



**HAL**  
open science

# Fabrication additive de filtres passe-bande en bande K et C

Bastien Peres, Pierre Lemaitre-Auger, Fabien Schwarts, Tan-Phu Vuong

► **To cite this version:**

Bastien Peres, Pierre Lemaitre-Auger, Fabien Schwarts, Tan-Phu Vuong. Fabrication additive de filtres passe-bande en bande K et C. XXIIèmes Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges, France. hal-04230091

**HAL Id: hal-04230091**

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-04230091v1>

Submitted on 6 Oct 2023

**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.

## Fabrication additive de filtres passe-bande en bande K et C

Bastien Peres<sup>1,3</sup>, Pierre Lemaitre-Auger<sup>2</sup>, Fabien Schwartz<sup>3</sup>, Tan Phu Vuong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, IMEP-LaHC, Grenoble, France

<sup>2</sup> Université Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, Valence, France

<sup>3</sup> AML Microtechnique Lorraine, Metz, France  
bastien.peres@grenoble-inp.fr

**Résumé** – Ce papier présente les performances radiofréquences (RF) atteintes par deux filtres passe-bande conçus pour la fabrication additive dans les bandes K et C. La structure de base des filtres est une cavité bi-mode de forme conique arrondie pour tenir compte des contraintes de fabrication. Les résultats de simulations présentent des pertes par réflexion inférieures à -17,9 dB pour les bandes K et C et pour chacune, une bande passante relative d'environ 1%.

### 1. Introduction

Les services fournis par les télécommunications satellites vont de la couverture de larges zones terrestres à la formation de faisceaux et sont en constante amélioration. Ceci entraîne un besoin croissant en canaux fréquentiels et, par voie de conséquence, de filtres RF. Un filtre au sein d'un satellite fait partie de ses composants les plus volumineux. Son rôle est essentiel pour transmettre un signal sans perturbation ni distorsion. Il doit supporter des niveaux de puissance élevés, être très sélectif selon son utilité et le plus compact possible [1]. La nécessité d'une bonne tenue en puissance au sein des satellites oblige à utiliser des filtres basés sur la technologie volumique de guide d'onde métallique et ce en dépit de leur grand volume. Le travail présenté ici rentre dans cette optique.

Dans de nombreux travaux de la littérature [2][3], les limites sur les performances RF sont dues au procédé de fabrication, classiquement soustractif. La fabrication additive permet d'envisager de nouvelles topologies de filtre présentant des résultats prometteurs [4][5]. Le travail en [6] propose de prendre en compte les contraintes inhérentes à la fabrication additive dans la conception d'un filtre à cavités rectangulaires afin de pouvoir le fabriquer en une seule pièce. Les solutions présentées consistent à modifier la forme des iris de couplage et arrondir les angles pour faciliter la fabrication.

Dans la même optique qu'en [6], le travail ici présenté prend en compte le processus de fabrication additive dans la conception d'un filtre d'ordre 4. L'objectif est d'explorer les avantages et limites du procédé de fabrication par fusion sur lit de poudre dans la fabrication de filtres à cavités à base de guides d'ondes. Une étude est présentée pour les bandes K et C

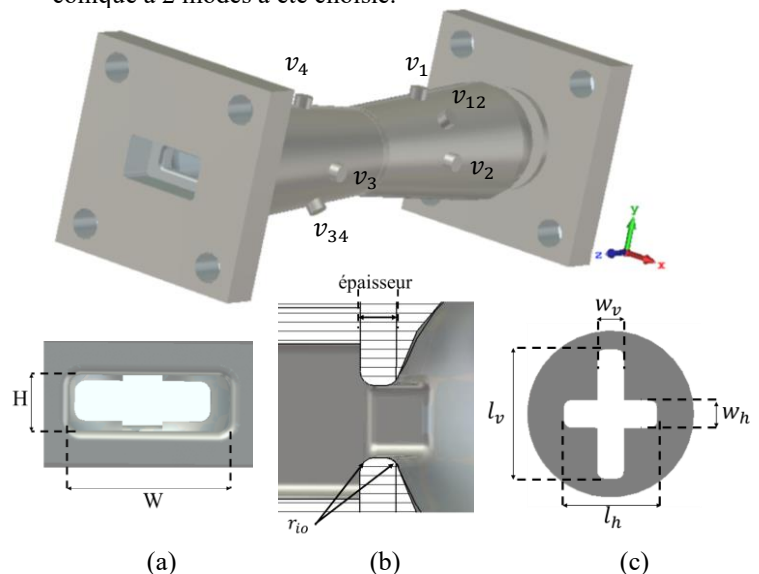
avec une fabrication en bande K pour comparaison des mesures aux simulations.

### 2. Conception du filtre

#### 2.a. Cavité résonante

Un des attendus importants de cette étude est la fabrication d'un filtre en une seule pièce. Pour le filtre étudié, illustré en figure 1, cela se concrétise par une réalisation selon l'axe de la longueur (axe z). En effet, pour les imprimantes 3D auxquelles nous avons accès, une couche supérieure ne peut être mise en place sans une couche inférieure. Cela impacte directement les topologies réalisables et impose par exemple de débiter et de terminer les cavités par des demi-sphères pour garantir une continuité lors de la fabrication.

L'étude repose sur la topologie connue des cavités résonantes cylindriques [7] à 2 modes dégénérés. Afin de rendre le filtre plus compact, l'utilisation d'une cavité conique à 2 modes a été choisie.



**Figure 1.** Vue globale du filtre en bande K (haut) – (a) coupe  $x0y$  iris entrée / sortie – (b) coupe  $y0z$  iris entrée / sortie – (c) iris inter cavités

#### 2.b. Vis de couplage et réglage

Les cavités coniques de la figure 2 ont 2 maxima d'énergie suivant z. Les vis sont placées sur celui à 35% de la longueur de la cavité en partant du centre du filtre.

La figure 2 décrit le fonctionnement du filtre. Le mode  $TE_{10}$  du guide d'entrée génère un premier mode vertical (couplage S-1 et 4-L). Les vis de couplage à 45° génèrent le mode horizontal de la cavité par couplage avec le mode vertical (couplage 1-2 et 3-4). Les iris en croix entre les cavités fournissent le couplage entre les modes de même polarisation (couplage 1-4 et 2-3).

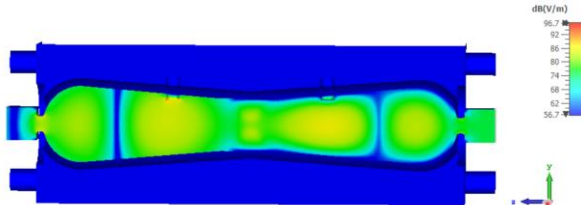


Figure 2. Maxima d'énergie en bande K

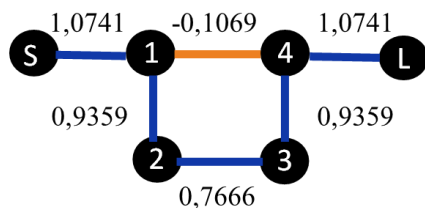
### 2.c. Iris de couplage

Le couplage inter-cavités est effectué par l'utilisation d'iris inductive de forme rectangulaire visibles à la figure 1. Un arrondi des iris de rayon  $r_{io}$  entre les ports d'accès et les cavités d'entrée et de sortie donne une transition continue améliorant ainsi les performances RF.

Dimensions	Bande K	Bande C
$W / H / r_{io}$	5,79 / 2 / 0,4	43,62 / 2 / 0,74
$l_v / w_v$	6,95 / 1,5	49,84 / 2
$l_h / w_h$	5,1 / 1,5	30,94 / 2
épaisseur	1	2

Tableau 1. Dimensionnement des iris en mm

Une des caractéristiques de ce filtre est que le couplage entre les résonateurs 2 et 3 de la figure 2 fixe la valeur du plus petit rayon de la cavité conique. Ceci s'explique par un couplage 2-3 (0,7666) plus fort que le couplage 1-4 (0,1069), le premier donnera une fente plus longue pour réaliser le couplage souhaité.



- S** : Ports entrée/sortie
- L** : Ports entrée/sortie
- N** : résonateur N=1...4
- (bleu) : couplage direct
- (orange) : couplage indirect

Figure 3. Topologie de couplage en forme repliée

## 3. Fabrication du Prototypage 3D

Le filtre illustré en figure 3 a été fabriqué en bande K au standard WR-34. La technique de fabrication consiste en une fusion sur lit de poudre de Ta6V avec une poudre granulo fine de 5 à 25 $\mu$ m. La machine FormUp350 v1 utilisée pour sa fabrication permet d'obtenir un premier prototype avec une rugosité moyenne de 10 $\mu$ m suivant l'orientation des surfaces lors de l'impression. Un traitement chimique a ensuite été réalisé permettant d'atteindre une rugosité de moyenne d'un  $\mu$ m.



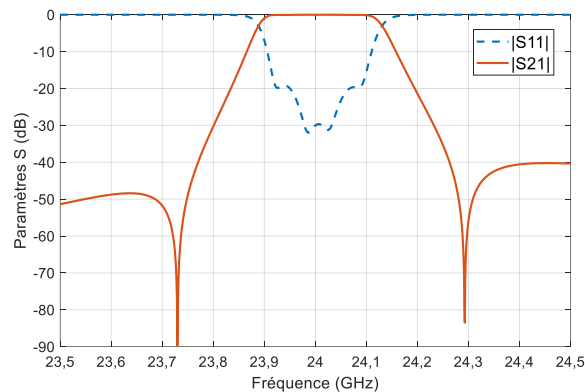
Figure 3. Prototype du filtre en bande K

Il est à noter que le filtre en figure 3 n'a pas reçu de revêtement d'un métal avec une meilleure conductivité électrique pouvant par la même occasion améliorer son état de surface. La géométrie externe du filtre reste cylindrique pour assurer le bon positionnement des vis de réglage et de couplage et leur maintien est assuré par l'utilisation d'un écrou et d'une bague dans laquelle s'insère la vis.

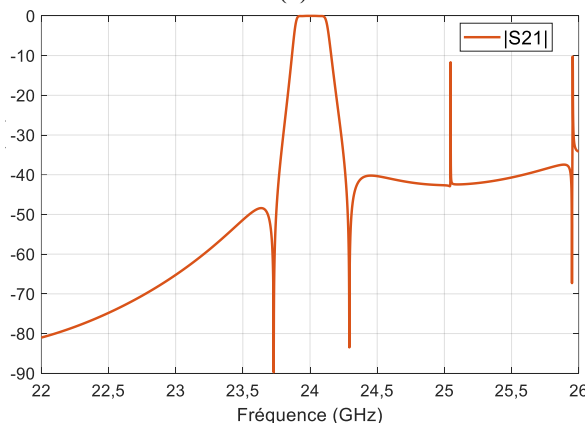
## 4. Performances RF en bande K & C

Une étude paramétrique sur le filtre en bande K montre que les tolérances de fabrication sont de 20 $\mu$ m. Cette précision étant difficilement atteignable en fabrication additive, un filtre de même bande passante relative en bande C a été conçu. Celui-ci étant plus volumineux, il est moins sensible aux variations de dimensions dues à la fabrication.

### 4.a. Bande K



(a)

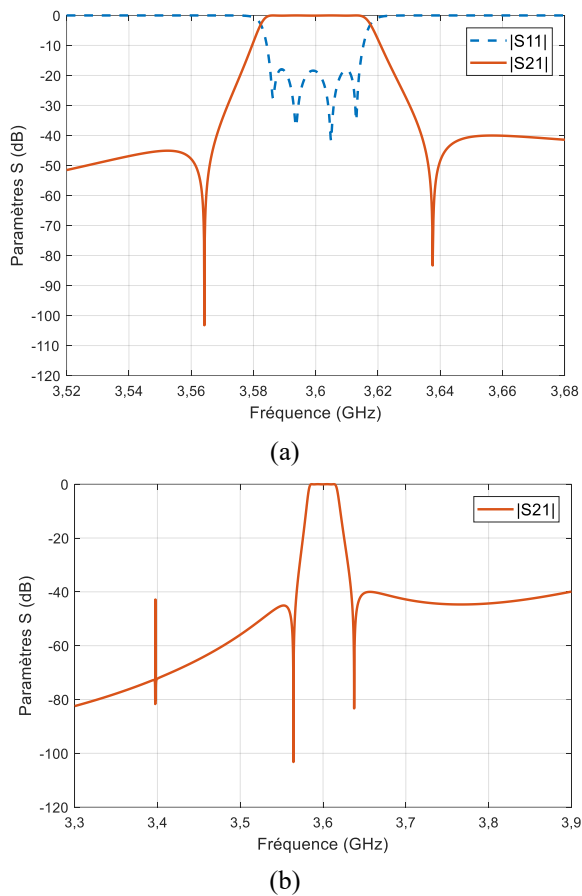


(b)

**Figure 4. (a) Résultats de mesure et de simulations du prototype fabriqué – (b) Performances hors bande passante**

Les dimensions du filtre sont réunies dans le tableau 1. La matrice de couplage définie en suivant la procédure dans la littérature [8] donne un filtre entièrement symétrique quelle que soit la bande de fréquence où il opère. La longueur d'une cavité est de 26,855 mm et le grand rayon du cône est de 5,06 mm. Cette valeur permet d'obtenir 2 GHz de bande de fréquences sans perturbation comme illustré en figure 4b.

#### 4.b. Bande C



**Figure 5. (a) Résultats de mesure et de simulations du prototype fabriqué – (b) Performances hors bande passante**

Le filtre a été conçu pour n'avoir aucune perturbation de 3,4 à 3,8 GHz (bande de fréquence de la 5G). Une contrainte de fabrication impose que le filtre ne peut être plus long que 350 mm dû à la taille de la machine fabricant le système. Le rayon maximal de la cavité conique de 38,21 mm a été défini pour placer la perturbation qu'il génère à une fréquence inférieure à 3,4 GHz permettant d'obtenir un filtre avec une cavité de longueur 146,83 mm et de longueur totale 339,66 mm.

Les dimensions de ce filtre rendent sa fabrication additive trop complexe pour être réalisé en une seule pièce. En effet, la croix de couplage en figure 1c n'est pas réalisable au vu de ses dimensions. Une réalisation de ce filtre devra passer par sa fabrication en plusieurs parties assemblés en 2<sup>ème</sup> temps.

La plus grande complexité de fabrication sera compensé par un gain en compacité car n'ayant plus besoin des demi-sphères aux extrémités des cavités, l'épaisseur des iris inter cavités sera plus faible. Les iris en croix seront alors plus petits (dimensions de  $l_h$  et  $l_v$ ) pour réaliser le couplage en figure 2 rendant le petit rayon de la cavité conique lui-même plus petit.

Résultats	Bande K	Bande C
Fréquence centrale (GHz)	24	3,6
Pertes par réflexion (dB)	19	17,9
Réjection (dB)	40	40
Bande passante (MHz)	242,6	35,2

**Tableau 2. Performances RF en bande K et C**

## 5. Conclusion

Deux filtres passe-bande d'ordre 4 en bande K et C ont été présentés. Ces filtres, composés de cavités de forme conique arrondies à leurs extrémités s'adaptent aux contraintes de la fabrication additive. Il a été montré qu'il est possible de choisir le rayon maximal de la cavité tel que la perturbation qu'il génère est repoussée loin de la bande de travail du filtre. Les résultats de mesure en bande K montrent des premiers résultats prometteurs dans le domaine de la fabrication additive. L'étude de différentes méthodes de fabrication et de traitement de surface seront réalisées pour améliorer les performances RF du système. L'étude faite en bande C montre une limite dans la fabrication additive d'un filtre en une pièce.

## 6. Remerciements

Nous remercions les entreprises AddUp et Satys pour leur collaboration dans le cadre de ce projet, sur le processus de fabrication du filtre, avec le laboratoire de l'IMEP – LaHC et l'entreprise AML Microtechnique Lorraine.

## Références

- [1] O. Roquebrun, « Filtres Microondes Rectangulaires Bimodes Utilisant les Modes Supérieurs » Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux, Octobre 2001
- [2] A. E. Atia and A. E. Williams, "Narrow-Bandpass Waveguide Filters," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 20, no. 4, pp. 258-265, Apr. 1972
- [3] B. Yassini and M. Yu, "A novel ka band dual mode super Q Cavity Filter," 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014), 2014, pp. 1-3
- [4] E. López-Oliver et al., "3-D-Printed Compact Bandpass Filters Based on Conical Posts," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 1, pp. 616-628, Jan. 2021
- [5] P. Booth and E. V. Lluich, "Enhancing the Performance of Waveguide Filters Using Additive

Manufacturing," in Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 4, pp. 613-619, April 2017

[6] P. Booth, "Additive Manufactured Bandpass Filters at Ka-band," 2019 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 2019, pp. 7-9

[7] S. Cogollos et al., "A Systematic Design Procedure of Classical Dual-Mode Circular Waveguide Filters Using an Equivalent Distributed Model," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, no. 4, pp. 1006-1017, April 2012.

[8] Cameron, Richard J., Chandra M. Kudsia and Raafat R. Mansour. "Microwave Filters for Communication Systems: Fundamentals, Design and Applications." (2007).