



HAL
open science

Méthodes d'Extraction des pôles de résonance d'une antenne

François Sarrazin, Ala Sharaiha, Philippe Pouliguen, Patrick Potier, Janic Chauveau

► **To cite this version:**

François Sarrazin, Ala Sharaiha, Philippe Pouliguen, Patrick Potier, Janic Chauveau. Méthodes d'Extraction des pôles de résonance d'une antenne. 18e Journées Nationales Microondes (JNM 2013), May 2013, Paris, France. hal-01435162

HAL Id: hal-01435162

<https://hal.science/hal-01435162>

Submitted on 13 Jan 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.

Méthodes d'Extraction des pôles de résonance d'une antenne

François Sarrazin¹, Ala Sharaiha¹, Philippe Pouliguen², Patrick Potier³ et Janic Chauveau³

¹Institu d'Electronique et des Télécommunications de Rennes (IETR), Université de Rennes 1, 35042 Rennes

²Direction Générale de l'Armement, DS/MRIS, 7-9 rue des Mathurins, 92221 Bagneux

³Direction Générale de l'Armement, MI, Route de Laillé, 35170 Bruz

francois.sarrazin@univ-rennes1.fr

Résumé

La SEM permet de modéliser le comportement d'une antenne éclairée par une onde électromagnétique à l'aide d'un jeu restreint de paramètres. Une limitation courante de cette méthode est sa grande sensibilité au bruit pour l'extraction de ces pôles de résonance. Dans un premier temps, deux méthodes d'extraction différentes sont utilisées pour extraire les pôles à partir de la réponse bruitée d'une antenne dans les domaines temporel et fréquentiel : la méthode de Cauchy et la méthode des matrices Pencil. Les résultats sont présentés pour un dipôle et une antenne spirale. Dans un second temps, nous proposons de comparer les pôles obtenus à partir du champ rayonné d'une antenne à ceux obtenus à partir de son champ rétrodiffusé. La comparaison est effectuée sur une antenne dipôle et papillon. Nous montrons que pour une même condition de charge, les pôles sont communs.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, la Méthode du Développement en Singularités (SEM) [1], introduite par Baum en 1971, est utilisée pour l'identification de cibles. Cette méthode permet de représenter la solution d'un problème électromagnétique en terme de singularités, également appelées pôles ou Coefficients Naturels de Résonance (CNR). Le principal avantage de cette méthode est l'indépendance des singularités vis-à-vis de la direction de l'onde incidente. Plus récemment, la SEM a été appliquée dans un contexte antennaire et a été utilisée pour modéliser la hauteur effective d'une antenne à la fois dans le domaine temporel et fréquentiel [2] [3], afin de décrire le diagramme de rayonnement de l'antenne, sa directivité ainsi que son gain, à l'aide d'un jeu de pôles restreint. Les pôles de résonance sont caractéristiques de l'antenne considérée et permettent de la décrire de façon compacte et unique dans un processus de classification par exemple. Ces pôles peuvent être extraits à l'aide de plusieurs méthodes. Parmi les principales, il y a la méthode de Cauchy dans le domaine fréquentiel et la méthode des matrices Pencil (MP) dans le domaine temporel. De plus, afin de s'affranchir des câbles d'excitation lors des mesures, il serait intéressant d'appliquer le formalisme SEM à la mesure en rétrodiffusion d'une antenne. Le premier objectif de ce

papier est de comparer les deux principales méthodes d'extraction appliquées sur des réponses d'antenne et d'analyser leur robustesse au bruit. Le second objectif est de vérifier la possibilité d'extraire les pôles de résonance d'une antenne à partir de son champ rétrodiffusé. Dans la section suivante, les deux méthodes d'extraction de pôles de résonance sont présentées. Puis, dans la section III, ces deux méthodes sont appliquées sur les réponses d'un dipôle et d'une antenne spirale en présence de bruit. Enfin, dans la quatrième section, nous comparons les pôles extraits d'un dipôle et d'une antenne papillon à partir de leurs champs rayonnée et rétrodiffusé.

2. Présentation des méthodes

2.a. La méthode des matrices Pencil

La SEM permet de modéliser la partie retardée de la réponse d'une antenne comme

$$y_k \approx \sum_{n=1}^N R_n e^{s_n k}, \quad (1)$$

où N est le nombre de pôles, $k = 0, 1, \dots, K-1$ avec K est le nombre d'échantillons de données ($K > 2N$), R_n sont les résidus et s_n sont les pôles ($s_n = \sigma_n \pm j\omega_n$ avec σ_n les coefficients d'amortissement et ω_n les pulsations de résonance). Une matrice de données $[Y]$ est construite à l'aide du paramètre Pencil L qui permet de réduire le bruit dans les données. Il est généralement choisi entre $K/3$ et $K/2$ [4].

$$[Y] = \begin{bmatrix} y_0 & y_1 & \dots & y_L \\ y_1 & y_2 & \dots & y_{L+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{K-L-1} & y_{K-L} & \dots & y_{K-1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Ensuite, une Décomposition en Valeurs Singulières (SVD) est effectuée telle que $[Y] = [U][\Sigma][V]^H$, l'exposant H traduisant la transposée Hermitienne, $[U]$ et $[V]$ sont des matrices unitaires composées des vecteurs propres de $[Y][Y]^H$ et $[Y]^H[Y]$, respectivement. $[\Sigma]$ est une matrice diagonale contenant les valeurs singulières de $[Y]$. Le paramètre M , correspondant au nombre de pôles que l'on souhaite extraire, est maintenant déterminé afin de trier les valeurs singulières de $[\Sigma]$ qui sont jugées « petites » et donc assimilées à du bruit et mises à zéro. Une matrice réduite $[V']$ est construite et ne contient que les lignes correspondantes aux M valeurs singulières les plus grandes telle que $[V'] = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_M]^T$. Enfin, deux sous-matrices $[V_1']$ et

$[V_2']$ sont définies à partir de $[V']$ en supprimant la dernière colonne de $[V']$ et la première colonne de $[V']$, respectivement. Le problème de départ est alors réduit à un problème de valeurs propres (3). Les valeurs singulières λ correspondent aux pôles du système en terme de z^k

$$[V_2'] = \lambda[V_1'] \rightarrow [V_2'][V_1']^H = \lambda[V_1'][V_1']^H, \quad (3)$$

2.b. La méthode de Cauchy

Dans le domaine fréquentiel, la méthode de Cauchy [5] est appliquée à la fonction de transfert $H(s)$ de l'antenne. $H(s)$ est approximée par un rapport de deux polynômes.

$$H(s) = \frac{P_M(s)}{Q_N(s)} = \frac{\sum_{m=0}^M a_m s^m}{\sum_{n=0}^N b_n s^n}, \quad (4)$$

où $N = M + 1$ est l'ordre du filtre. L'équation (4) peut également se mettre sous la forme $AX = 0$ où X contient l'ensemble des coefficients a et b . Suivant une approche des moindres carrés totaux, basé sur la SVD, les coefficients a et b sont déterminés. Enfin, à l'aide d'un développement en fraction partielle, les pôles et les résidus sont obtenus tels que

$$H(s) = \sum_{n=1}^N \frac{R_n}{s-s_n}, \quad (5)$$

3. Application sur des réponses bruitées

3.a. Antenne dipôle

Un dipôle de longueur $L = 33.75$ mm et de diamètre $D = 1.12$ mm ($L/D \approx 30$) est tout d'abord simulé sur Ansoft HFSS [5] entre 1 et 18 GHz avec un pas de 17 MHz. Le champ E lointain rayonné par le dipôle dans sa direction normale est présenté sur la Figure 1. Cauchy est appliqué sur ce signal tandis que MP est appliquée sur sa transformée de Fourier inverse. Les pôles extraits avec ces deux méthodes sont présentés sur la Figure 2. Les pôles sont quasiment identiques et correspondent aux deux résonances du dipôle (à $\lambda/2$ et $3\lambda/2$). Deux pôles physiques sont donc extraits sur le dipôle et permettent de modéliser le temps retardé de sa réponse avec une Erreur Quadratique Moyenne Normalisée (EQMN) inférieure à 2%. Un bruit blanc Gaussien est maintenant ajouté au champ simulé afin d'obtenir un Rapport Signal sur Bruit (RSB) entre -10 et 70 dB. Les deux algorithmes sont appliqués sur ces nouveaux signaux et le nombre de pôles physiques extraits dans chaque cas est présenté sur le Tableau 1. Un pôle est considéré correctement extrait lorsque sa fréquence de résonance est retrouvée à 5% près. Lorsque le RSB est supérieur à 20 dB, les deux pôles sont retrouvés avec les deux méthodes. En revanche, lorsque le RSB diminue, MP semble plus résistante au bruit.

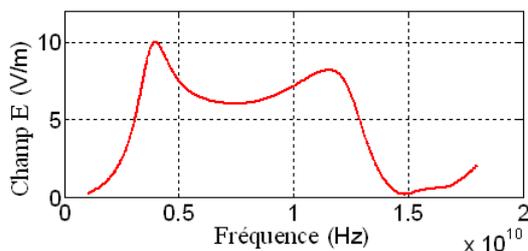


Figure 1. Champ rayonné du dipôle.

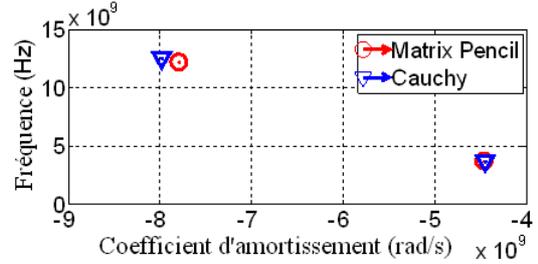


Figure 2. Pôles extraits des données non bruitées.

Méthode	RSB (dB)								
	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
Cauchy	0	0	1	2	2	2	2	2	2
MPM	0	1	2	2	2	2	2	2	2

Tableau 1. Nombre de pôles extraits.

3.b. Antenne spirale

La deuxième antenne simulée dans les mêmes conditions est une spirale constituée de deux brins parcourant un tour et demi chacun. Son rayon est de 13 mm et elle est adaptée entre 4.5 et 18 GHz. La Figure 3 présente le champ électrique rayonné par l'antenne spirale dans la direction de son maximum de rayonnement. Les pôles extraits avec les deux méthodes sont présentés sur la Figure 4. Le premier pôle (à 3.4 GHz) est extrait de la même façon avec les deux méthodes. Les autres pôles sont également très proches, seuls les coefficients d'amortissement varient légèrement. Ces pôles permettent de reconstruire la réponse de l'antenne avec une EQMN inférieure à 3% avec MP et 4% avec Cauchy. La même étude est menée en fonction du RSB. Le nombre de pôles correctement extraits est présenté sur le Tableau 2. Lorsque le RSB diminue, MP extrait plus de pôles que Cauchy.

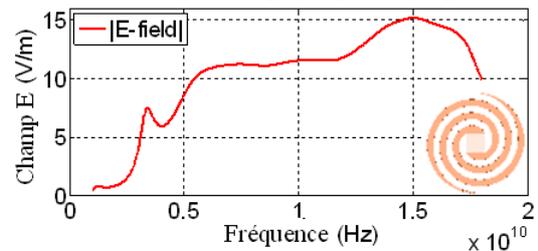


Figure 3. Champ rayonné de l'antenne spirale.

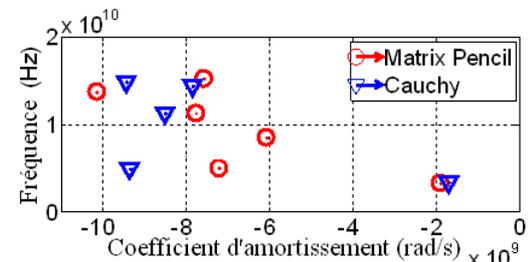


Figure 4. Pôles extraits de données non bruitées.

Méthode	RSB (dB)								
	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
Cauchy	0	1	2	3	3	3	3	4	5
MP	1	2	2	2	3	3	4	6	6

Tableau 2. Nombre de pôles extraits.

En conclusion, dans le cas d'une antenne très résonante comme le dipôle, les deux méthodes permettent d'obtenir les mêmes résultats en absence de bruit. En revanche, la méthode MP donne de meilleurs résultats lorsque le RSB diminue. De plus, dans le cas d'une antenne moins résonante telle que la spirale, la méthode MP permet d'extraire plus de pôles et reste plus résistante au bruit. La méthode est donc plus appropriée à l'extraction des pôles de résonance d'une antenne notamment en présence de bruit. En pratique, le RSB d'une mesure peut être de l'ordre de 20 à 30 dB [6], le choix de la méthode est donc crucial pour espérer obtenir le jeu de pôles complet de l'antenne.

4. Comparaison des pôles en SER

Dans cette section, nous souhaitons comparer les pôles obtenus en rayonnement avec ceux obtenus à partir du champ rétrodiffusé de l'antenne pour plusieurs charges différentes.

4.a. Antenne dipôle

Le même dipôle que précédemment est cette fois simulé sur CST Microwave Studio (CST MWS) [7] entre 1 et 20 GHz en utilisant le solveur temporel. L'antenne est simulée pour différentes conditions de charge : circuit-ouvert, court-circuit et enfin une charge adaptée (73 Ω). Les champs rétrodiffusés simulés sont présentés sur la Figure 5.

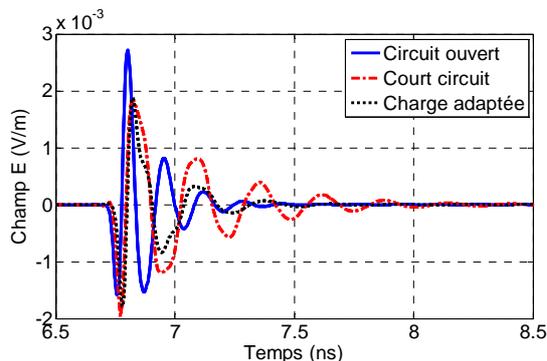


Figure 5. Champs rétrodiffusés par le dipôle.

Le champ rétrodiffusé du dipôle court-circuité est plus long à s'amortir que pour les deux autres charges. Une raison possible peut être le coefficient de qualité plus élevé du dipôle pour cette charge. L'extraction des pôles est effectuée sur les temps retardés de ces trois réponses. Les pôles extraits sont présentés sur la Figure 6 et comparés à ceux extraits à partir du champ rayonné.

Pour chaque cas, trois paires de pôles sont extraites avec la méthode MP et permettent une reconstruction du champ avec une EQMN inférieure à 1 %. Les pôles extraits à partir du champ rétrodiffusé de l'antenne court-circuitée ont des fréquences de résonance identiques à celles extraites sur la charge adaptée mais les coefficients d'amortissement varient fortement. En effet, une partie de l'énergie est absorbée par la charge. Les fréquences de résonance retrouvées sur l'antenne en circuit ouvert sont plus élevées que pour les deux autres cas. En effet, en circuit ouvert, le dipôle peut être considéré comme deux demi dipôles couplés.

Les pôles extraits à partir du champ rétrodiffusé de l'antenne court-circuitée ont des fréquences de résonance très proches de celles obtenues à partir du champ rayonné mais les coefficients d'amortissement sont plus faibles. En revanche, les pôles extraits à partir du champ rétrodiffusé de l'antenne sur une charge adaptée sont très proches de ceux extraits sur le champ rayonné que ce soit au niveau des fréquences de résonance qu'au niveau des coefficients d'amortissement. Les pôles de résonance dépendent directement des caractéristiques de l'antenne [1] donc, dans les mêmes conditions de charge, les pôles doivent être identiques quelque soit le champ observé (rayonné ou rétrodiffusé), seuls les résidus sont modifiés. En rayonnement, le dipôle est chargé sur 73 Ω et les pôles obtenus sont donc très proches de ceux extraits à partir du champ rétrodiffusé pour une même charge.

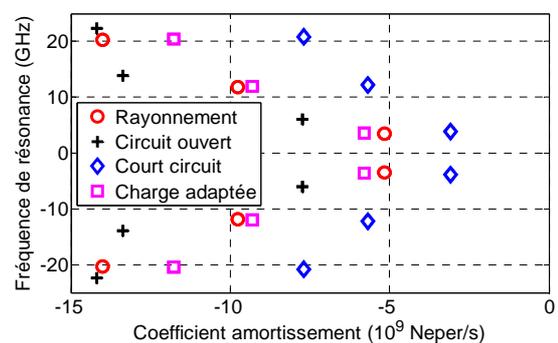


Figure 6. Pôles extraits à partir des quatre champs simulés dans le plan complexe.

4.b. Antenne papillon

La même étude est réalisée sur une antenne papillon donc l'angle d'évasement est de 45°. Les champs rétrodiffusés simulés pour les trois conditions de charge (circuit ouvert, court-circuit et charge adaptée de 200 ohms) sont présentés sur la Figure 7.

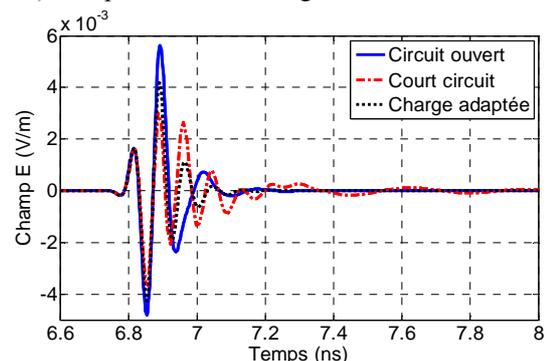


Figure 7. Champs rétrodiffusés par le dipôle.

Nous observons le même comportement que pour le dipôle. En effet, c'est dans le cas du dipôle court-circuité que la réponse est la moins amortie. Les pôles extraits du temps retardé de ces champs rétrodiffusés sont présentés sur la Figure 8 et comparés à ceux obtenus en rayonnement.

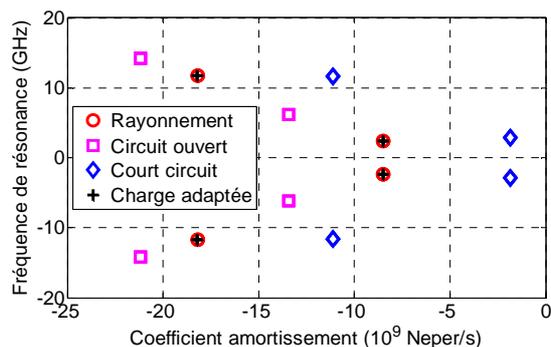


Figure 8. Pôles extraits à partir des quatre champs simulés dans le plan complexe.

Deux paires de pôles sont extraites de chaque configuration. Les pôles issus de l'antenne court-circuitée ont les mêmes fréquences de résonance que les pôles extraits de l'antenne sur charge adaptée mais leurs coefficients d'amortissement sont plus faibles en module. En revanche, les pôles issus de l'antenne en circuit ouvert ont des fréquences de résonance supérieures à celles des pôles de l'antenne adaptée et des coefficients d'amortissement également plus forts en module. Enfin, les pôles issus de l'antenne en rayonnement et en rétrodiffusion pour une charge adaptée ont des pôles parfaitement identiques.

5. Conclusion et Perspectives

Nous avons vu que, quelque soit l'antenne (résonante ou non), la méthode MP permet d'extraire plus de pôles, notamment en présence de bruit. Elle est donc plus adaptée à l'extraction des pôles de résonance d'une antenne. A notre connaissance, ceci est la première comparaison entre MP et Cauchy pour analyser des réponses d'antennes. De plus, nous avons montré qu'il est possible d'appliquer le formalisme SEM sur le champ rétrodiffusé d'une antenne afin de s'abstenir de câbles d'alimentation pendant les mesures. En effet, les pôles obtenus en rayonnement et en rétrodiffusion sont identiques pour une même condition de charge. Ces travaux sont une première étape dans l'optique de caractériser une antenne à partir de ses pôles de résonance extraits d'une mesure de SER.

6. Remerciements

Ce travail est supporté financièrement par la Direction Générale de l'Armement (DGA).

7. Bibliographie

- [1] C. E. Baum, « On the singularity expansion method for the solution of electromagnetic interaction problems », EMP Interaction Note 8, Air Force Weapons Laboratory, Kirkland AFB, New Mexico, Déc. 1971.
- [2] S. Licul and W. A. Davis, « Unified frequency and time-domain antenna modeling and characterization », IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol. 53, No 9, pp. 2882–2888, Sep. 2005.

- [3] C. Marchais, B. Uguen, A. Sharaiha, G. L. Ray and L. Le Coq, « Compact characterisation of ultra wideband antenna responses from frequency measurements », IET, Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 5, Issue: 6, pp. 671-675, 2011.
- [4] Y. Hua and T. K. Sarkar, « Matrix pencil method for estimating parameters of exponentially damped/undamped sinusoids in noise », IEEE Transactions on Acoustics, speech and signal processing, vol. 38, pp. 814-824, Mai 1990.
- [5] A. L. Cauchy, « Sur la formule de Lagrange relative à l'interpolation », Analyse Algébrique, Paris, 1821.
- [6] Ansoft HFSS, Disponible : www.ansoft.com
- [7] C. Marchais, B. Uguen, A. Sharaiha, G. Ray and L. L. Coq, « Compact characterization of ultra wideband antenna responses from frequency measurements », IET MAP, vol. 5, pp 671-675, 2011.
- [8] CST Microwave Studio, Disponible : www.cst.com