

Figure 1

Introduction

Les sondes de mesure généralement utilisées pour les mesures en champ proche sont de type **guide d'onde ouvert (OEW)** [1]. L'utilisation de sonde à section **cylindrique** permet de réaliser des mesures en polarisation **duale**. Cependant, la taille de ces ouvertures peut être importantes et ainsi, **impacter** les mesures des antennes sous test (AUT). Les **métamatériaux** peuvent être utilisés pour réduire la taille des sondes [2], [3]. La **Théorie Modale Elargie (TME)** [4] - [6] est utilisée pour trouver **rapidement** les dimensions du métamatériau permettant de réduire la section d'une sonde de mesure fonctionnant dans la bande [6; 8] GHz.

Méthodologie Pour Réduire la Section et Choix du Métamatériau

La TME permet de caractériser les guides à métamatériaux grâce à un calcul **analytique** où le métamatériau est remplacé par un couple d'**impédances de surface** équivalentes (fig. 1) : $Z'_T(f, \phi) = -\frac{E_\theta}{H_z}|_{\Omega'}$, $Z'_Z(f, \phi) = \frac{E_z}{H_\theta}|_{\Omega'}$.

A. Méthodologie

La méthodologie est la suivante :

- 1 • Application de la TME a des guides à paroi isotrope idéale (Z'_T, Z'_Z constantes), de rayon a (fig. 2) [4]. Différents couples (Z'_T, Z'_Z) sont appliqués sur la paroi.
- 2 • Obtention des diagrammes de dispersion des différents guides • Présentation des diagrammes dans un tableau (fig. 3).
- 3 • Sélection de la gamme d'impédance respectant les critères de performances (fréquence de coupure f_c , mode fondamental).
- 4 • Choix du métamatériau respectant la gamme d'impédance (modification manuelle des dimensions). Les impédances sont tracées en fonction de la fréquence et de l'angle d'incidence, grâce à un code basé sur la Méthode des Eléments Finis (FEM) 3-D.
- 5 • Vérification des performances du guide à métamatériaux : tracé du diagramme de dispersion donnant la fréquence de coupure et le mode fondamental [5], [6].

Ici, on applique cette méthodologie pour réduire un OEW **métallique** ayant une fréquence de coupure de **6 GHz**, donc un rayon A_0 de **14,65 mm** et un mode fondamental TE_{11} . Ainsi, le **nouvel OEW** doit avoir un rayon A **inférieur à A_0** , un mode fondamental semblable au TE_{11} et une fréquence de coupure proche de **6 GHz**.

B. Choix du métamatériau

La méthodologie est appliquée :

$$a = 6,2 \text{ mm} < A_0 = 14,65 \text{ mm}$$

Tableau de la fig. 3

$$\begin{cases} Z'_T \geq 1,25jZ_0 \\ Z'_Z \geq 0 \Omega \end{cases} \quad (1)$$

La gamme (1) est respectée, fig. 5 pour : $A = 12,7 \text{ mm}$, $a = 6,2 \text{ mm}$, $d = 5,08 \text{ mm}$, $e = 0,85 \text{ mm}$, $h = 6,5 \text{ mm}$, $p = 4,23 \text{ mm}$ et $\alpha = 45^\circ$.

Diagramme de dispersion de la fig. 6.

Les fréquences de coupure f_c des guides à « pic » et métallique sont **identiques** mais le guide à « pic » a une **section 24,8% plus petite**.

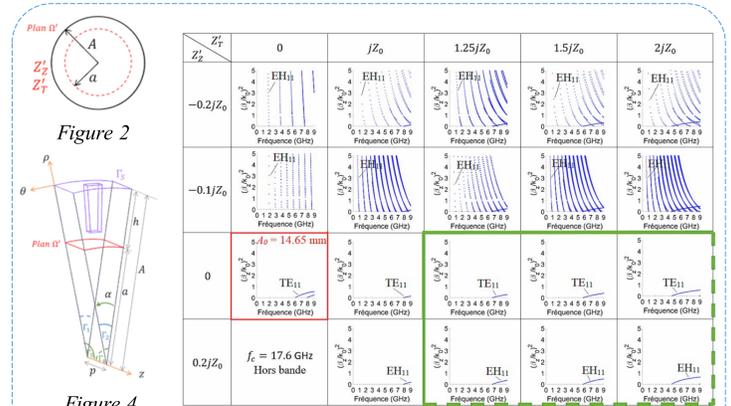


Figure 2

Figure 4

Figure 3

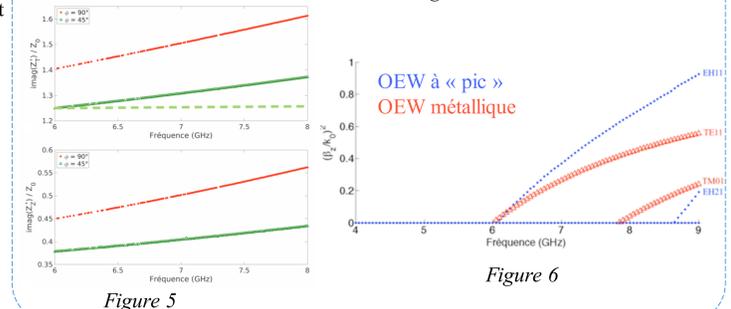


Figure 5

Figure 6

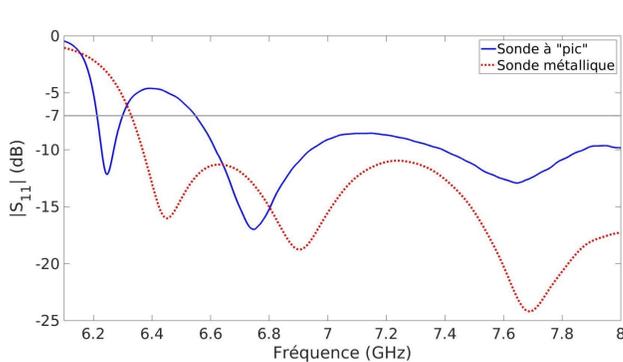
Caractérisation de la Sonde de Mesures

Comme le guide à « pic » **respecte** le cahier des charges (fréquence de coupure f_c , mode fondamental et taille), la sonde de mesure à « pic » a été fabriquée en **impression 3-D**, fig. 7. Pour vérifier son fonctionnement, les différentes **caractéristiques** (coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement, niveau d'interférences) de la sonde sont **mesurées** et **comparées** à la sonde métallique.



Figure 7

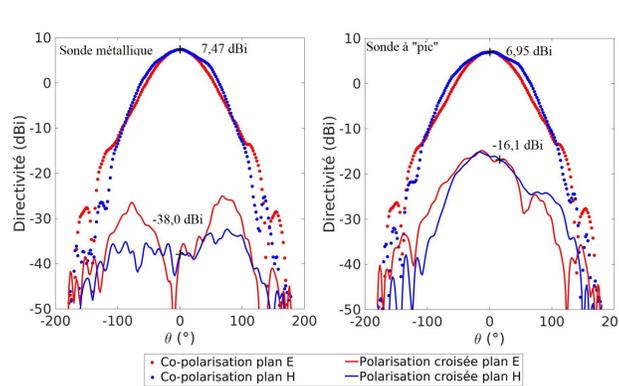
Coefficient de réflexion



Le coefficient de réflexion de la sonde à « pic » est **supérieur** à celui de la sonde métallique. Cependant, à partir de 6,55 GHz, le coefficient de réflexion de la sonde à « pic » est **inférieur** à -7 dB .

La transition câble coaxial à guide d'onde n'a pas été optimisée pour **minimiser** ce coefficient. Ainsi, le niveau obtenu est **acceptable** par rapport au niveau de la sonde métallique.

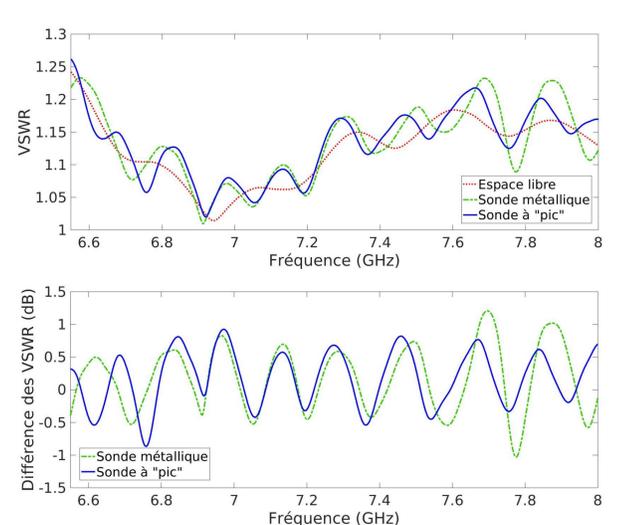
Diagramme de rayonnement



Les diagrammes sont mesurés à **6,75 GHz** (creux du S_{11} de la sonde à « pic »).

La directivité maximale de la sonde à « pic » est **inférieure** à celle de la sonde métallique. Ceci est attendu car la section a été **réduite de 24,8%**. La discrimination de polarisation est néanmoins **nettement inférieure** à celle de la sonde métallique. Ceci est un inconvénient qu'il faudrait essayer d'**améliorer** par la suite.

Niveau d'interférences



Le niveau d'interférences présente **moins** d'oscillations pour la sonde à « pic ». De plus, le niveau moyen [7], [8] est de $-26,7 \text{ dB}$ pour cette sonde comparé au niveau moyen de la sonde métallique étant de $-24,6 \text{ dB}$, ceci est une réelle **amélioration**.

Conclusion et Perspectives

- Présentation d'une **nouvelle** méthodologie, basée sur la **Théorie Modale Elargie (TME)**,
- Utilisation de cette méthode pour **concevoir** une sonde de mesure pour champ proche à **section réduite de 24,8%** par rapport à la sonde métallique de même fréquence de coupure f_c ,
- **Mesure et comparaison** de différentes caractéristiques (coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement et niveau d'interférences) des sondes,
- **Equivalence** des performances de la sonde à section réduite et de la sonde métallique pour le **coefficient de réflexion** et le **diagramme de rayonnement**,
- Niveau d'interférences généré par la sonde à métamatériaux **inférieur** à celui de la sonde métallique de même fréquence de coupure : grâce à la **réduction** de la section,
- Par la suite, utilisation de cette sonde à « pic » pour **qualifier** une antenne de référence et ainsi valider **parfaitement** son fonctionnement.

Références

- [1] A. Giacomini, V. Schirosi, R. Morbidini, L. J. Foged, J. Estrada, J. Acree, L. M. Tancioni, "Dual-Polarized Probe with Full Octave Bandwidth and Minimum Scattering for Planar Near Field Measurements," in Proc. *Antenna Measurement Techn. Association Symp. (AMT)*, Atlanta, 15-20 Oct. 2017.
- [2] J. G. Pollock and A. K. Iyer, "Below-Cutoff Propagation in Metamaterial-Lined Circular Waveguides," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 61, no. 9, pp. 3169-3178, Sep. 2013.
- [3] J. G. Pollock and A. K. Iyer, "Experimental Verification of Below-Cutoff Propagation in Miniaturized Circular Waveguides Using Anisotropic ENNZ Metamaterial Liners," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 4, pp. 1297-1305, Apr. 2016.
- [4] N. Raveu, B. Byrne, L. Claudieuvre and N. Capet, "Modal Theory for Waveguides with Anisotropic Surface Impedance Boundaries," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 4, pp. 1153-1162, Apr. 2016.
- [5] L. Kuhler, G. Le Fur, L. Duchesne, N. Raveu "The Propagation Characteristics of 2-D Metamaterial Waveguides Using the Modal Expansion Theory," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 66, no. 10, pp. 4319-4326, Oct. 2018.
- [6] L. Kuhler, N. Raveu, G. Le Fur, L. Duchesne, "The Modal Expansion Theory Applied to 3-D Metamaterial Waveguides Characterization," *Prog. Electromagn. Res. M*, vol. 92, p. 31-41, 2020.
- [7] A. G. Reppar, A. C. Newell, M. H. Francis, "Accurate Determination of Planar Near-Field Correction Parameters for Linearly Polarized Probes," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 36, no. 6, pp. 855-868, Jun. 1988.
- [8] A. C. Newell, "Error Analysis Techniques for Planar Near-Field Measurements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 36, no. 6, pp. 754-768, Jun. 1988.