



**HAL**  
open science

## Récupération de l'énergie micro-onde pour l'alimentation de capteurs sans fil à bord des satellites

Abderrahim Okba, Alexandru Takacs, Hervé Aubert, Stéphane Fredon,  
Laurent Despoisse

► **To cite this version:**

Abderrahim Okba, Alexandru Takacs, Hervé Aubert, Stéphane Fredon, Laurent Despoisse. Récupération de l'énergie micro-onde pour l'alimentation de capteurs sans fil à bord des satellites. Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01237951

**HAL Id: hal-01237951**

**<https://hal.science/hal-01237951>**

Submitted on 4 Dec 2015

**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.

## Récupération de l'énergie micro-onde pour l'alimentation de capteurs sans fil à bord des satellites

Abderrahim Okba<sup>1</sup>, Alexandru Takacs<sup>1,2</sup>, Hervé Aubert<sup>1,3</sup>, Stéphane Fredon<sup>4</sup>, Laurent Despoisse<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400, Toulouse, France

<sup>2</sup>Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31400, Toulouse, France

<sup>3</sup>Univ de Toulouse, INP, LAAS, F-31400, Toulouse, France

<sup>4</sup>CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401, Toulouse, France

<sup>5</sup>THALES-ALENIA SPACE, Cannes, France

### Résumé

La récupération d'énergie micro-onde à bord des satellites de télécommunication géostationnaires est abordée dans cette communication. Plusieurs topologies de rectennas sont proposées. Certaines d'entre elles, très compactes, permettent de récupérer des puissances DC de l'ordre de 1 mW. Ces résultats montrent que la récupération d'énergie micro-onde représente une solution intéressante pour l'alimentation des capteurs autonomes sans fil utilisés pour le suivi de l'état de fonctionnement des panneaux satellites.

### 1. Introduction

Récemment [1] l'analyse de l'environnement électromagnétique au voisinage des panneaux latéraux et terre d'un satellite de télécommunication géostationnaire a montré l'existence de forts champs électromagnétiques. Cette énergie micro-onde peut être avantageusement récupérée afin d'alimenter en énergie des capteurs sans fil utilisés pour surveiller l'état de fonctionnement des satellites. Nous présentons dans cet article la conception et les résultats expérimentaux de rectennas en bande Ku et K permettant la récupération de l'énergie électromagnétique afin d'alimenter des capteurs autonomes sans fil déployés sur les panneaux extérieurs d'un satellite de télécommunication géostationnaire.

### 2. Rectennas

#### 2.a. Topologie d'une rectenna

Des cartographies de champs ont été fournies par Thales Alenia Space à partir de simulations électromagnétiques via le logiciel GRASP développé par TICRA [2]. Par exemple, la cartographie du champ électrique sur les panneaux terre représentée dans la Figure 1 montre un niveau maximal du champ électrique de 180 V/m (valeur maximale) à 17.7GHz.

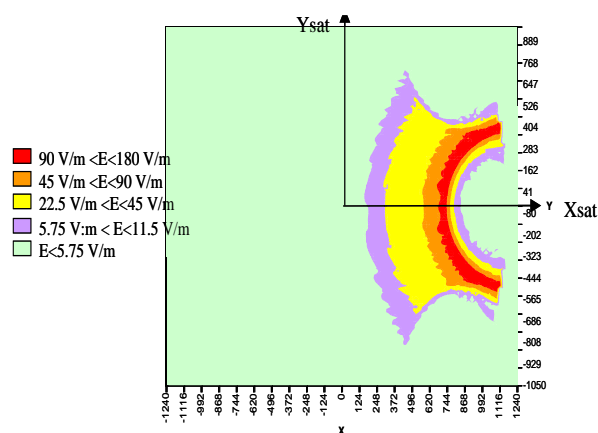


Figure 1. La cartographie du champ électrique (valeurs maximales) sur les panneaux terre d'un satellite géostationnaire ( $f=17.7\text{GHz}$ , puissance rayonnée 70 W).

Nous avons conçu les rectennas en nous appuyant sur la topologie classique schématisée sur la Figure 2. L'objectif durant la conception a été d'obtenir des structures compactes à forte efficacité et utilisant des composants sur étagère (diode Schottky) tout en respectant des contraintes fixées par un cahier de charges fourni par le CNES. Notamment [1]: (i) nous avons choisi une topologie à la fois simple et compacte ; (ii) les composants utilisés (substrat, capacités, diodes) sont compatibles avec les applications spatiales et (iii) les fréquences choisies prennent en compte l'environnement électromagnétique du satellite.

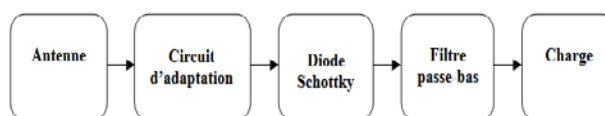


Figure 2: Schéma bloc des rectennas réalisées

Pour le calcul de l'efficacité ( $\eta$ ) des rectennas nous avons adopté une définition dite *pire cas* [3] faisant intervenir la surface physique  $A_G$  de l'antenne (et non sa surface effective) :

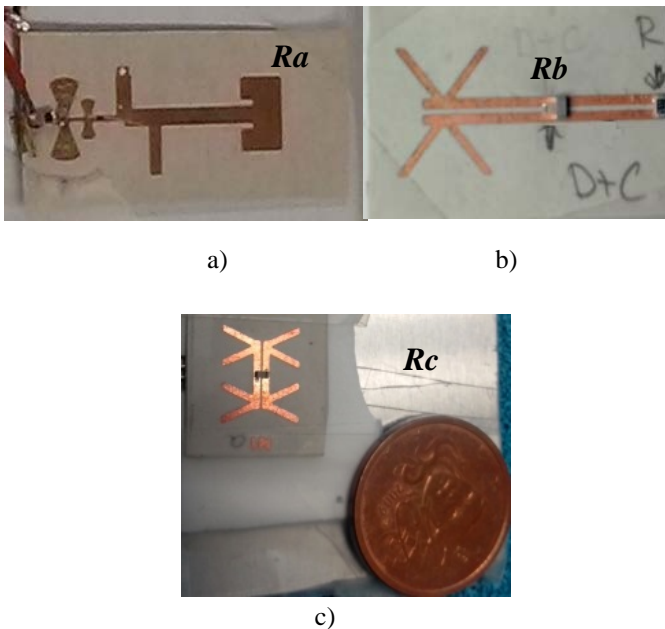
$$\eta(\%) = \frac{P_{DC}}{S \cdot A_G} \cdot 100 \quad (1)$$

où  $P_{DC}$  est la puissance DC récupérée et  $S$  désigne la densité de puissance électromagnétique incidente sur l'antenne. La densité de puissance sur la surface d'une rectenna peut-être calculé à partir du champ électrique  $E$  qui éclaire la rectenna utilisant l'équation suivante :

$$S = \frac{E^2}{120 \cdot \pi} \quad (2)$$

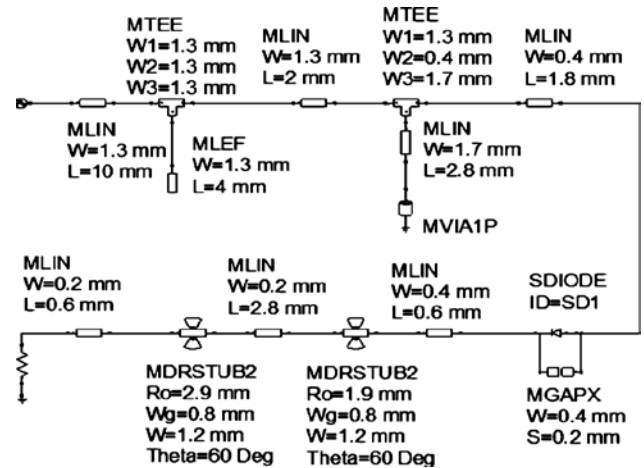
### 2.b. Les rectennas réalisées

Les rectennas représentées dans la Figure 3 ont été fabriquées dans l'atelier électronique de l'Université Paul Sabatier Toulouse sur un substrat Rogers 6002 d'épaisseur 508  $\mu\text{m}$  utilisant des procédés technologiques classiques. Par conséquent des contraintes supplémentaires ont été prise en compte dans la conception afin de adapter le 'layout' aux résolutions technologiques.



**Figure 3: Les rectennas réalisées : (a) la rectenna Ra, (b) la rectenna Rb, et (c) la rectenna Rc**

La rectenna Ra (Figure 3(a)) est composée d'une antenne patch imprimée sur un substrat Ro 6002 (épaisseur: 508  $\mu\text{m}$ ) ayant un gain d'environ 4dBi, une diode M/A-COM MA4E-1317 [4], un circuit d'adaptation double stub et un filtre passe-bas à stub radial [1]. Cette rectenna a été optimisée en utilisant un modèle de simulation développé sous AWR représenté en Figure 4.



**Figure 4 : Modèle de simulation circuit (AWR) pour le redresseur haute fréquence de la rectenna Ra. [1]**

La rectenna Rb (Figure 3(b)) est plus compacte que la rectenna Ra. Elle utilise une antenne imprimée à dipôles croisés ayant un gain d'environ 4 dBi [1]. Un plan de masse peut être positionné en face arrière de l'antenne. Cette rectenna ne nécessite pas de circuit d'adaptation d'impédance. Le transfert maximal de puissance entre l'antenne et le redresseur haute fréquence ainsi que la réjection des harmoniques en entrée sont réalisés en contrôlant l'impédance d'entrée de l'antenne vis-à-vis de l'impédance d'entrée du redresseur. Une diode Aeroflex/Metelics MZBD-9161 en configuration parallèle a été utilisée. Une capacité de 1.5 pF est connectée en parallèle après la diode pour la rejection des harmoniques aux fréquences élevées (fréquence fondamentale et ses harmoniques). La rectenna Rc (Figure 3(c)) est constituée de deux antennes à dipôles croisés (gain d'environ 8 dBi dans la bande de fonctionnement [17GHz-24GHz]), d'une diode Schottky SMS201, d'un filtre passe-bas (réalisé avec une capacité de 1.5 pF mise en parallèle de la diode) et d'une charge [5]. La charge et la capacité sont montées sur la face arrière du circuit imprimé alors que l'antenne et la diode sont placées sur la face avant.

### 2.c. Banc de mesure

Une installation expérimentale a été réalisée visant à recréer l'environnement électromagnétique existant à bord du satellite. Un générateur Anritsu MG3694 génère un signal microonde rayonné par une antenne cornet VT220HA20-SK [6]. La tension DC récupérée par les rectennas est mesurée à la sortie de la rectenna/aux bornes de la charge[1]. A partir de cette tension nous pouvons calculer la puissance DC disponible aux bornes de la charge. Ce setup mis en place au LAAS a été complètement automatisé utilisant le logiciel Labview [7]. Un wattmètre peut être utilisé afin d'estimer rapidement les pertes dans le câble reliant l'antenne cornet au générateur et pour vérifier le niveau du champ électrique rayonné par l'antenne cornet à une distance 'd'.

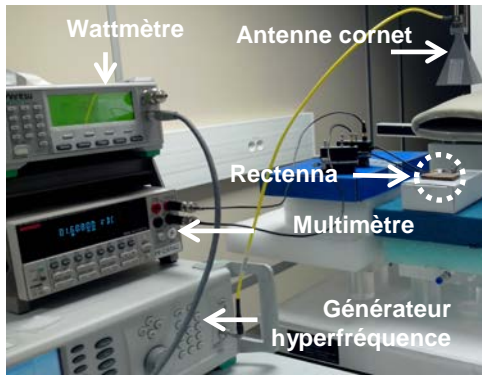


Figure 5 : Montage expérimental pour la caractérisation des rectennas réalisées

Le champ électrique  $E$  qui éclaire la surface de la rectenna à mesurer peut-être calculé à partir de la puissance injectée à l'entrée de l'antenne cornet émettrice ( $P_i$ ) utilisant l'équation suivante :

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P_i \cdot G}}{d} \quad (3)$$

ou  $G$  est le gain de l'antenne cornet émettrice et  $d$  la distance entre l'antenne cornet et la rectenna à mesurer.

#### 2.d. Résultats expérimentaux

Nous avons mesuré avec la rectenna  $Ra$  la tension DC récupérée en fonction de la puissance RF délivrée par le générateur hyperfréquence. Le champ électrique sur la rectenna variait de 21 V/m à 109 V/m pour une puissance RF allant de 10 dBm à 24 dBm en sortie du générateur. Les résultats de mesure obtenus sont présentés sur la Figure 5.

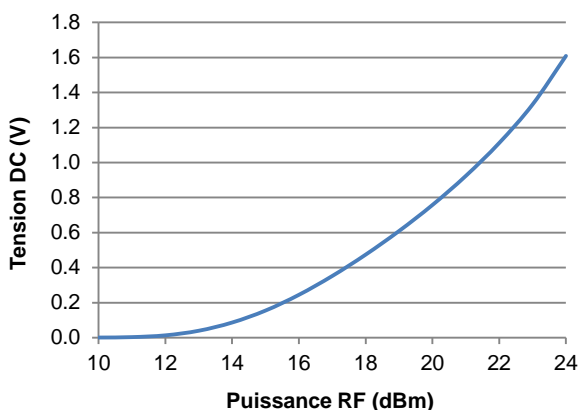


Figure 5: Tension DC mesurée aux bornes d'une charge non-optimale de 10 kΩ à la fréquence de 17.7GHz (rectenna  $Ra$ )

La tension DC récupérée avec la rectenna  $Rb$  aux bornes d'une charge de 510 Ω pour un champ électrique sur l'antenne d'environ 91 V/m est représentée sur la Figure 6 en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente. Une efficacité d'environ

42% est obtenue à la fréquence de 18.6 GHz et en utilisant la définition dite *pire cas* donnée par l'équation (1).

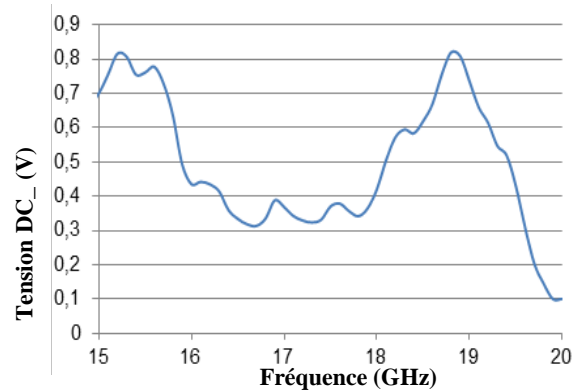


Figure 6: Tension DC mesurée aux bornes d'une charge de 510 Ω pour un champ électrique sur l'antenne d'environ 91 V/m (rectenna  $Rb$ )

La puissance DC récupérée avec la rectenna  $Rc$  aux bornes d'une résistance optimale de 300 Ω en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente est représentée sur la Figure 7. La puissance en sortie du générateur hyperfréquence est de 25 dBm. Le champ électrique sur la rectenna était d'environ 73 V/m. Cette rectenna, très compacte (2.5 cm<sup>2</sup>, soit  $\lambda^2$  à la fréquence de 18.95 GHz), permet de récupérer des puissances DC de l'ordre de 1 mW.

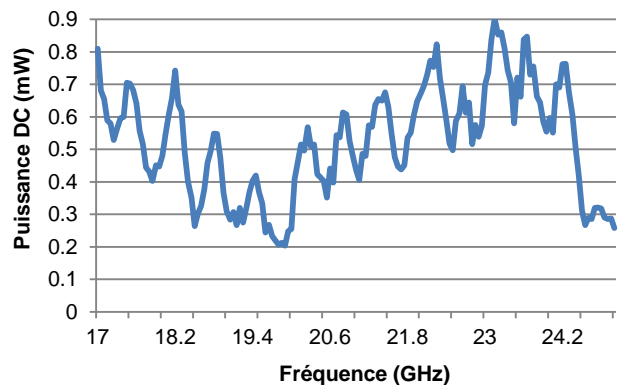


Figure 7: Puissance DC récupérée aux bornes d'une résistance optimale de 300 Ω en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente et pour un champ électrique sur l'antenne d'environ 73 V/m (rectenna  $Rc$ ).

### 3. Conclusion

Certaines surfaces de panneaux de satellite peuvent être éclairées par des champs électromagnétiques résiduels provenant des antennes micro-ondes utilisées pour les liaisons de télécommunication. Les résultats expérimentaux obtenus avec des rectennas spécialement conçues pour ces applications montrent que des puissances DC de l'ordre du mW peuvent être récupérées dans le but de télé-alimenter des capteurs sans fil donnant l'état des panneaux satellitaires.

## 4. Remerciements

Nous remercions CNES-Toulouse pour le financement de ces travaux dans le cadre de l'étude CNES R&T n° 115052 «Evaluation de diverses micro-sources de génération et stockage d'énergie » et dans le cadre du contrat CNES – CNRS n° 130648. La mise au point des techniques et des modèles de simulation des diodes Schottky a été réalisé dans le cadre du projet européen MNT-ERA.net MEMIS (MEMS based Millimeter wave Imaging System) financé par la Région Midi-Pyrénées. Nous remercions la Région Midi-Pyrénées pour son support et l'atelier électronique de l'université Paul Sabatier de Toulouse pour la fabrication de circuits imprimés.

## 5. Bibliographie

- [1] A. Takacs, H. Aubert, S. Fredon, L. Despoisse, H. Blondeaux, "Microwave Power Harvesting for Satellite Health Monitoring", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, Vol. 62, Issue 4, pp. 1090-1098, April 2014.
- [2] <http://www.ticra.com/products/software/grasp>
- [3] Z. Popovic; E.A. Falkenstein, D. Costinett, R. Zane, "Low-Power Far-Field Wireless Powering for Wireless Sensors", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No. 6, pp.1397 -1407, June 2013.
- [4] [https://www.macomtech.com/datasheets/MA4E1317\\_18\\_19\\_2160.pdf](https://www.macomtech.com/datasheets/MA4E1317_18_19_2160.pdf).
- [5] A. Takacs, H. Aubert, A. Luca, S. Charlot, S. Fredon, L. Despoisse, "Rectenna Design for K Band Application", in *Proc. of IEEE European Microwave Conference (EUMC'2014)*, Rome, Italy, October 2014.
- [6] Horn antenna: VT220HA20+SK, [http://www.vectortele.com/product\\_VT220HA20-SK\\_Standard\\_Gain\\_Horn\\_Antenna\\_with\\_Coaxial\\_Connector.htm](http://www.vectortele.com/product_VT220HA20-SK_Standard_Gain_Horn_Antenna_with_Coaxial_Connector.htm)
- [7] [www.ni.com/labview/f/](http://www.ni.com/labview/f/)