



**HAL**  
open science

## Conception d'une antenne à éléments parasites pilotés pour une application sur lanceur spatial

Marc Thevenot, Cyrille Menudier, Charles Emmanuel Couty, Anthony  
Disserand, Lecerf Nathalie

### ► To cite this version:

Marc Thevenot, Cyrille Menudier, Charles Emmanuel Couty, Anthony Disserand, Lecerf Nathalie.  
Conception d'une antenne à éléments parasites pilotés pour une application sur lanceur spatial. 22èmes  
Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges, France. hal-03877249

**HAL Id: hal-03877249**

**<https://hal.science/hal-03877249>**

Submitted on 29 Nov 2022

**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'une antenne à éléments parasites pilotés pour une application sur lanceur spatial

Charles Couty<sup>1</sup>, Marc Thevenot<sup>1</sup>, Cyrille Menudier<sup>1</sup>, Nathalie Lecerf<sup>2</sup>, Anthony Disserand<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire UMR CNRS 7252 XLIM 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges

<sup>2</sup> ArianeGroup SAS, Rue du Général Niox, BP 30056, 33166 Saint Médard en Jalles Cedex

<sup>3</sup> Cisteme 12, rue Gémini, Bâtiment 2 | 87068 Limoges Cedex

**Résumé** – Le présent article porte sur la réalisation d'une antenne agile fonctionnant en bande S (2.2-2.3GHz) pour une utilisation sur lanceur spatial. Etant donné les contraintes d'environnement liées à l'application, les niveaux de puissance à rayonner (40W) et les contraintes d'encombrement, le choix d'architecture s'est porté sur une antenne à éléments parasites pilotés. Cet article présente le principe de réalisation ainsi que les performances des déphaseurs en réflexion d'un premier modèle de démonstrateur à polarisation linéaire en vue de la définition d'un modèle plus complet vérifiant l'ensemble des spécifications du cahier des charges.

### 1. Concept de l'AEPP

Le principe de fonctionnement des antennes à éléments parasites pilotés (AEPP) se base sur l'exploitation des couplages entre plusieurs éléments rayonnants. Dans le cadre de cette étude, l'antenne sera composée d'un réseau d'éléments rayonnants dont seul l'élément central sera connecté. Le signal sera induit par couplages de proximité dans les éléments environnants non alimentés. En chargeant ces éléments parasites par des déphaseurs en réflexion, il est alors possible d'optimiser la sommation des ondes rayonnées par l'ensemble de ces contributeurs. Le principe de configuration d'une telle antenne est illustré figure 1.

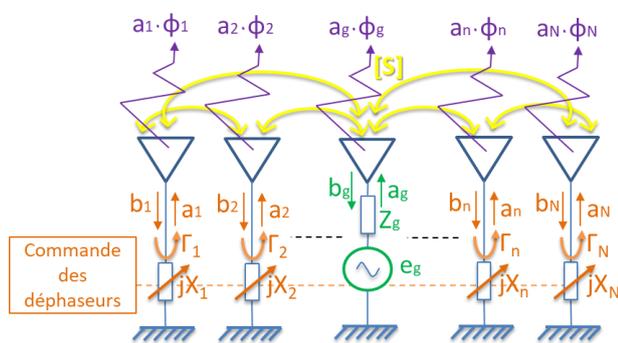


Figure 1 : Architecture d'antenne à éléments parasites pilotés (AEPP)

Ce type d'architecture a déjà montré sa viabilité, et été étudié pour différentes configurations d'éléments alimentés et différents types d'éléments rayonnants [2], [3]. Son principal avantage comparé à un réseau d'antennes est une plus grande simplicité d'architecture (absence de circuit formateur de faisceau et un seul

élément à adapter) permettant la réduction des coûts, l'encombrement et la consommation par rapport à une architecture d'antenne plus conventionnelle. Le composant critique de ce type d'antenne est le déphaseur en réflexion dont les performances (pertes, excursion disponible) seront directement liées à celles des modes de rayonnements.

### 2. Développement d'un déphaseur en réflexion

Dans les antennes à éléments parasites, ce sont les performances des déphaseurs pilotés connectés aux éléments parasites qui conditionnent les performances de l'antenne. L'optimisation d'une architecture de déphaseur est donc un enjeu préalable à la conception de l'antenne.

Cette architecture de déphaseur devra satisfaire les exigences du cahier des charges de l'antenne en termes de tenue en puissance admissible et les exigences de performances RF en termes d'amplitude de déphasage et de limitation des pertes d'insertion.

#### 2.a. Optimisation d'une architecture de déphaseur en réflexion

Pour notre application, il n'existe pas de déphaseur en réflexion disponible « sur étagère » répondant aux besoins du cahier des charges et à nos exigences fonctionnelles. Nous avons donc été amené à développer des déphaseurs pilotés à partir d'une association de plusieurs composants du commerce. Ces déphaseurs utiliseront un coupleur hybride connecté à des capacités pilotées. Les références sélectionnées sont pour le coupleur hybride, le modèle XC2100E de la marque ANAREN et pour les capacités le modèle STPTIC 27C4 de la marque STmicroelectronics (Capacité de 0.6 à 2.6pF).

Dans cette partie, nous expliquons comment nous optimisons les performances du déphaseur en réflexion.

Chaque capacité s'interpose entre un port du coupleur hybride et le plan de masse par l'intermédiaire de deux tronçons de ligne (« TLi » et « Lcc »). Le schéma de la figure 2 illustre la constitution de ce dispositif.

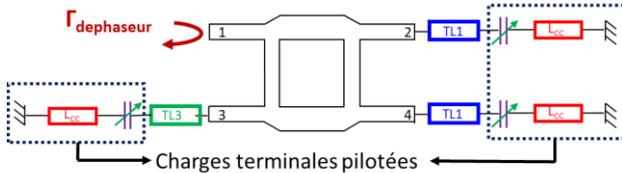


Figure 2 : Schéma de principe du déphaseur en réflexion

Ces composants ont été sélectionnés pour leur forte tenue en puissance (données constructeur : 100W pour le coupleur hybride et 10W pour la varicap), leurs performances (faibles pertes et forte excursion de valeur de capacité) et leurs dimensions compactes.

L'optimisation du déphaseur, élément clé de l'antenne, relève du mode d'association des charges terminales (elles-mêmes préalablement définies pour offrir les meilleurs performances possibles) et du coupleur à l'aide de longueurs de lignes assurant des interactions les plus favorables possibles entre ces deux éléments

La première étape de l'étude porte sur la charge terminale : les tronçons de ligne séparant les varicaps des courts-circuits (Lcc) permettent de moduler l'excursion de phase offerte par l'ensemble des états de polarisation (0-24V). La figure 3 résume le niveau de perte maximum et l'excursion disponible de la charge en réflexion en fonction de la longueur Lcc et de la polarisation disponible de la varicap, à 2.25 GHz. Cette propriété est déduite d'une extraction expérimentale des paramètres S de la varicap. Les représentations en abaque de Smith visualisent l'importance de Lcc avec deux cas particuliers : Lcc=7mm et Lcc=30mm. Le coefficient de réflexion de la charge dépend donc des états de la varicap et de Lcc :

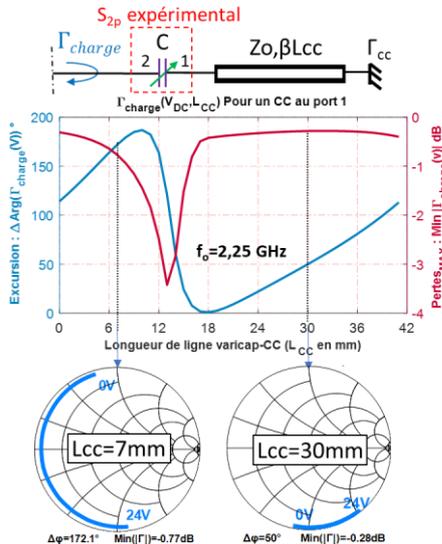


Figure 3 : influence de la longueur de ligne Lcc sur le coefficient de réflexion de la varicap en réflexion

A ce stade, on note que la varicap permet de produire une excursion de phase de 180° mais n'offre pas l'amplitude suffisante à l'obtention du déphasage nécessaire au fonctionnement de l'antenne. La deuxième partie de l'optimisation consiste à connecter ces charges terminales au coupleur. Des tronçons de ligne (TL1 et TL3) entre les varicaps et le coupleur hybride permettent d'optimiser les

compromis entre les pertes d'insertion et l'amplitude de déphasage pour le déphaseur en réflexion. Ainsi, le choix du mode de fonctionnement du déphaseur se fait en choisissant, pour une charge en réflexion (varicap+Lcc) donnée, le couple de longueurs [TL1,TL3] optimum.

La figure 4 illustre la dépendance des propriétés du déphaseur en réflexion à l'égard des dimensions TL1 et TL3 (pour Lcc=0mm, voir figure 3). Il s'agit d'une représentation globale qui prend en compte toute la plage d'excursion offerte par chaque capacité. Ainsi on observe le maximum des pertes d'insertion (graphe du haut) parmi tous les états de la capacité et l'amplitude de variation du déphasage (graphe du bas). Le choix des dimensions TL1 et TL3 est guidé par l'obtention simultanée d'une amplitude de déphasage proche de 360° et de pertes d'insertion minimales.

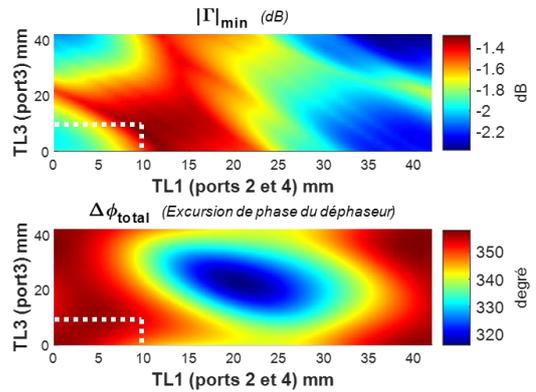


Figure 4 : Les longueurs TL1=TL3=10mm permettent (dans le cas où Lcc=0mm) une excursion de phase de 353° pour des pertes d'insertion inférieures à 1.4dB

## 2.b. Performances du déphaseur en réflexion

Le substrat choisi pour réaliser les déphaseurs est le ROGERS 4003C (h=1.524mm,  $\epsilon_r=3.55$ ,  $\tan\delta=0.0021$ ), ses pertes faibles et son coût modéré en font un choix intéressant pour valider le concept de fonctionnement du déphaseur. Le guide d'onde utilisé sera du type coplanaire, auquel sera ajouté un plan de masse inférieur (guide « CPWG : Coplanar Waveguide Grounded »). Nous avons retenu les longueurs TL1=10mm et TL3=10mm qui pourront garantir 353° d'excursion de phase pour un maximum de pertes inférieure à 1.4dB, comme illustré figure 5

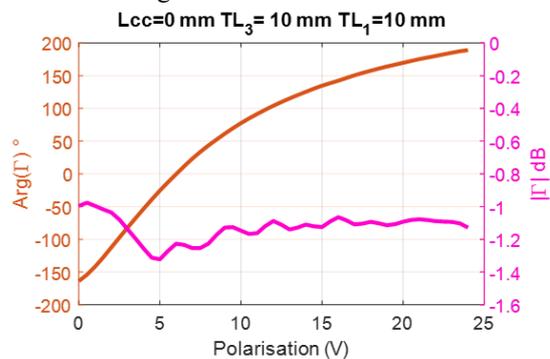


Figure 5 : Modèle théorique du déphaseur : pertes d'insertion (violet) et valeur du déphasage (orange) en fonction de la tension de contrôle

Le modèle de déphaseur ainsi défini a été réalisé et mesuré. Le circuit, qui sera intégré à l'antenne, et ses performances sont présentés figure 6.

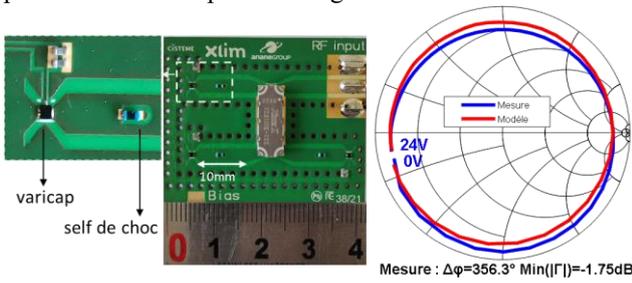


Figure 6 : Architecture et performances du déphaseur en réflexion caractérisé

La grande similarité entre la mesure et les performances attendues confirme l'acuité de la modélisation. Les différences en termes de pertes peuvent être dues à des dispersions associées aux composants et/ou à des variations dans leur montage sur les circuits imprimés. Le faible niveau de pertes max (1.8dB) associé à la forte excursion de phase du déphaseur en font un élément plus performant que tous ceux utilisés lors des précédentes réalisations d'AEPP.

Une caractérisation en puissance du déphaseur a également été effectuée jusqu'à sa rupture. Cette dernière se produit à partir d'une puissance incidente de 14W. Cette expérience a également mis en évidence la non-linéarité de la varicap : la plage d'excursion de phase parcourue diminue de façon quasi-linéaire avec l'augmentation de la puissance incidente

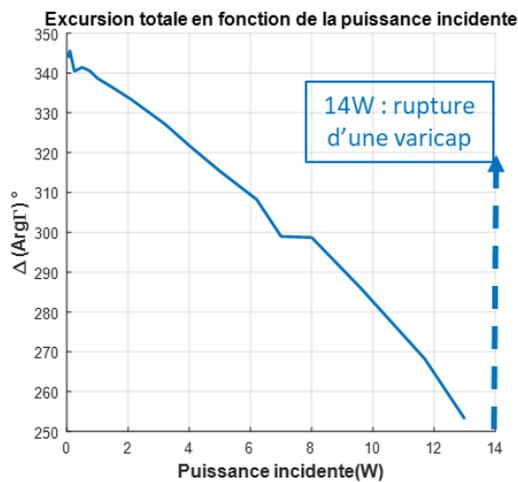


Figure 7 : Caractérisation en puissance du déphaseur : plage d'excursion disponible en fonction de la puissance incidente

### 3. Réalisation de l'AEPP

Le substrat utilisé pour réaliser la partie rayonnante est le même que celui du déphaseur (RO4003C). Après la comparaison de différentes mailles de répartition et formes d'éléments rayonnants, le choix s'est porté sur la réalisation d'un panneau constitué de 37 patchs de forme circulaires répartis sur une maille triangulaire et espacés de  $0.31\lambda$  (41.33mm) afin d'assurer un fort niveau de couplage (jusqu'à -10dB) entre éléments rayonnants. La

forte épaisseur du panneau rayonnant (superposition de 3 couches d'épaisseur 1.54mm) permet d'obtenir une bande passante suffisamment large pour valider le cahier des charges.

Le panneau réalisé (dimension de la partie rayonnante : 330mmx300mm), intégrant les éléments rayonnants, les déphaseurs et le système de pilotage est présenté figure 8.

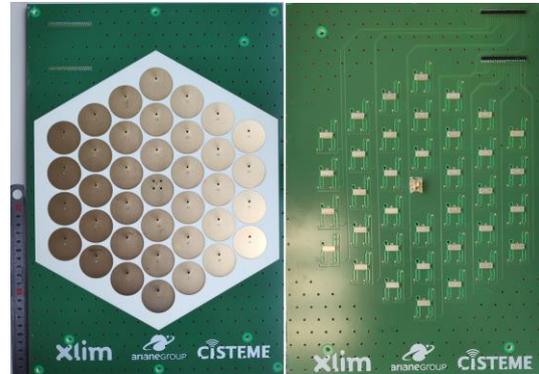


Figure 8 AEPP réalisée : Eléments rayonnants de la face avant (gauche) et déphaseurs en face arrière (droite)

### 4. Performances de l'AEPP

L'antenne réalisée a été mesurée dans trois modes de fonctionnement différents : visée dans l'axe, dépointages dans le plan H (plan  $\varphi=90^\circ$ ) et dans le plan E (plan  $\varphi=0^\circ$ ). Les résultats des deux premières visées sont présentés figure 9 (adaptation de l'antenne) et figure 10 (diagramme en gain).

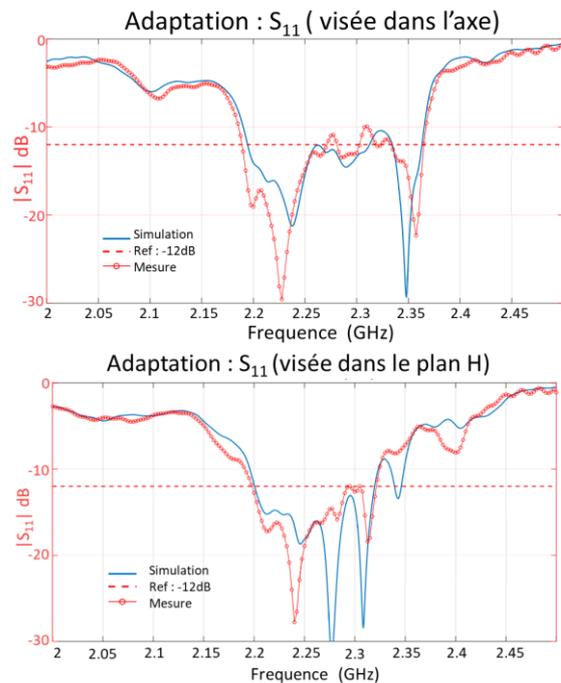


Figure 9 : Adaptation de l'antenne pour deux visées:  $[\theta_o=0^\circ]$  et  $[\theta_o=50^\circ, \varphi_o=0^\circ]$

Pour chacune des visées, les niveaux d'adaptation mesurés restent très proches de ce qu'ils devraient être et ce, sur toute la bande de fonctionnement de l'antenne.

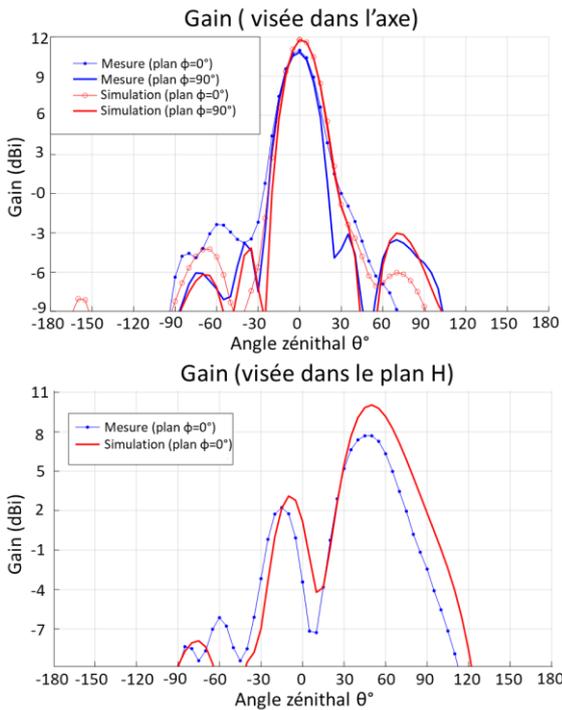


Figure 10 : Gain de l'antenne pour deux visées :  $[\theta_0=0^\circ]$  et  $[\theta_0=50^\circ, \varphi_0=0^\circ]$

Cette corrélation n'est pas vérifiée en termes de diagramme rayonné : Bien que la répartition des niveaux de gain suive la tendance attendue et que leur maximum se situe dans les directions souhaitées, leurs valeurs sont inférieures à ce qu'elles devraient être. Ces erreurs dans les modes de fonctionnement de l'antenne sont susceptibles d'avoir pour origine des déphaseurs défaillants. Cette hypothèse n'a pour l'instant pas pu être totalement vérifiée car les déphaseurs ne peuvent être déconnectés de l'antenne.

## 5. Discussion

Le dysfonctionnement de l'antenne est confirmé par la comparaison avec une deuxième antenne, réalisée parallèlement à celle mesurée précédemment. Cela est illustré figure 11 avec une superposition de l'adaptation des deux antennes dans le cas des mesures de la visée dans le plan E (mêmes tensions de polarisations sur tous les déphaseurs).

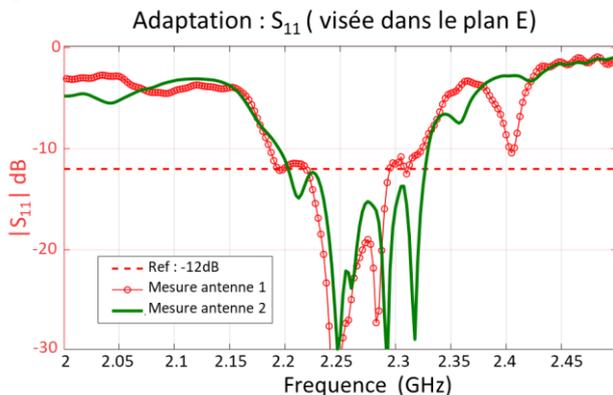


Figure 11 : Comparaison de l'adaptation des deux antennes : visée  $[\theta_0=40^\circ, \varphi_0=90^\circ]$

La nature entièrement intégrée de l'antenne ne permettant pas de diagnostiquer précisément les composants défaillants (qui ne sont pas les mêmes pour chacune des antennes), il n'est pas possible d'envisager de les remplacer.

Une étude de fiabilité a cependant pu être faite à partir de la mesure d'un ensemble de 12 déphaseurs identiques munis d'un connecteur SMA et réalisés suivant la même configuration et dans la même série de fabrication que celui présenté figure 6. Dans ce lot, un déphaseur s'est révélé défaillant sans qu'il n'ait été possible d'en identifier la cause (composant défaillant ou mauvais report de composant, défaut du circuit imprimé...)

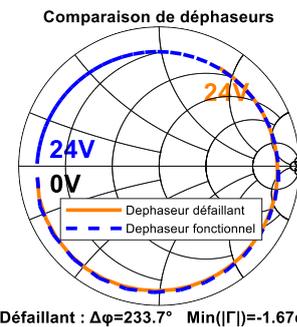


Figure 11 : Mise en évidence d'un déphaseur défaillant

## 6. Conclusion

Une méthode d'optimisation de déphaseur en réflexion a été décrite et validée expérimentalement avec des performances inédites tant en termes d'efficacité RF qu'en tenue en puissance.

Malgré des défaillances vraisemblablement d'ordre technologique toujours à identifier, ce démonstrateur a permis de valider la faisabilité d'une architecture entièrement intégrée.

Dans l'optique de valider tous les critères du cahier des charges, un second démonstrateur dont le champ rayonné sera polarisé circulairement est en cours d'étude et sera dans un premier temps réalisé en configuration connectorisée afin de s'affranchir des dysfonctionnements dus à d'éventuels déphaseurs défectueux.

Ces travaux ont été réalisés avec le soutien de la Région Nouvelle Aquitaine.

## Références

- [1] Harrington, R. « Reactively Controlled Directive Arrays ». IEEE Transactions on Antennas and Propagation 26, n° 3 (mai 1978): 390-95.
- [2] Teillet, P., M. Thevenot, C. Menudier, et P-Y. Fulchiron. « Low Cost S-band Beamsteering Antennas for Long Range Professional UAV ». In 2019 49th European Microwave Conference (EuMC), 726-29, 2019.
- [3] Hala Al Zein, « Développements de nouvelles architectures d'antennes reconfigurables pour les applications de télécommunications de 5ème génération », 2020, 239.
- [5] FR3045957B1, Brevet d'invention « Système antennaire de type réseau », 17.12.2015