



**HAL**  
open science

## **Antenne à fentes à cavité pour fusée expérimentale**

Thibault Despoisse, Anthony Ghiotto, Alexandre Marque, Serge Villers, John Nicot, Anthony Gautier, Xavier Lamboley, Serge Destor

► **To cite this version:**

Thibault Despoisse, Anthony Ghiotto, Alexandre Marque, Serge Villers, John Nicot, et al.. Antenne à fentes à cavité pour fusée expérimentale. XXèmes Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01525536

**HAL Id: hal-01525536**

**<https://hal.science/hal-01525536>**

Submitted on 21 May 2017

**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.

## Antenne à fentes à cavité pour fusée expérimentale

T. Despoisse<sup>1,2</sup>, A. Ghiotto<sup>1,2</sup>, A. Marque<sup>1,2</sup>, S. Villers<sup>3</sup>, J. Nicot<sup>1,2</sup>, A. Gautier<sup>1</sup>, X. Lamboley<sup>1</sup>, S. Destor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EirSpace, Bordeaux INP - ENSEIRB MATMECA, 1 av. du Dr. Albert Schweitzer, 33402 Talence

<sup>2</sup>Laboratoire IMS, Bâtiment A31, 351 cours de la Libération, 33400 Talence

<sup>3</sup>Airbus Safran Launchers, rue du général Niox, 33165 Saint-Médard-en-Jalles  
thibaut.despoisse@ims-bordeaux.fr

**Résumé** – Ce papier présente une antenne à fentes à cavité intégrée dans le fuselage d'une fusée expérimentale. L'antenne a été conçue grâce au logiciel ANSYS HFSS pour un système de télémesure émettant entre 869,4 et 869,65 MHz. Elle offre un gain réalisé de 6,2 dBi en simulations. La fabrication et les mesures de paramètres  $S$  de cette topologie inédite pour l'application sont présentées.

### 1. Introduction

Les fusées expérimentales permettent d'embarquer dans des lanceurs de nombreuses expériences afin de tester et valider de nouvelles technologies. Elles constituent l'outil idéal pour les étudiants voulant acquérir de nouvelles connaissances tout en se confrontant à certaines contraintes du spatial. En effet, ces projets demandent des qualités techniques, humaines et de nombreux compromis. Le projet *Athena* est le résultat d'un partenariat entre les étudiants du club EirSpace de l'ENSEIRB-MATMECA et des entreprises comme Airbus Safran Launchers ou Thales qui, très intéressés par ce genre de projets, apportent un soutien technique et financier. Enfin, le CNES et l'association Planète-Sciences organisent chaque année une campagne de lancement des fusées, le C'Space, qui permet de valider les expériences embarquées [1].

Pour être exploités après le vol, les résultats des expériences sont enregistrés à bord ou transmis au sol via une liaison radio fréquence. Les antennes des systèmes d'émission des fusées sont imaginées et conçues pour s'intégrer dans chaque fusée. De nombreuses solutions ont été proposées comme des antennes monopoles, planaires ou d'autres plus originales [2]. Le club EirSpace a déjà développé plusieurs antennes innovantes pour fusées expérimentales [3-4], mais c'est la première fois dans la littérature qu'une antenne à fentes à cavité est proposée pour ce type d'applications.

Après avoir analysé le cahier des charges de Planète-Sciences et le plan de vol, une étude théorique de l'antenne à fentes est réalisée. Ensuite, on détaillera sa conception et sa fabrication pour conclure avec les mesures effectuées, une comparaison avec d'autres solutions de télémesure pour fusées expérimentales, les résultats du vol et les perspectives du projet.

### 2. Cahier des charges

#### 2.a. Normes

En France, les normes de télécommunications sont fixées par l'ARCEP et l'ANFR qui autorisent l'émission sur les bandes ISM (Industrielles, scientifiques et médicales) autour de 868 et 2400 MHz. Le club a déjà utilisé ces fréquences pour différents projets [3-4].

Nous avons choisi la bande 868 MHz et plus exactement de 869,4 à 869,65 MHz où la PIRE maximale autorisée par Planète-Sciences est de 200 mW pendant 10% du temps. Cela nous permet de bénéficier d'une portée accrue tout en ayant suffisamment de débit pour permettre de qualifier la liaison. Les mesures sont également enregistrées sur une carte SD.

#### 2.b. Plan de vol

Le *StabTraj*, logiciel fourni par Planète-Sciences pour estimer la stabilité et la trajectoire de la fusée, détermine l'apogée d'*Athéna* autour de 1200 m. Sachant que le récepteur est à environ 1 km du pas de tir, la distance maximale  $D$  entre la fusée et la station est estimée à 1562 m, soit des pertes de transmission  $P_T$  de 95,1 dB d'après la formule de Friis (1) [5].

$$P_T = 20 * \log \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right) \quad (1)$$

Avec sa sensibilité  $S$  de -112 dBm et sa puissance d'émission  $P_e$  réglable entre 0 et 25 dBm, le module *Xbee Pro 868* permet d'atteindre la portée estimée. Le bilan de liaison (cf. Figure 1) nous permet de déterminer le gain nécessaire à une transmission de qualité.

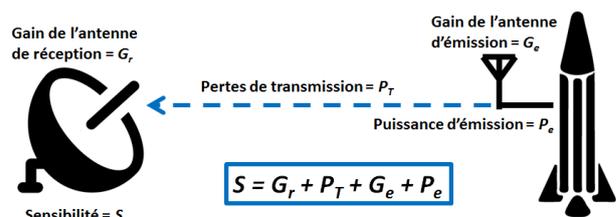


Figure 1. Bilan de liaison.

L'antenne de réception, polarisée circulairement pour minimiser les pertes liées au roulis de la fusée, a un gain  $G_r$  de 1 dB pour la réception des signaux émis, polarisés linéairement.

On trouve alors que la PIRE ( $P_e + G_e$ ) doit être supérieure à -17,9 dBm pour respecter la sensibilité du récepteur et inférieure à 23 dBm, limite fixée par le cahier des charges de Planète-Sciences. La puissance du module d'émission  $P_e$  sera fixée selon le gain  $G_e$  obtenu en simulations.

### 3. Conception de l'antenne

#### 3.c. Analyse théorique

Si notre choix s'est porté vers l'antenne à fentes à cavité, c'est d'abord pour son niveau d'intégration. En effet, les fentes sont directement usinées dans le fuselage en aluminium qui sert de plan de masse. Cette solution permet d'éviter l'ajout de matière sur le tube, que l'on trouve dans des solutions plus classiques [2, 6], et permet donc de simplifier la fabrication et de gagner en aérodynamisme. De plus, la fusée embarquait dans sa coiffe un robot, ne permettant pas l'intégration d'une antenne dans celle-ci comme cela était fait pour une autre fusée du club [4]. Enfin, la volonté d'innovation du club a conforté le choix de cette antenne inédite dans l'état de l'art de cette application.

Chaque fente, de longueur théorique  $\lambda/2$ , et de largeur très inférieure à  $\lambda$ , avec  $\lambda$  la longueur d'onde du signal émis, est équivalente à un circuit résonant RLC. Pour adapter l'impédance, l'alimentation doit être excentrée. On obtient alors une moitié de fente inductive (chemin électrique  $< \lambda/2$ ) et une autre capacitive (cf. Figure 2).

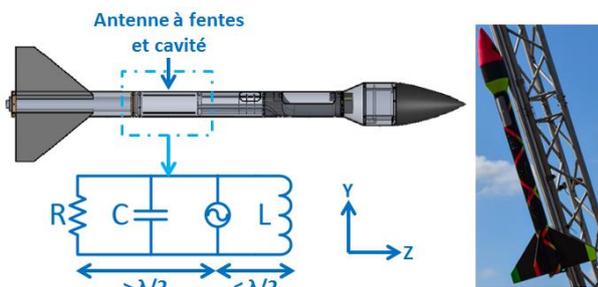


Figure 2. Illustration d'Athéna et schéma électrique équivalent d'une fente (gauche), photo de la fusée sur sa rampe de lancement (droite).

Chaque fente va rayonner dans la direction perpendiculaire à l'axe de la fusée. Pour obtenir un rayonnement omnidirectionnel satisfaisant l'application, nous avons choisi d'intégrer deux antennes diamétralement opposées et déphasées de  $180^\circ$ .

On notera la présence d'un zéro d'émission le long de l'axe de la fusée ( $z$ ). La théorie prévoit, comme pour une antenne dipôle, une bande passante de l'ordre de  $\pm 7\%$ , nettement supérieure aux performances des solutions classiques à base de patch [6].

#### 3.d. Simulations HFSS

Les simulations réalisées grâce au logiciel ANSYS HFSS ont permis de déterminer les dimensions des fentes, de la cavité et la position des alimentations (cf. Tableau 1) pour obtenir des antennes adaptées à notre fréquence de travail (cf. Figure 3). Elles confirment

l'obtention d'une bande passante de  $\pm 7\%$ , comme le prévoit la théorie. De plus, on observe bien un rayonnement omnidirectionnel, avec un zéro d'émission dans l'axe de la fusée et qui admet un maximum de 6,2 dB dans l'axe perpendiculaire aux fentes (cf. Figure 4).

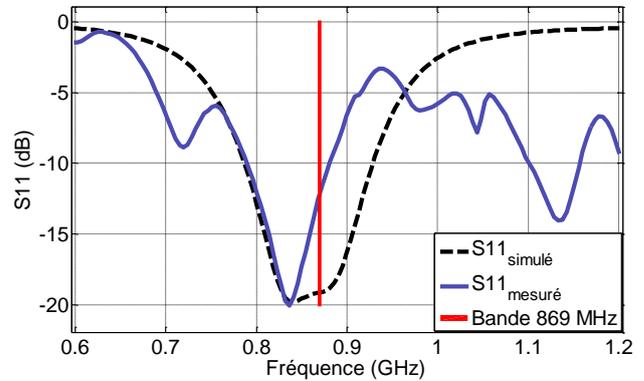


Figure 3. Paramètre S11 simulé d'une fente et mesuré pour les deux fentes alimentées par le diviseur résistif.

Fentes	Dimensions
Longueur	200 mm
Largeur	3 mm
Excentration de l'alimentation	65 mm
Hauteur de la cavité	220 mm

Tableau 1. Dimensions des fentes après optimisation.

Les différents paramètres du tableau ci-dessus permettent de jouer sur l'orientation du rayonnement vers le haut ou le bas de la fusée et sur la qualité de l'adaptation.

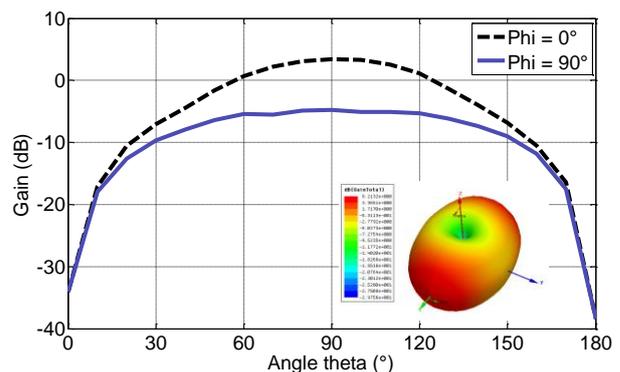


Figure 4. Diagramme de rayonnement simulé.

Une étude du diagramme de rayonnement obtenu en simulation permet de fixer la puissance d'émission du module à 19,8 dBm, afin de respecter la PIRE maximale autorisée et compte tenu des pertes dans le diviseur résistif permettant de répartir l'énergie entre les deux fentes. On a alors, conformément à la sensibilité du récepteur, que le zéro d'émission perturbe la réception uniquement dans une zone de  $1^\circ$  autour de l'axe de la fusée.

Comparativement aux solutions à base de patch [6], le gain obtenu est plus important, mais moins homogène. En effet, on remarque un écart de 10 dB entre le rayonnement selon l'axe X et l'axe Y. Ce dernier peut être régularisé en utilisant plus de fentes, mais il y a alors un compromis à trouver avec les contraintes mécaniques de l'application.

#### 4. Fabrication et mesures

##### 4.e. Fabrication

L'usinage des fentes a été réalisé au laboratoire IMS selon les dimensions déterminées en simulations (cf. Tableau 1). Une pièce plastique réalisée à l'aide d'une imprimante 3D (cf. Figure 5) a également été fabriquée pour interconnecter le câble coaxial aux fentes et faciliter le montage. L'utilisation d'un diviseur résistif, très compact, a permis de répartir l'énergie entre les fentes. De plus le déphasage de 180°, nécessaire à l'obtention d'un rayonnement omnidirectionnel, est le résultat de l'inversion des connexions des excitations des fentes.



Figure 5. Photo de la pièce en imprimé 3D.

##### 4.f. Mesures et résultats du vol

Les mesures de paramètre S effectuées au laboratoire IMS nous permettent de valider les résultats obtenus en simulations pour l'adaptation (cf. Figure 3).

Lors du lancement d'*Athéna* en juillet 2016 (cf. Figure 2), des données ont été reçues jusqu'au décollage, mais un faux contact sur l'une des cartes embarquées a malheureusement provoqué l'arrêt de la communication lors du décollage.

#### 5. Conclusion

Les premiers résultats de mesure sont encourageants. Ils confirment l'adaptation de l'antenne à la fréquence de travail. Les contacts électriques, ont été obtenus grâce à une pièce réalisée en imprimée 3D ce qui permet une meilleure résistance aux vibrations et la reproductibilité des mesures. Malheureusement, les mesures du diagramme de rayonnement prévues chez notre partenaire n'ont pu être réalisées.

On notera que des améliorations comme l'utilisation de 4 fentes pour obtenir un rayonnement plus homogène sont possibles. Ce projet a également permis de renforcer les liens du club avec ses partenaires industriels et poussé les nouveaux membres à poursuivre les travaux radiofréquences menés depuis 2014.

#### Références

- [1] Planete-sciences.org
- [2] P. Sripko, S. Duangsi et M. Hongthong, « *Comparison of antenna for DTI rocket telemetry system* », Second Asian conference on defense technology (ACDT), 2016.
- [3] S. Villers, A. Malhage, J. Prades, A. Marque et A. Ghiotto, « *Sondes VHF pour mesure d'antenne en champ proche ; Validation d'une antenne de fusée expérimentale du club étudiant EirSpace* », XIX<sup>e</sup> Journées Nationales Microondes.
- [4] J. Prades, A. Ghiotto, E. Kerhervé et K. Wu, « *Broadband sounding rocket antenna for dual-band telemetric and payload data transmission* », IEEE Antennas and wireless propagation letters, vol. 15, 2016.
- [5] C. A. Balanis, « *Antenna Theory 3<sup>rd</sup> edition, analysis and design* », Wiley.
- [6] P. C. Ribeiro Filho et A. F. Tinoco-S, D. C. Nascimento et J. C. da S. Lacava, « *Flush-Mounted Telemetry Antenna Design for a Sounding Rocket Competition* », IEEE AP-S 2013.