. L'utilisation de deux méthodes d'extraction de ces pôles a été proposée, mais nous avons observé que quelques pôles physiques attendus n'étaient pas extraits pour certaines positions du brasseur de modes.

Dans ce travail, l'algorithme Matrix Pencil (MP) [6] est utilisé afin d'extraire les pôles à partir du coefficient de transmission mesuré. En effet, cette méthode est reconnue comme particulièrement robuste vis-à-vis du bruit [7]. De plus, afin d'extraire la totalité des pôles physiques, nous surestimons le nombre de pôles extraits par l'algorithme MP puis définissons un critère permettant de discriminer les pôles physiques des pôles parasites (liés au bruit de mesure). Ce critère est fondé sur la stabilité des pôles en fonction du temps à l'aide d'une fenêtre temporelle glissante [8].

### 2. Extraction des Modes de la Chambre Réverbérante à Brassage de Modes

#### 2.a. La méthode Matrix Pencil

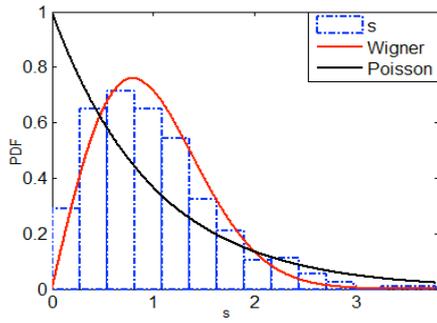
La méthode Matrix Pencil (MP) permet de modéliser un signal temporel comme une somme d'exponentielles tel que

$$y(t) = \sum_{m=1}^M R_m e^{s_m t} \quad (1)$$

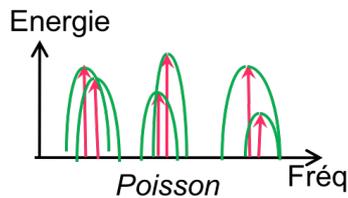
où  $s_m = \alpha_m \pm j\omega_m$  est le  $m^{\text{ième}}$  pôle complexe,  $\alpha_m$  le coefficient d'amortissement négatif,  $\omega_m = 2\pi f_m$  la pulsation de résonance,  $R_m$  le résidu (amplitude complexe) associé au  $m^{\text{ième}}$  pôle et  $M$  le nombre de pôles extraits par la méthode. Les pôles apparaissant en paires complexes conjuguées, seuls ceux à partie imaginaire positive sont présentés dans ce papier.

#### 2.b. Résultats

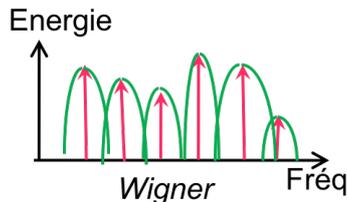
La méthode de post-traitement des mesures est ici présentée pour la première position du brasseur de modes. Ce même traitement a ensuite été effectué pour l'ensemble des positions du brasseur auxquelles des mesures ont été faites. Le coefficient de transmission



**Figure 1. Fonction de densité de probabilité de l'écart fréquentiel entre modes adjacents (simulation) : loi de Poisson et loi de Wigner.**



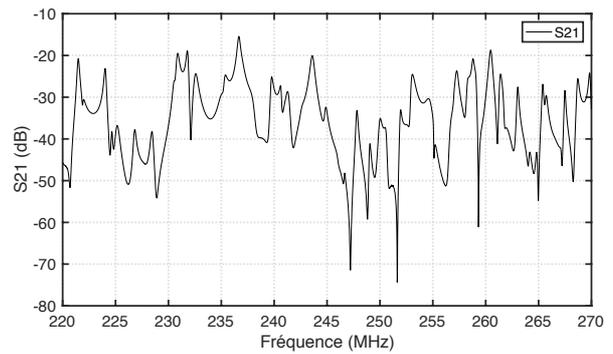
(a) Loi de Poisson (intégrable)



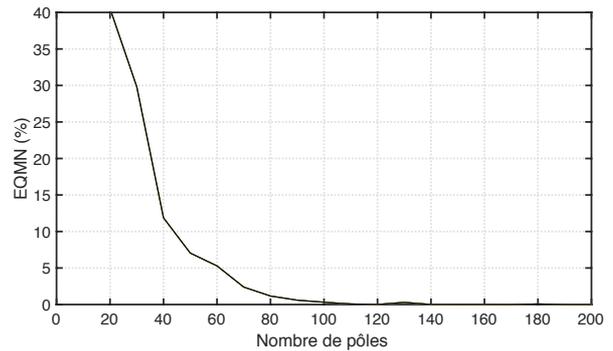
(b) Loi de Wigner (chaotique)

**Figure 2. Représentation schématique de la variation spectrale de l'énergie dans la cavité pour des modes dont les écarts fréquentiels suivent (a) une loi de Poisson et (b) une loi de Wigner.**

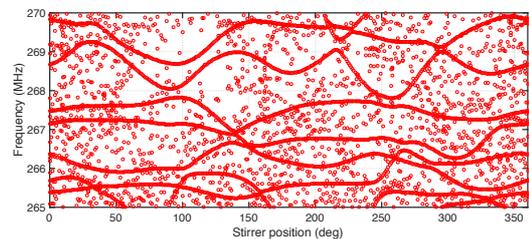
mesuré entre les deux antennes placées dans la CBRM (de dimensions 2,75 m x 2,95 m x 2,35 m) est présenté sur la Figure 3. Nous pouvons constater que le chevauchement modal est important et rend l'extraction des modes délicate. Une IFFT de ce signal est effectuée afin d'obtenir un signal temporel auquel est appliquée la méthode MP. Un degré de liberté de la méthode MP réside dans le nombre de pôles  $M$  à extraire à partir d'un signal donné. Afin de déterminer la valeur appropriée dans notre cas, nous proposons d'étudier l'Erreur Quadratique Moyenne Normalisée (EQMN) entre le signal mesuré et le signal reconstruit en fonction de la valeur de  $M$ . Les résultats sont présentés sur la Figure 4. L'EQMN est inférieure à 1 % dès  $M=100$  et se stabilise sous les 0,01 % à partir de  $M=150$ . C'est donc cette dernière valeur ( $M=150$ ) qui sera utilisée dans la suite de ce papier. En effet, il est préférable de légèrement surestimer ce nombre afin de garantir l'extraction de tous les modes physiques. Les fréquences de résonance des pôles obtenus pour chaque position du brasseur sont présentées sur la Figure 5 pour la bande 265-270 MHz. Nous constatons que certains pôles se suivent d'une position de brasseur à la position suivante (fréquences des pôles très proches). Ceci est cohérent avec la théorie et ces pôles sont donc considérés comme physiques.



**Figure 3. S21 en dB mesuré dans la CBRM dans la bande 220-270 MHz.**

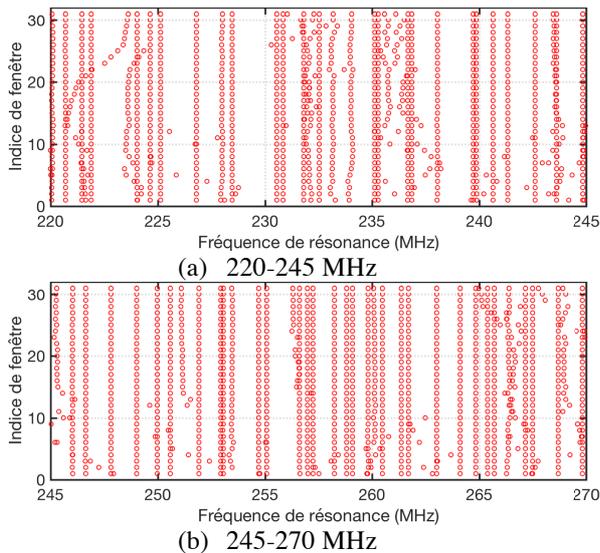


**Figure 4. Erreur Quadratique Moyenne Normalisée en pourcentage en fonction du nombre de pôles extraits ( $M$ ).**

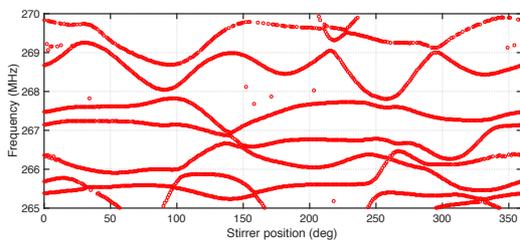


**Figure 5. Fréquences de résonance des pôles en fonction de la position du brasseur (sans tri).**

En revanche, d'autres pôles apparaissent aléatoirement pour certaines positions de brasseur. Ces pôles n'ont pas de signification physique et sont donc considérés comme parasites. En effet, ils sont dus au bruit de mesure. Dans un deuxième temps, il est donc nécessaire de discriminer les pôles physiques des pôles parasites. En effet, un pôle parasite conservé fausserait la distribution des écarts fréquentiels et donc l'évaluation du critère. Pour cela, nous proposons d'étudier la stabilité de ces pôles dans le temps. L'idée est donc d'appliquer la méthode MP sur une fenêtre temporelle définie puis de décaler légèrement cette fenêtre (de quelques échantillons) et d'appliquer à nouveau la méthode MP. Ce couple décalage/extraction est réalisé 31 fois dans notre exemple. Chaque fenêtre contient la majeure partie du signal (99% de l'énergie totale) mais le léger décalage permet une variation de la composante de bruit d'une fenêtre à l'autre. Les fréquences de résonance des pôles ainsi obtenus sont présentées en fonction de l'indice de fenêtre sur la Figure 6a et 6b pour les sous-bandes 220-245 MHz et 245-270 MHz, respectivement.



**Figure 6. Fréquences de résonance des pôles en fonction de l'indice de fenêtre.**



**Figure 7. Fréquences de résonance des pôles en fonction de la position du brasseur (après tri).**

Nous constatons que certains pôles sont extraits uniquement ponctuellement, pour une fenêtre particulière (par exemple pour les fréquences autour de 226 MHz et de 262 MHz). D'autres pôles sont extraits régulièrement mais leurs fréquences de résonance varient sensiblement d'une fenêtre à l'autre (par exemple autour de 223 MHz et de 236 MHz), ou ne sont pas extraits pour un certain nombre de fenêtres (par exemple autour 245,5 MHz et de 251,5 MHz). Ces pôles peuvent donc facilement être considérés comme parasites et assimilés à du bruit. En revanche, des pôles sont insensibles à la fenêtre considérée et peuvent donc être considérés comme physiques car parfaitement stables dans le temps.

Ce processus est donc appliqué à l'ensemble des mesures pour les différentes positions de brasseur et la Figure 7 présente les fréquences de résonance des pôles dans la même bande de fréquence que précédemment mais après l'opération de filtrage des pôles considérés parasites. Nous constatons que la majorité des pôles parasites sont effectivement filtrés par notre processus de tri. En revanche, certains pôles physiques ont également été éliminés.

### 3. Conclusion

L'algorithme MP a été utilisé pour extraire les modes résonants d'une CRBM dans le but de calculer la distribution des écarts fréquentiels entre ces modes à partir de données mesurées. Une technique fondée sur l'utilisation de fenêtre glissante a été présentée. Elle

permet de discriminer les modes physiques (résonants dans la CRBM) des modes parasites (liés au bruit de mesure et à la surestimation du nombre de modes à extraire par la méthode MP). La plupart des pôles parasites sont effectivement filtrés mais les seuils de stabilité actuellement utilisés éliminent également quelques pôles physiques.

### Références

- [1] P. S. Kildal, K. Rosengren, J. Byun and J. Lee, "Definition of effective diversity gain and how to measure it in a reverberation chamber," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 34, no. 1, pp. 56–59, July 2002.
- [2] C. L. Holloway, H. A. Shah, R. J. Pirkl, W. F. Young, D. A. Hill and J. Ladbury, "Reverberation Chamber Techniques for Determining the Radiation and Total Efficiency of Antennas," in *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 60, no. 4, pp. 1758-1770, Apr. 2012.
- [3] IEC 61000-4-21: Electromagnetic Compatibility (EMC)– Part 4-21: Testing and Measurement Techniques– Reverberation chamber test methods, International Electrotechnical Commission, IEC SC77B-CISPR/A JWG REV, Geneva, Switzerland, Aug. 2003.
- [4] J.-B. Gros, U. Kuhl, O. Legrand, F. Mortessagne, O. Picon, and E. Richalot, "Statistics of the electromagnetic response of a chaotic reverberation chamber", *Advanced Electromag.*, vol. 4, no. 2, pp. 38-43, 2015.
- [5] E. Richalot, K. Selemeni, J.B. Gros, O. Picon, O. Legrand, S. Grivet-Talocia, and F. Mortessagne, "Criterion based on resonant frequencies distributions for reverberation chamber characterization", *Int. Conf. on Electromag. in Advanced Applications (ICEAA)*, Sept. 2015.
- [6] T. K. Sarkar and O. Pereira, "Using the Matrix Pencil method to estimate the parameters of a sum of complex exponentials," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 37, pp 45-55, Feb. 1995.
- [7] F. Sarrazin, J. Chauveau, P. Pouliguen, P. Potier and A. Sharaiha, "Accuracy of the singularity expansion method in time and frequency domains to characterize antennas in presence of noise," *IEEE Trans. on Ant. and Propag.*, vol. 62, no 3, pp 1261-1269, Mar. 2014.
- [8] 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.