

Cellule déphaseuse en bipolarisation circulaire pour antenne à réseau réflecteur

Simon Mener, Raphaël Gillard, Ronan Sauleau, Cécile Cheymol, Patrick Potier

▶ **To cite this version:**

Simon Mener, Raphaël Gillard, Ronan Sauleau, Cécile Cheymol, Patrick Potier. Cellule déphaseuse en bipolarisation circulaire pour antenne à réseau réflecteur. 18èmes Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. hal-00870848

HAL Id: hal-00870848
https://hal.science/hal-00870848

Submitted on 11 Oct 2013

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.

18èmes Journées Nationales Microondes
15-16-17 Mai 2013 - PARIS

Cellule déphaseuse en bipolarisation circulaire pour antenne à réseau réflecteur

S. Mener[1], R. Gillard[1], R. Sauleau [2], C. Cheymol[3], P. Potier[4]

[1] : *Université Européenne de Bretagne, INSA, IETR, UMR CNRS 6164, 35708 Rennes, simon.mener@insa-rennes.fr, raphael.gillard@insa-rennes.fr*

[2] : *Université de Rennes 1, IETR, UMR CNRS 6164, 35042 Rennes, ronan.sauleau@univ-rennes1.fr*

[3] : *Centre National d'Etudes Spatiales CNES, 31401, Toulouse CEDEX 9, France, Cecile.Cheymol@cnes.fr*

[4] : *DGA Maîtrise de l'information, BP 57419, 35174, Bruz CEDEX, France, patrick.potier@dga.defense.gouv.fr*

Résumé

Une nouvelle cellule unitaire pour une antenne à réseau réflecteur reconfigurable en bipolarisation circulaire est proposée. Elle permet d'obtenir une résolution en phase d'environ 2 bits en réflexion pour les deux ondes incidentes en polarisation circulaire (droite et gauche). La cellule est étudiée et mesurée à 8,4 GHz et offre expérimentalement une bande passante de 320 MHz.

1. Introduction

Le contexte international sur les réseaux réflecteurs est très actif. Les réseaux réflecteurs reconfigurables sont très attractifs, notamment pour les applications aérospatiales puisqu'ils permettent par exemple d'obtenir un faisceau fin et dépointable. Dans ce contexte, l'utilisation de la bipolarisation circulaire est souhaitable car cela permet d'améliorer le débit et d'augmenter sensiblement la robustesse face aux perturbations et à la dépolarisation.

Dans cette communication, une cellule déphaseuse ayant la capacité de réfléchir indépendamment les deux orientations de la polarisation circulaire incidente est proposée. Cette cellule est composée de deux « couches » comme le montre la Figure 1 qui schématise le futur réseau reconfigurable. La première « couche » est composée d'une surface sélective en polarisation circulaire (*CPSS : Circular Polarization Selective Surface*) [1]. Cette structure permet ici de réfléchir la polarisation circulaire gauche (*LHCP : Left-handed Circular Polarization*) avec un déphasage de 2 bits et de transmettre la polarisation circulaire droite (*RHCP : Right-handed Circular Polarization*). La seconde « couche », placée sous la CPSS, est une cellule déphaseuse classique (comme dans [2] par exemple) permettant de réfléchir la polarisation circulaire droite également avec un déphasage de 2 bits. La cellule complète, visualisée Figure 1b, permet alors de réfléchir simultanément et indépendamment les deux orientations de la polarisation circulaire. Cette communication se focalise sur la validation expérimentale de la cellule déphaseuse complète.

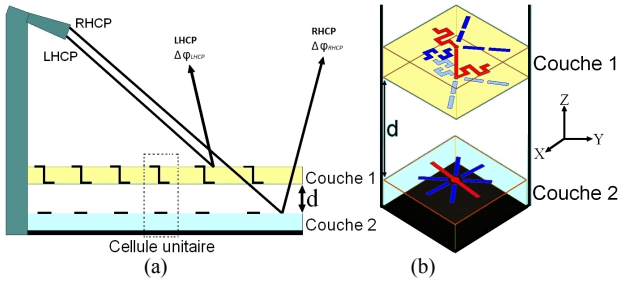


Figure 1. **(a) Représentation schématique de l'antenne à réseau réflecteur en bipolarisation circulaire. (b) Cellule unitaire.**

2. Description et validation expérimentale de la première couche de la cellule déphaseuse

Cette couche est composée d'une CPSS en polarisation circulaire gauche (LH-CPSS) qui permet de réfléchir la polarisation LHCP et de transmettre vers la seconde couche la polarisation RHCP (Figure 2).

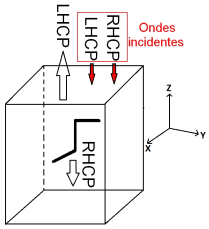
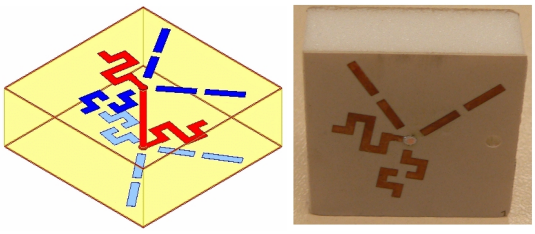


Figure 2. **Représentation basique du principe de la LH-CPSS**

La structure choisie est un brin résonant de longueur λ plié en 3 segments, ou cellule de Pierrot [3]. Les segments horizontaux (axes x et y) ont une longueur de $3\lambda/8$ et sont connectés par un segment vertical (axe z) de taille $\lambda/4$. Grâce à cette topologie, les courants induits sur les segments horizontaux s'ajoutent en phase (réflexion) ou en opposition de phase (transmission) en fonction de l'orientation de la polarisation circulaire incidente. Il est bien connu que la phase réfléchie d'une onde polarisée circulairement varie en fonction de l'angle de rotation de l'élément réfléchissant [4]. Afin d'obtenir quatre états de phase en réflexion LHCP (résolution de phase de 2 bits), il suffit donc d'appliquer quatre rotations appropriées au brin résonant. Quatre segments horizontaux sont ainsi nécessaires sur chaque face du substrat (Figure 3). Pour

activer l'un des quatre états de la cellule, il suffit de connecter les trois segments appropriés pour former le brin résonant orienté dans la direction souhaitée. La cellule étant placée dans une cavité métallique à section carrée, certains segments horizontaux doivent être « méandrés ». Il est important de noter que les segments horizontaux sont découpés en deux parties afin d'améliorer leur transparence vis-à-vis de l'onde incidente lorsqu'ils ne sont pas activés. Sur la Figure 3, le brin « actif » est représenté en rouge tandis que les segments parasites sont représentés en bleu. Plusieurs éléments de commutation (quatre pour chaque état) sont nécessaires pour connecter les différentes parties métalliques formant les différents brins résonants. Dans cette communication, les commutateurs sont supposés idéaux (circuit ouvert et court-circuit). La procédure d'optimisation, la représentation des quatre états de la cellule (couche 1) à états figés et l'empilement technologique sont décrits dans [5], [6] et [7].

La Figure 3 montre le prototype de CPSS fabriqué dans l'état 1. Les performances mesurées de cette CPSS à états figés sont satisfaisantes; la cellule offre des pertes en réflexion LHCP et en transmission RHCP inférieures à 1 dB sur 550 MHz de bande autour de 8,5 GHz. Quatre états de phases séparés de 90° sont obtenus en réflexion LHCP avec une distribution équirépartie entre 8,2 et 8,8 GHz (résolution de phase de 1,95 bits). La procédure de caractérisation et les performances détaillées (module/phase en réflexion LHCP et en transmission RHCP) sont décrites dans [7].

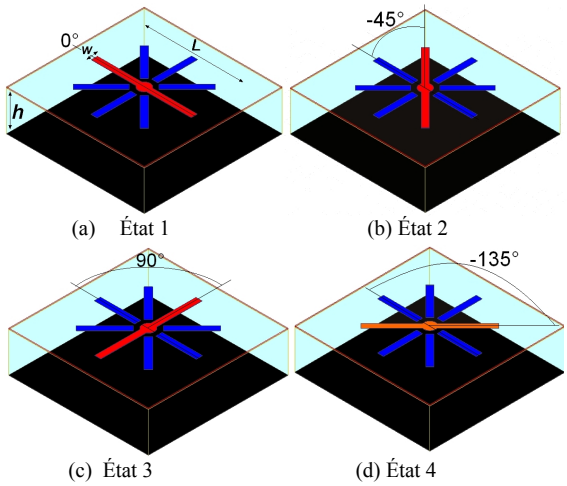


(a) (b)

Figure 3. Géométrie (a) et photographie (b) de la cellule CPSS (état 1).

3. Description et validation expérimentale de la seconde couche de la cellule déphaseuse

Comme décrit sur la Figure 1b, la seconde couche réfléchit l'onde incidente RHCP transmise à travers la première couche (CPSS). Ici, 4 dipôles placés au-dessus d'un plan de masse avec un angle de rotation approprié ont été optimisés afin de réfléchir l'onde RCHP incidente avec une résolution de phase de 2 bits. L'empilement technologique est identique à celui de la première couche [5]-[7]. La géométrie optimale des 4 états du dipôle optimisé est représentée Figure 4. Chaque configuration est composée d'un dipôle actif (en rouge sur la Figure 4) et de trois dipôles parasites (en bleu sur la Figure 4). Comme expliqué dans [7] pour la première couche, plusieurs composants de commutation (deux pour chaque état) sont nécessaires pour activer un dipôle parmi les quatre. Chaque dipôle actif est optimisé pour réfléchir totalement la composante parallèle au champ incident tandis que la composante croisée est réfléchie par le plan de masse. La longueur L du dipôle actif et la hauteur h ont été optimisées pour obtenir un excellent coefficient de réflexion. La hauteur h ne vaut pas $\lambda/4$ (valeur théorique pour garantir que le champ réfléchi a la même hélicité que l'onde incidente) à cause du couplage mutuel entre les dipôles. L'optimisation a été effectuée avec le logiciel Ansys-HFSS ©. Les paramètres principaux pour obtenir la géométrie optimale sont h, W et L. Les valeurs des angles de rotation vis-à-vis de l'état 1 (0°) sont les suivantes : -45° pour l'état 2 (déphasage de 90°), 90° pour l'état 3 (déphasage de 180°) et -135° pour l'état 4 (déphasage de 270°). Quatre maquettes ont alors été fabriquées afin de valider les bonnes performances en simulation. La Figure 5 représente un prototype de la seconde couche dans l'état 2. Les résultats expérimentaux montrent que l'onde RHCP est correctement réfléchie avec des pertes d'insertion inférieures à 1 dB sur 600 MHz de bande (autour de 8,5 GHz). De plus, quatre états de phases séparés de 90° sont obtenus avec la même dispersion fréquentielle.



(a) État 1 (b) État 2

(c) État 3 (d) État 4

Figure 4. Etats optimisés de la seconde couche de la cellule unitaire. L=16,6mm, w=1mm, h=6,5mm.



Figure 5. Prototype fabriqué de la seconde couche (état 2).

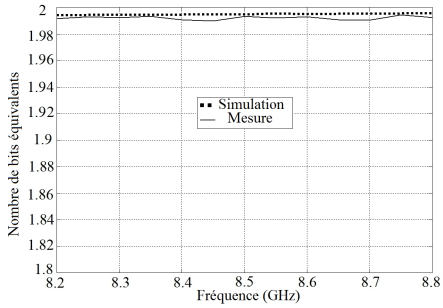


Figure 6. Nombre de bits équivalent en fonction de la fréquence.

La procédure de mesure, décrite dans [7], est identique à celle de la première couche. Le nombre de bits équivalent simulé et mesuré est représenté sur la

Figure 6. Sa valeur expérimentale est excellente, elle atteint presque la valeur simulée de 1,99 bits.

4. Validation expérimentale de la cellule complète (couche 1 + couche 2)

Dans cette partie, la couche CPSS validée antérieurement est assemblée à la seconde couche (dipôle) pour aboutir à la cellule finale. La cellule unitaire ainsi obtenue constituera la brique de base pour un futur réseau réflecteur reconfigurable en bipolarisation circulaire. Les 16 configurations de la cellule complète sont données dans le Tableau 1.

Comme montré dans [7], l'isolation en polarisation de la CPSS est très bonne mais n'est pas idéale. En effet, environ 10% de la puissance n'est pas correctement gérée (les coefficients de réflexion et de transmission croisées valent environ -20 dB à 8,5 GHz). De ce fait, des ondes parasites incontrôlables, avec une polarisation inappropriée, sont susceptibles de perturber le mode de fonctionnement recherché. Les simulations numériques montrent que la distance *d* séparant les deux couches (Figure 1) joue un rôle primordial et doit être optimisée car elle influence les possibles recombinaisons des différentes ondes (contrôlées et incontrôlées). La procédure d'optimisation est d'autant plus complexe que la valeur de *d* doit être ajustée simultanément pour les 16 configurations. L'optimisation a été réalisée avec le logiciel Agilent-ADS © en cascadant les paramètres *S* des deux couches, extraits à partir du logiciel HFSS. L'optimisation consiste à maximiser le nombre total de configurations présentant des pertes inférieures à 1dB pour la réflexion LHCP et RHCP. Pour faciliter l'optimisation et afin de mieux contrôler les recombinaisons, il est préférable que la phase de l'onde RHCP réfléchie varie le plus lentement possible. Cela justifie l'utilisation d'un substrat de faible permittivité également pour la couche 2. La Figure 7 montre l'empilement technologique de la seconde couche (Figure 7a) et le prototype fabriqué dans la configuration 5 (Figure 7b).

Configuration	Couche1 (CPSS)	Couche 2 (Dipôle)	Phase LHCP prévue à 8,5 GHz	Phase RHCP prévue à 8,5 GHz
1	État 1	État 1	0°	0°
2	État 1	État 2	0°	90°
3	État 1	État 3	0°	180°
4	État 1	État 4	0°	270°
5	État 2	État 1	90°	0°
6	État 2	État 2	90°	90°
7	État 2	État 3	90°	180°
8	État 2	État 4	90°	270°
9	État 3	État 1	180°	0°
10	État 3	État 2	180°	90°
11	État 3	État 3	180°	180°
12	État 3	État 4	180°	270°
13	État 4	État 1	270°	0°
14	État 4	État 2	270°	90°
15	État 4	État 3	270°	180°
16	État 4	État 4	270°	270°

Tableau 1. Caractéristiques des 16 configurations de la cellule complète.

La Figure 8 représente l'évolution de la bande passante de la cellule complète pour plusieurs distances séparant les deux couches. La bande passante est définie comme la plage de fréquence sur laquelle les pertes d'insertion en réflexion LHCP et RHCP sur les 16 configurations sont inférieures à 1dB. La distance *d* optimale est 20mm. Les modules des coefficients de réflexion expérimentaux pour les 16 configurations sont représentés respectivement en LHCP et en RHCP sur les Figures 9a et 9b.

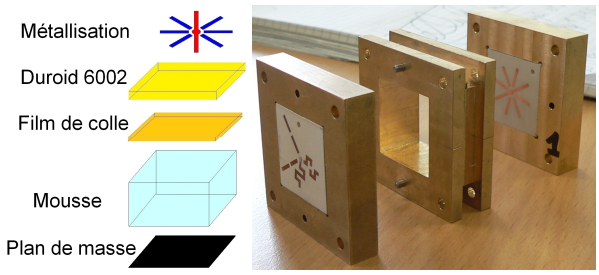


Figure 7. (a) Empilement technologique de la seconde couche. (b) Mise en cascade des prototypes des deux couches pour former la cellule complète.

Ces figures démontrent que la cellule complète offre des performances satisfaisantes sur une bande passante de 320 MHz (entre 8,22 et 8,54 GHz) pour des pertes d'insertions inférieures à 1 dB dans les deux polarisations. Comme montré sur la Figure 9a, la bande passante est limitée par des résonances qui apparaissent pour quelques configurations (par exemple à 8,21 GHz pour la configuration 13 et à 8,58 GHz pour la configuration 12). Ces résonances sont causées par une recombinaison en opposition de phase des ondes contrôlées et incontrôlées, comme expliqué ci-dessus. La Figure 10 représente la phase réfléchie expérimentale de la cellule complète en LHCP (Figure 10a) et en RHCP (Figure 10b). Quatre états de phases séparés de 90° sont obtenus avec la même dispersion fréquentielle en LHCP et en RHCP, respectivement pour les 4 états de la première et de la seconde couche. Le nombre de bits équivalents simulé et mesuré est donné sur la Figure 12 pour une illumination LHCP (Figure 12a) et RCHP (Figure 12b). Ces résultats montrent que la cellule unitaire proposée offre une résolution de phase meilleure que 1,92 bits sur la bande [8,2-8,55GHz] pour les deux orientations de la polarisation circulaire.

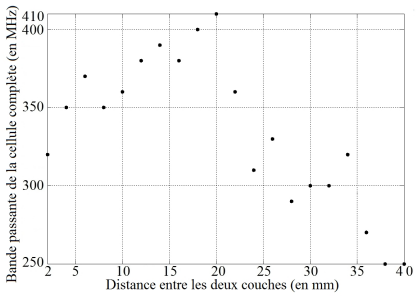
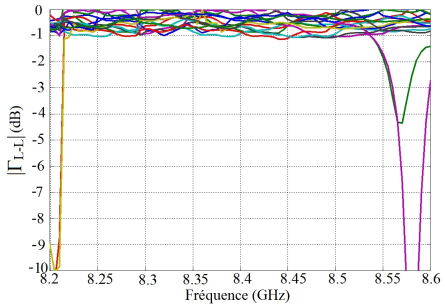
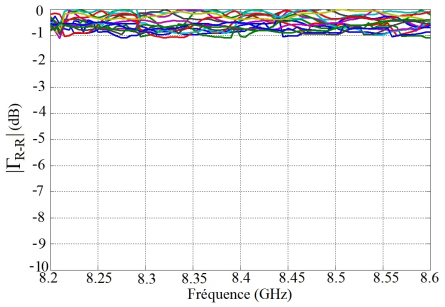


Figure 8. Bande passante de la cellule complète en fonction de la distance *d*.

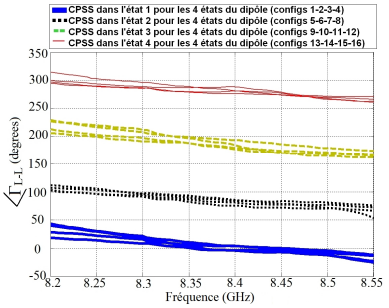


(a)

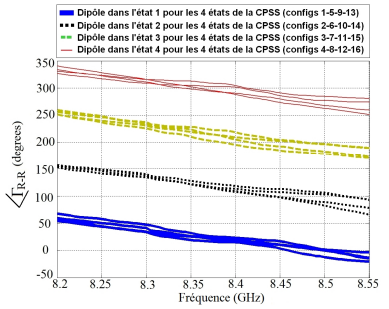


(b)

Figure 9. Module du coefficient de réflexion mesuré pour les 16 configurations de la cellule complète en fonction de la fréquence. (a) LHCP. (b) RHCP.

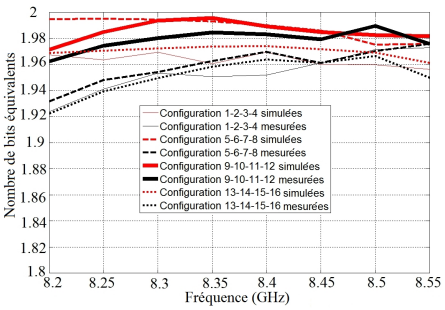


(a)

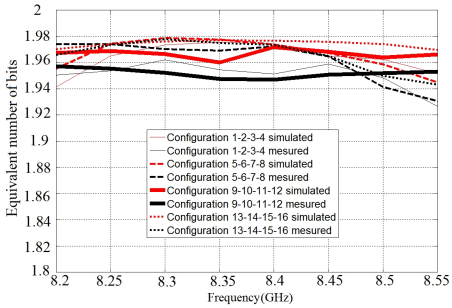


(b)

Figure 10. Phase du coefficient de réflexion mesurée pour les 16 configurations de la cellule complète en fonction de la fréquence. (a) LHCP. (b) RHCP.



(a)



(b)

Figure 11. Nombre de bits équivalents simulé et mesuré. (a) Onde incidente LHCP. (b) Onde incidente RHCP.

5. Conclusion

Une cellule déphaseuse a été proposée pour une antenne à réseau réflecteur en bipolarisation circulaire. Une validation expérimentale complète a été menée. Les performances obtenues montrent qu'il est possible de réfléchir les deux ondes incidentes avec un déphasage de 2 bits et des pertes inférieures à 1 dB sur 320 MHz de bande autour de 8,4 GHz. Il s'agit à notre connaissance de la première cellule déphaseuse pour réseau réflecteur qui permette de gérer indépendamment et simultanément les deux orientations de la polarisation circulaire tout en offrant des capacités de reconfigurabilité.

Remerciements

Les auteurs remercient le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) et la DGA (Direction Générale de l'Armement) pour leur aide financière.

6. Bibliographie

[1] J. E. Roy et L. Shafai, *« Reciprocal circular-polarization selective surface »*, IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 38, no. 6, pp. 18-33, Déc. 1996.

[2] E. Girard, R. Moulinet, et R. Gillard, *« An FDTD optimization of a circularly polarized reflectarray unit cell »*, *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symposium*, San Antonio, TX, vol. 3, pp. 136-139, Juin. 2002.

[3] R. Pierrot, « Éléments résonnants en polarisation circulaire et réflecteur semi-transparent composé de ces éléments », Brevet français 89.609, no. 1.512.598, 1966.

[4] J. Huang et J.A. Encinar, *« Reflectarray antennas »*, Wiley-IEEE Press, ISBN: 978-0-470-08491-5, Nov. 2007

[5] S. Mener, R. Gillard, R. Sauleau, C. Cheymol, et P. Potier, *« A CPSS-based reflectarray cell with reconfigurable capabilities»*, Proceedings of the 6th European Conference Antennas and Propag., Prague, Republique Tchèque, 26-30 Mar. 2012.

[6] S. Mener, R. Gillard, R. Sauleau, C. Cheymol, et P. Potier, *« Design of a CPSS-based reflectarray cell with controllable reflected phase for dual circularly polarized reflectarrays »*, Proceedings of the 15th Int. Symp. on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, Toulouse, France, 25-28 Juin. 2012.

[7] S. Mener, R. Gillard, R. Sauleau, C. Cheymol, and P. Potier, "Design and characterization of a CPSS-based unit-cell for circularly-polarized reflectarray applications," *IEEE Trans. Antennas Propag,* to appear (vol. 61, no. 04, 2013).