HAL
open science

Conception d'un banc de caractérisation de matériaux en bande W

Sirine Guelmami, Emmanuel Perrin, Régis Chantalat, Dominique Cros, Aurelian Crunteanu

To cite this version:

Sirine Guelmami, Emmanuel Perrin, Régis Chantalat, Dominique Cros, Aurelian Crunteanu. Conception d'un banc de caractérisation de matériaux en bande W. 16èmes Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux (JCMM), Toulouse, France, 30 mars – 1er avril 2020// en ligne 23-25 nov 2020, Mar 2020, Toulouse, France. hal-03029546

HAL Id: hal-03029546

https://hal.science/hal-03029546v1

Submitted on 3 Dec 2020

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.

Conception d'un banc de caractérisation de matériaux en bande W

Sirine Guelmami[1,2], Emmanuel Perrin[1], Régis Chantalat[1], Dominique Cros[2], Aurelian Crunteanu[2]
[1]*Cisteme, 12 rue Gémini, 87068 LIMOGES Cedex*
[2]*XLIM, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex*
guelmami@cisteme.net

***Résumé* — La méthode de caractérisation de matériaux en espace libre est relativement ancienne et plusieurs travaux ont été menés pour l'améliorer. Dans ce papier, un système antennaire performant est mis en place afin de caractériser les matériaux avec précision en bande W (75-110GHz). Des simulations sont effectuées dans le but de concevoir un système antennaire répondant au cahier des charges.**

I. INTRODUCTION

Le banc de caractérisation de matériaux mis en place à CISTEME, opérant entre 5 et 110 GHz, est un banc en espace libre focalisé. Ce banc est basé sur la méthode en espace libre décrite par Ghodgaonkar en 1990 [1]. Cette méthode consiste à effectuer une mesure en réflexion et/ou en transmission d'une onde électromagnétique incidente sur un échantillon afin de déterminer sa permittivité complexe.

En bande W, l'encombrement du banc et la précision de déplacement des sources impliquent une trop forte incertitude de mesure et une répétabilité insuffisante. L'objectif de ces travaux vise donc à développer un moyen de caractérisation diminuant au maximum les erreurs actuelles liées à la montée en fréquence.

Dans une première partie, nous présentons le banc en espace libre actuel en mettant l'accent sur ses limitations. Puis, une description de l'antenne à réflecteur, solution technique retenue, est détaillée. Ensuite, nous synthétisons et analysons les résultats des différentes simulations effectuées. Enfin, une conclusion résume les travaux réalisés et présente les perspectives envisagées.

II. BANC EN ESPACE LIBRE

A. Description du banc actuel :

Le banc de mesure actuel est illustré par la Figure 1. Ce banc permet la mesure des coefficients de réflexion et de transmission en espace libre sans contact physique avec l'échantillon, ce qui permet ainsi de limiter les erreurs liées aux défauts de planéité des échantillons.

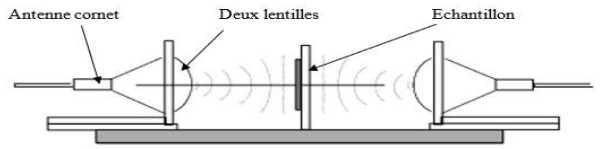

Figure 1 Banc en espace libre

Les limitations de cette méthode en bande W sont principalement liées à la précision de déplacement des éléments (antennes, porte échantillon). Pour combler ces lacunes, il est nécessaire de procéder par étape. Le premier objectif est donc de concevoir un système antennaire pour optimiser les déplacements mécaniques et aussi de réduire la taille du banc actuel.

La configuration actuelle est typique et consiste en deux antennes cornets corrugués équipées de deux lentilles placées dos à dos éclairant l'échantillon à caractériser. Ce dernier est placé au foyer des deux lentilles qui permettent de focaliser le rayonnement des antennes. Bien que l'utilisation de deux lentilles à la fois permette d'avoir un faisceau très étroit et bien focalisé au niveau de l'échantillon, cette configuration présente un désavantage notable. En effet, la focalisation ne se fait que dans un seul plan et une des conditions indispensables pour avoir des résultats précis consiste à ne pas faire bouger l'échantillon de cette position. Par conséquent, il semble intéressant de mettre en place un seul élément focalisant permettant de disposer d'une zone plus large (suivant la direction de propagation) où les conditions d'onde plane sont satisfaites (Figure 2).

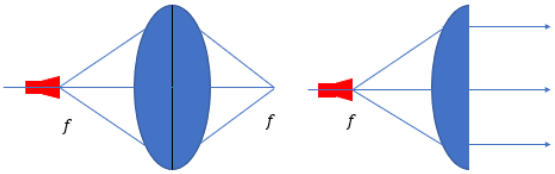

Figure 2: Le rôle des éléments focalisants

Comme la lentille, le réflecteur est employé dans un système antennaire pour obtenir un rayonnement directif [2]. En effet, le réflecteur parabolique est une solution a priori plus efficace que la lentille notamment pour les applications en bandes millimétrique et submillimétrique où les pertes diélectriques deviennent plus importantes et où la dispersion est notable. Par conséquent, la lentille du banc actuel sera remplacée par un réflecteur en offset. Le diamètre de ce focalisant est moins important que celui de la lentille. Cela permet de réduire les dimensions de l'onde au niveau de l'échantillon tout en ayant des caractéristiques respectant les conditions d'onde plane. Ces conditions sont nécessaires pour appliquer les algorithmes d'extraction et ainsi déterminer les propriétés du matériau à caractériser. Le paragraphe suivant présente l'étude de l'antenne à réflecteur développée.

B. Antenne à réflecteur en offset :

Cette antenne comporte deux parties : la source primaire et le réflecteur parabolique.
La source primaire est une antenne dont les caractéristiques de rayonnement doivent satisfaire les conditions suivantes :

- Présenter un centre de phase bien défini : ce point est très critique puisqu'il doit être exactement confondu avec le point focal du réflecteur.

- Présenter des lobes secondaires faibles : pour ne pas perturber le faisceau focalisé au niveau de l'échantillon.

- Diagrammes de rayonnement similaires dans les plans E et H

L'antenne primaire disponible dans le banc CISTEME (Figure 3) est une antenne cornet corrugué. Les corrugations sont classiquement utilisées pour minimiser le niveau des lobes secondaires et améliorer la qualité des diagrammes de rayonnement en réduisant la diffraction des bords de l'ouverture [3].

Figure 3 : L'antenne cornet corrugué disponible dans le banc CISTEME (bande W)

Cette antenne a été modélisée à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Nous avons également mesuré son diagramme de rayonnement grâce à la base compacte de mesure d'antennes de Cisteme [4] pour vérifier les résultats des simulations (Figure 4). Les mesures sont en bon accord avec les simulations. Le diagramme respecte le cahier des charges : forte directivité, symétrie du lobe principal (Figure 5), faible niveau des lobes secondaires. Ces simulations et ces mesures montrent aussi que cette antenne est caractérisée par un centre de phase bien stable en fonction de la fréquence (Tableau 1).

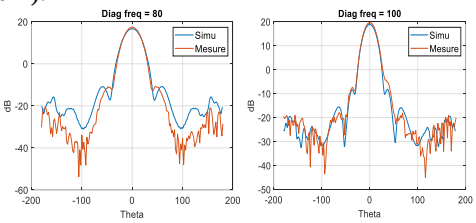

Figure 4 : Les diagrammes de rayonnement de la source primaire en plan E (mesure et simulation) aux fréquences 80 et 100 Ghz

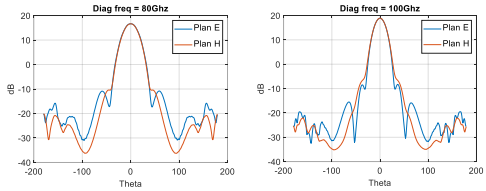

Figure 5 : Les diagrammes de rayonnement de la source primaire en plan E et plan H (Simu) aux fréquences 80 et 100 Ghz

Tableau 1 : Stabilité du centre de phase en fonction de la fréquence

	Centre de phase	
Fréq (Ghz)	Simulation	Mesure
80	44.3	45
92.5	44.4	44
100	44.5	45

Le réflecteur, utilisé comme élément focalisant, a pour rôle de transformer les ondes électromagnétiques de forme sphérique, émises par la source placée à sa focale, en ondes planes. La configuration du "réflecteur en offset" est choisie pour éviter l'effet d'ombre (inconvénient majeur du réflecteur centré). La Figure 6 montre que ce réflecteur est alors une portion d'un réflecteur parabolique centré.

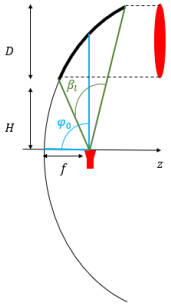

Figure 6 : La configuration de l'antenne à réflecteur en offset

L'ensemble (antenne-réflecteur) est assimilé à une antenne à ouverture rayonnante de taille équivalente au diamètre du focaliseur dont la loi d'illumination sera équiphase mais varie en amplitude. Ceci est directement lié au rayonnement de l'antenne source car en réalité cette ouverture est affectée par l'effet d'apodisation (Apod) : une notion correspondant au rapport des niveaux de champs au centre du focaliseur et au niveau de ses bords [5]. Dans le cas de notre application, il serait intéressant d'obtenir une ouverture de taille assez petite pour éviter l'utilisation des échantillons de grandes dimensions.

III. ETUDE DE L'ANTENNE A REFLECTEUR

Nous proposons d'étudier les performances des réflecteurs classiquement destinés à des applications optiques, dans le but de concevoir un banc permettant d'utiliser les positionneurs de précision disponibles. Nous nous intéressons à des réflecteurs en offset disponibles dans le commerce (Figure 7) pour différentes dimensions (Diamètre D et focale f).

Figure 7 : Le réflecteur en offset 90°

En effet, avant de mettre en place ces réflecteurs et mesurer les variations de leur champ rayonné, nous les avons modélisés sous CST : le solveur utilisé pour simuler la source primaire, est le solveur temporel vu ses petites dimensions devant la longueur d'onde. Cependant, lorsque l'on place par la suite la réflecteur, le solveur temporel n'est plus utilisable car le réflecteur a des dimensions assez grandes devant la longueur d'onde (diamètre d'environ 15λ). Ceci engendre un volume de calcul important d'où un temps de calcul incompatible avec nos moyens. L'utilisation du solveur intégral de CST permet de contourner ce problème car il est adapté à la résolution de systèmes très grands devant la longueur d'onde. Cette méthode de calcul permet d'appliquer un maillage surfacique uniquement des éléments modélisés. L'air n'est donc pas maillé, réduisant fortement le nombre de cellules du volume de calcul. Le diagramme de rayonnement de la source obtenu grâce au solveur temporel est introduit dans l'espace de calcul du réflecteur grâce à un module « Farfield source ». Cette méthode permet de modéliser l'ensemble de la structure tout

en modélisant la source primaire de manière rigoureuse. L'antenne cornet corrugué est placée devant le réflecteur à la distance focale en ayant au préalable calculé le centre de phase de l'antenne (Figure 8).

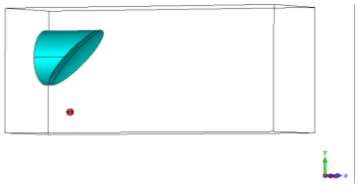

Figure 8 : Le modèle CST

La coupe transverse ci-dessous (Figure 9) illustre le rôle de l'élément focalisant. En effet, les effets de diffraction sur les bords du réflecteur sont négligeables si le niveau d'apodisation est important. Cette condition est importante pour ce genre d'applications.

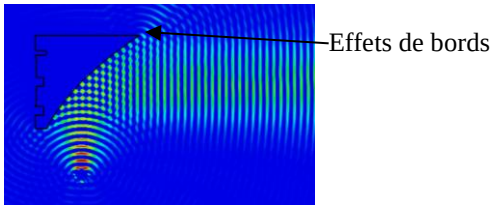

Figure 9 : Le champ rayonné par l'ensemble antenne-réflecteur

Afin de faire le choix de la dimension du réflecteur le plus adapté pour notre application, il est intéressant de modéliser différents réflecteurs et de comparer les résultats obtenus. Un tableau résume les dimensions et caractéristiques des réflecteurs étudiés (Tableau 2) :

Tableau 2 : Les réflecteurs modélisés

Réflecteur (EO)	Diamètre (mm)	Focale (mm)	$\frac{f}{D}$
1	50.8	25.4	0.5
2	76.2	25.4	0.333
3	76.2	38.1	0.5

Ces réflecteurs du commerce ont été choisi comme suit :

1→ 2 : Augmenter le diamètre D (f fixe)

1→ 3 : Augmenter le diamètre D et la focal f avec un rapport f/D constant.

En se plaçant au niveau d'un plan perpendiculaire à la direction de propagation face au réflecteur (Figure 10), nous pouvons calculer la répartition du champ E rayonné (Figure 11 et 12). Cette représentation nous permet de calculer la dimension de la tâche rayonnée à -X dB

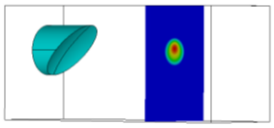

Figure 10 : Le plan (perpendiculaire à la direction de propagation) d'observation de la variation du champ E rayonné par le réflecteur

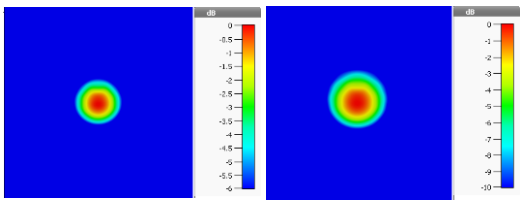

Figure 11 : Tâches à -6dB et à -10dB

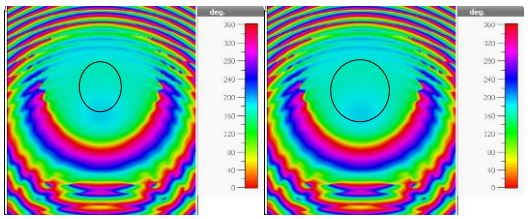

Figure 12 : Variation en phase pour les tâches à -6dB et à -10dB

L'objectif de ces différentes simulations est illustré ci-dessous avec un schéma explicatif (Figure 13). En effet, on souhaite assurer les conditions d'onde plane sur une tâche relativement petite. On considère que des variations de champ en phase <10° permettent d'appliquer les méthodes de détermination de permittivités complexes. De plus, les effets de bords sont considérés faibles si le niveau de champ sur les bords de l'échantillon est 6dB inférieur à celui au centre. Ces effets de bords deviennent encore plus négligeables à -10dB. Ainsi, le design de notre système doit se baser sur un compromis lié à la dimension de la tâche rayonnée. Celle-ci devra respecter les critères de niveaux de champs aux bords de l'échantillon, mais dans un même temps ne devra pas être trop grande afin de pouvoir caractériser des échantillons relativement petits. Grâce à ce raisonnement, il est possible de dimensionner l'échantillon à caractériser et ainsi faire le choix du réflecteur le plus adapté pour notre application.

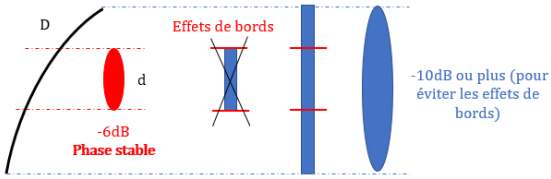

Figure 13 : Un schéma explicatif

Les premiers calculs sont réalisés à la fréquence centrale de la bande W (92.5 Ghz) (Tableau 3).

Tableau 3 : Les résultats pour la fréquence 92.5 Ghz

Réflecteur	Critère à -X dB	Diamètre de Tâche (mm)	Var.phase
1	-6 -10	30 36	<5° <5°
2	-6 -10	28 37	<10° <17°
3	-6 -10	41 56	<7° <12°

Comme le montre le Tableau 3, lorsque l'on a un critère de -6dB, on constate une variation de phase <10° pour les trois réflecteurs. De ce fait, un champ quasiment uniforme vérifiant les conditions d'onde plane est obtenu sur une tâche

de taille 3cm (1er et 2ème réflecteurs) et 4cm (3ème réflecteur). Pour un critère de -10dB, on constate une variation de phase qui est plus forte uniquement dans le cas du 2ème et 3ème réflecteur. A travers ces résultats, nous pouvons considérer que le 1er réflecteur est l'élément le plus adapté pour notre application.

Après avoir analysé les résultats obtenus pour la fréquence centrale (92.5Ghz), des simulations sont effectuées pour la fréquence 80 Ghz. Les mêmes réflecteurs ont été modélisés sous CST. Les résultats sont résumés dans le Tableau 4. Le but de cette partie est d'avoir des résultats en fonction de la fréquence.

Tableau 4 : Les résultats pour la fréquence 80 Ghz

Réflecteur	Critère à -X dB	Diamètre de Tâche (mm)	Var.phase
1	-6 -10	32 41	<6° <16°
2	-6 -10	33 44	<11° <16°
3	-6 -10	51 64	<10° <15°

En effet, lorsque la fréquence augmente, la source primaire devient de plus en plus directive (Figure 14). Son illumination sur le réflecteur engendre donc quelques petits changements : le contraste, entre le niveau de champ sur les bords et le niveau maximum au centre du réflecteur, devient encore plus important (Figure 15). De plus, pour le même critère à -XdB, la tâche devient de plus en plus petite avec des variations en phase inférieures en fonction de la fréquence.

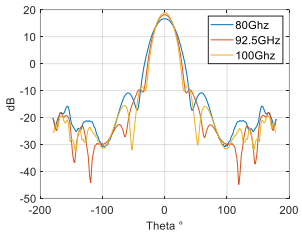

Figure 14 : Les diagrammes de rayonnement de la source primaire en fonction de la fréquence

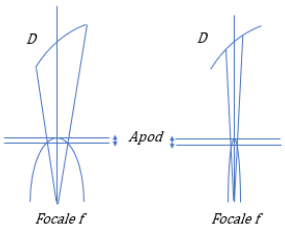

Figure 15: Un schéma explicatif

Quel que soit le critère à -X dB (-6/-10dB), on constate que plus la fréquence augmente, plus la taille de la tâche diminue (Tableaux 3 4 et Figure 16).

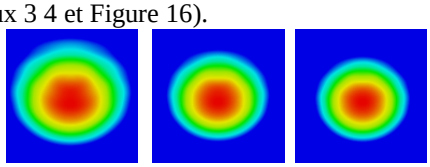

Figure 16 : L'évolution de la tâche en fonction de la fréquence

Un dernier point important : lorsque la source primaire illumine les bords du réflecteur avec une apodisation importante comme c'est le cas pour nos réflecteurs modélisés (-14dB/-28dB…), les effets de bords deviennent moins importants voire négligeables. La zone de champ rayonné par l'ensemble (réfléchi par le réflecteur) ne sera donc pas affectée. Par conséquent, il est inutile de concevoir un réflecteur de plus grandes dimensions. En effet, plus les dimensions du réflecteur sont grandes, plus l'apodisation augmente. Ceci nous conduit à éviter les contraintes d'encombrement.

IV. CONCLUSION

Ces travaux présentent une approche permettant d'améliorer le banc de caractérisation de matériaux en espace libre disponible à Cisteme. En effet, cette technique de mesure offre la possibilité de caractériser des propriétés des matériaux sur une large bande de fréquence. Néanmoins, ses principales limitations sont liées à la précision aux fréquences élevées, pour des applications en bande W. Ce problème nous a amené à étudier en premier le système antennaire complet (source primaire + élément focalisant) afin d'optimiser ses performances. De ce fait, nous nous sommes intéressés à des réflecteurs en offset disponibles dans le commerce. Des simulations sont donc effectuées à l'aide du logiciel CST en bande W, puis analysées dans le but d'avoir les conditions nécessaires pour appliquer les méthodes d'extraction des permittivités complexes. Cela a montré un résultat intéressant mais qui reste à vérifier avec les mesures.

Nous avons également commencé à faire nos premières mesures pour mettre en place une méthode de calibration récente développée par Bartley et Begley. Cette méthode est dite GRL [6] (Gated Reflect Line), permet de s'affranchir du déplacement des antennes en utilisant un système de fenêtrage temporel. Nous allons également poursuivre nos travaux afin d'apporter d'autres améliorations au niveau du banc et d'extraire correctement les données.

REFERENCES

[1] Free space measurement of complex permittivity and complex permeability of magnetic materials at microwave frequencies, D.K. Ghodgaonkar, Vol 39, pp387-394,1990.

[2] Handbook antennas, Theory Applications and design, Y. Rahmat-Samii

[3] A review Paper on Conical corrugated Horn Antenna, N. Tevar et al, iEEE, 2016

[4] Conception et optimization d'une base compacte millimétrique de mesures d'antennes, Y. Poupin,2002.

[5] Optimisation d'un réflecteur spatial à couverture cellulaire par l'utilisation d'une antenne à bande interdite EM multisources, R. Chantalat,2003.

[6] Free space Materials Characterization by reflection and transmission measurements using frequency by frequency and multi-frequency algorithms, F. Gonçalves, A. Pinto, 2018