

## Rectenna à 2.45 GHz utilisant une antenne à dipôle arrondi

Abderrahim Okba, Alexandru Takacs, Hervé Aubert

► **To cite this version:**

Abderrahim Okba, Alexandru Takacs, Hervé Aubert. Rectenna à 2.45 GHz utilisant une antenne à dipôle arrondi. Journées Nationales Micro-ondes, May 2017, Saint Malo, France. 6p. hal-01596449

**HAL Id: hal-01596449**

**<https://hal.laas.fr/hal-01596449>**

Submitted on 27 Sep 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.

# Rectenna à 2.45 GHz utilisant une antenne à dipôle arrondi

A. Okba<sup>1</sup>, A. Takacs<sup>1</sup>, H. Aubert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

**Résumé** – Cet article présente la conception et les résultats obtenus pour une rectenna fonctionnant dans les bandes UMTS et ISM. Cette rectenna, développée pour des applications ‘Internet des Objets’, est composée d’une antenne à dipôle arrondi et d’un redresseur haute efficacité. Les résultats expérimentaux montrent de très bonnes performances pour cette rectenna. Le redresseur peut délivrer 490 $\mu$ W sur une charge de 1.5K $\Omega$  pour une puissance RF en entrée du redresseur de 0 dBm.

## 1. Introduction

Récemment les techniques de récupération/collecte d’énergie électromagnétique ou de transmission de l’énergie sans fil se sont imposées comme des solutions à haut potentiel pour assurer l’autonomie du point de vue énergétique des capteurs sans fils fonctionnant dans un scénario de type *Internet des Objets* (IoT) [1]. Nous présentons dans cette communication la conception, la simulation et les résultats expérimentaux d’une rectenna conçue pour la récupération ou la transmission sans fil de l’énergie électromagnétique dans les bandes UMTS et ISM. Dans un premier temps, l’antenne et le redresseur sont présentés avec leurs résultats de simulation et de mesure. Ensuite nous présentons les résultats de simulation et de mesure de la rectenna (réalisée par l’assemblage de l’antenne et du redresseur antérieurement présentés). Cette rectenna permet de récupérer de l’énergie à deux bandes de fréquences (UMTS et ISM) avec une bonne efficacité pour des faibles niveaux de champ électrique incident.

## 2. Conception et résultats

### 2.a. Topologie

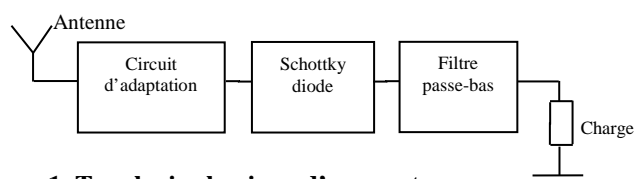


Figure 1. Topologie classique d’une rectenna

Le principe de fonctionnement d’une rectenna (topologie représentée sur la Figure 1) est le suivant: l’antenne convertit les ondes électromagnétiques reçues en signal RF, ce signal est ensuite transféré à l’entrée de l’élément redresseur en passant par un circuit d’adaptation, ce dernier remplissant deux fonctions : 1) assurer un transfert maximal de puissance de l’antenne vers la diode ; 2) rejeter les harmoniques générées par l’élément non linéaire (diode) afin d’éviter qu’elles ne soient re-rayonnées par l’antenne, entraînant ainsi une diminution de l’efficacité de la rectenna. Un filtre passe-bas est utilisé après la diode afin de transférer uniquement la composante DC du signal vers la charge résistive. La charge modélise l’impédance présentée par le capteur sans fil que l’on souhaite alimenter.

La rectenna proposée est composée d’une antenne fonctionnant à 2.45GHz et d’un un redresseur utilisant une diode Schottky HSMS2850. Cette antenne a été conçue pour couvrir les bandes de fréquences suivantes autour de 2.45 GHz : UMTS, ISM 2.45 GHz, LTE 4G, WiFi et partiellement WiMAX (IEEE 802.16e). Dans une première étape, afin de valider notre approche de conception et simulation, la partie antennaire a été isolée de la partie redresseur par l’ajout d’un point intermédiaire de 50  $\Omega$  (un connecteur coaxial de type SMA) qui permettra la caractérisation séparée de l’antenne et du redresseur.

### 2.b. Antenne: résultats de simulation et de mesures

Les topologies d’antennes à dipôles arrondis et croisés ont démontré récemment des propriétés intéressantes pour la réalisation de rectennas performantes [2], [3]. L’antenne de type dipôle arrondi proposée dans cet article est représentée sur la Figure . Elle est composée de deux brins arrondis imprimés sur les faces opposées d’un substrat bas coût de type FR4 (épaisseur : 0.8 mm, permittivité diélectrique relative : 4.4, angle de pertes diélectriques: 0.01). Un plan métallique positionné à 2.5 cm à l’arrière du PCB permet de rendre relativement insensible les performances de cette antenne à tout objet situé à l’arrière de ce plan. L’excitation de l’antenne est réalisée à l’aide de deux rubans parallèles positionnés sur les faces opposées du substrat. Une transition vers une ligne microruban avec plan de masse fini a été rajoutée afin de monter le connecteur SMA utilisé pour les caractérisations.

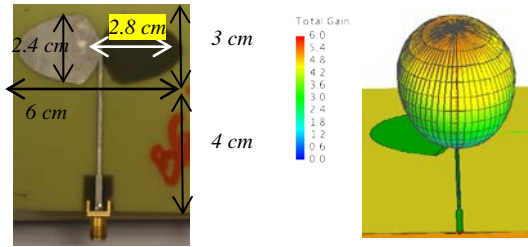


Figure 2. L'antenne dite à « dipôle arrondi », ses dimensions principales et son diagramme de rayonnement 3D (résultats de simulation obtenus en utilisant le logiciel commercial Feko).

Des simulations électromagnétiques utilisant le logiciel commercial FEKO ont été effectuées afin d'obtenir une antenne présentant le meilleur compromis entre le gain ( $> 6\text{dBi}$ ), le coefficient de réflexion ( $< -8\text{dB}$ ) et l'angle d'ouverture du lobe principal de rayonnement ( $> 50^\circ$ ). Les résultats de mesure reportés sur la Figure montrent que cette antenne présente une bonne adaptation ( $S_{11} < -8\text{dB}$ ) dans la bande 1.9 GHz à 2.73 GHz. De même le gain maximal simulé est supérieur à 6.2 dBi avec un angle d'ouverture à 3dB de l'ordre de  $55^\circ$  dans cette bande de fréquence. Le diagramme de rayonnement mesuré (voir Figure 4) dans le plan vertical ( $yOz$ ,  $\phi=0^\circ$ ) montre que le gain dans l'axe ( $\phi=\theta=0^\circ$ ) est de 6.8 dBi à 2.45 GHz avec un angle d'ouverture de  $60^\circ$ .

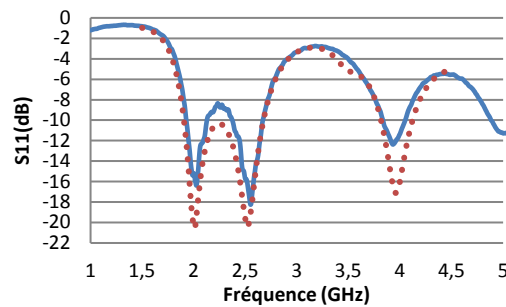


Figure 3. Coefficients de réflexion ( $S_{11}$ ) simulé (trait pointillé en rouge) et mesuré (trait continu en bleu).

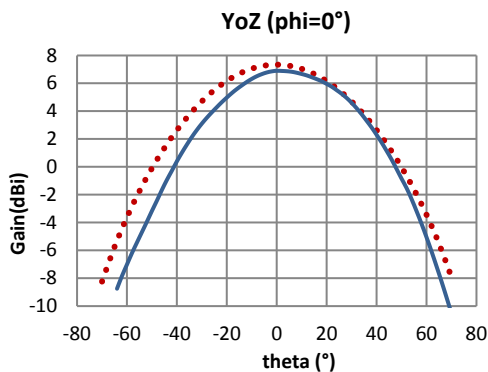


Figure 4. Diagrammes de rayonnement mesuré (trait continu en bleu) et simulé (trait pointillé en rouge) à la fréquence de 2.45 GHz dans le plan  $yOz$  ( $\phi=0^\circ$ ).

### 2.c. Redresseur: résultats de simulation

Un redresseur utilisant une diode Avago HSMS2850 en connexion série a été conçu et simulé sous ADS. Le schéma ADS de ce redresseur est représenté sur la Figure 5. Pour la diode, le modèle circuit/Spice recommandé dans [4] a été utilisé.

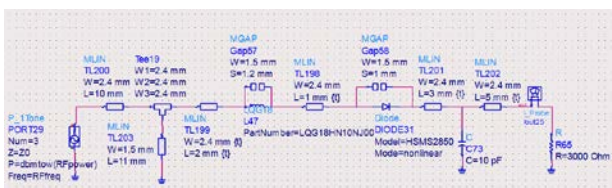
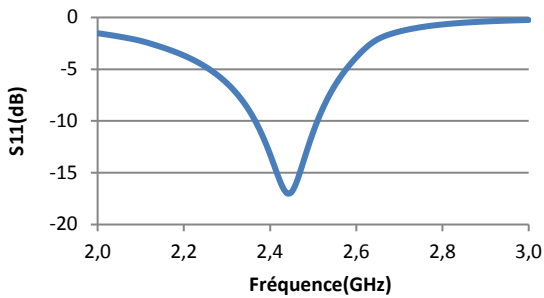


Figure 5. Schéma ADS du circuit redresseur

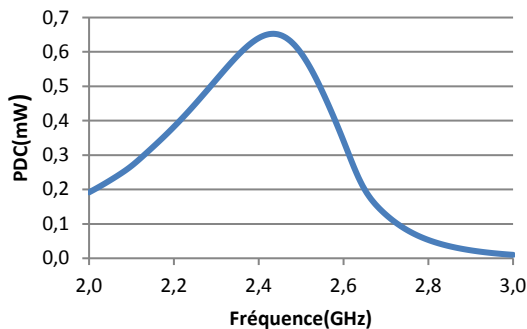
Le redresseur utilise un circuit d'adaptation d'impédance composé d'une inductance Murata de 10nH et d'un stub. Ce circuit d'adaptation permet d'obtenir un coefficient de réflexion  $S_{11}$  en entrée (simulation LSSP non linéaire) de  $-18\text{ dB}$  à 2.45 GHz. Une capacité de 10 pF a été utilisée en aval de la diode, elle remplit le rôle du filtre passe-bas permettant

ainsi de filtrer la composante fondamentale ainsi que les harmoniques et de ne garder que la composante DC du signal. La résistance de charge optimale en simulation est de  $3\text{ K}\Omega$ .

La Figure 6 et la Figure 7 présentent respectivement le coefficient de réflexion et la puissance DC recueillie (résultats de simulation) pour une puissance RF en entrée du redresseur égale à  $0\text{ dBm}$  et une charge résistive de  $3\text{ K}\Omega$  en sortie. La puissance maximale de  $650\mu\text{W}$  est obtenue à une fréquence de  $2.45\text{ GHz}$ .

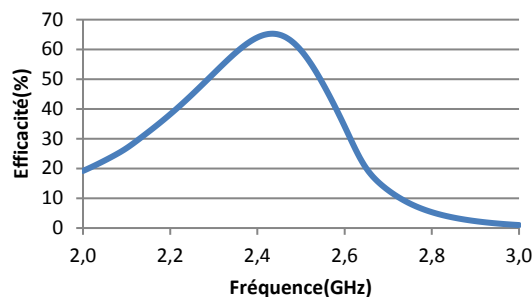


**Figure 6. Coefficient de réflexion (résultats de simulation) du redresseur en fonction de la fréquence**



**Figure 7. Puissance DC (résultats de simulation) en sortie du redresseur en fonction de la fréquence**

L'efficacité de ce redresseur est reportée en fonction de la fréquence sur la Figure 8. En simulation, cette efficacité (i.e., le rapport entre la puissance DC recueillie et la puissance RF injectée) est de  $65\%$  à  $2.45\text{ GHz}$  pour une puissance RF en entrée de  $0\text{ dBm}$ .

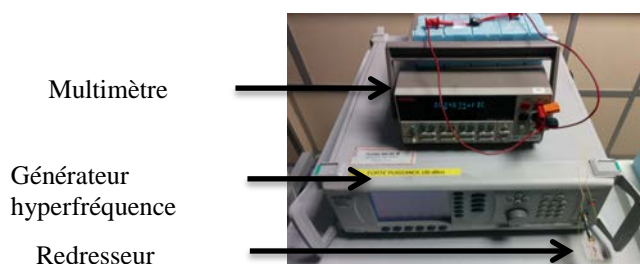


**Figure 8. Efficacité du redresseur simulée en fonction de la fréquence**

#### 2.d. Redresseur : résultats de mesure

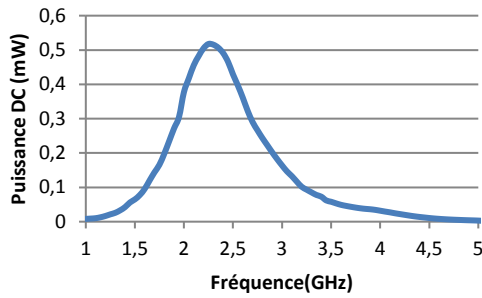
Le redresseur a été réalisé sur un substrat Neltec NY9208 (épaisseur :  $0.762\text{ mm}$ , permittivité diélectrique relative :  $2.08$ , angle de pertes diélectriques:  $0.0006$ ).

Afin de caractériser le redresseur, le banc de mesure représenté sur la Figure 9 a été utilisé. Un générateur Anritsu MG3694 permet d'injecter un signal RF directement à l'entrée du redresseur via son connecteur SMA (point intermédiaire de  $50\Omega$ ), la tension DC récupérée est mesurée aux bornes de la charge résistive à l'aide d'un multimètre.



**Figure 9. Installation expérimentale pour la caractérisation du redresseur**

La puissance DC mesurée en fonction de la fréquence est reportée sur la Figure 10. Le redresseur permet de récupérer une puissance DC égale à 515µW pour une fréquence de 2.3GHz.

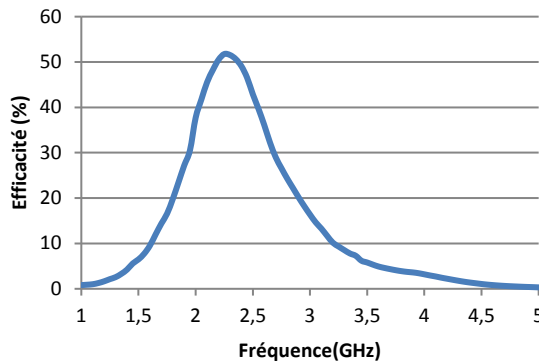


**Figure 10. Puissance DC (résultats de mesure) en sortie du redresseur en fonction de la fréquence**

Dans le cas du redresseur, l'efficacité  $\eta$  est calculée à partir de l'expression suivante :

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

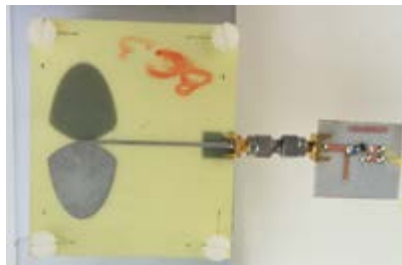
où  $P_{DC}$  désigne la puissance DC récupérée et  $P_{RF}$  la puissance RF injectée à l'entrée du redresseur. La Figure 11 représente l'efficacité obtenue en fonction de la fréquence pour une puissance en entrée  $P_{RF} = 0\text{dBm}$ . La rectenna présente une efficacité supérieure à 30% entre 2 GHz et 2.7 GHz et atteint un maximum de 51.5% à 2.3GHz.



**Figure 11. Efficacité du redresseur (résultats de mesure) en fonction de la fréquence**

*2.e. Rectenna : résultats de mesures*

La rectenna a été réalisée en assemblant l'antenne à un dipôle arrondi et le redresseur via des connecteurs SMA utilisés pour la caractérisation séparée des deux modules. Une transition (mâle-mâle) a été utilisée pour la connexion de l'antenne avec le redresseur comme représenté sur la Figure 12.



**Figure 12. Photo de la rectenna réalisée**

La rectenna a été caractérisée en utilisant le banc de mesure représenté sur la Figure 13. Un générateur Anritsu MG3694 génère un signal RF. Ce signal est transmis via un câble coaxial à l'entrée d'une antenne Tx (cornet avec un gain  $G_{Tx}=11.5\text{dBi}$  à 2.45 GHz). L'antenne Tx émet le signal en direction de la rectenna avec un champ électrique à polarisation linéaire. Le champ électrique reçu est converti en tension DC par la rectenna. Cette tension est alors mesurée aux bornes de la charge à l'aide d'un multimètre. Une interface logicielle a été développée sous Labview afin

d'automatiser le processus de mesure et permettre ainsi de faciliter les balayages en fréquence et en puissance. Les mesures ont été réalisées dans une chambre anéchoïque.

La puissance DC récupérée par la rectenna en fonction de la fréquence pour un champ électrique incident de 11.8V/m est représentée sur la Figure 14. Pour une charge de 1.5KΩ (charge optimale) une puissance DC supérieure à 600μW peut être récupérée entre 2 GHz et 2.75 GHz avec un maximum de 1.05mW aux fréquences 2GHz et 2.45 GHz. La rectenna est donc adaptée pour récupérer de l'énergie sur les bandes UMTS (2.1GHz) et ISM (2.45GHz).

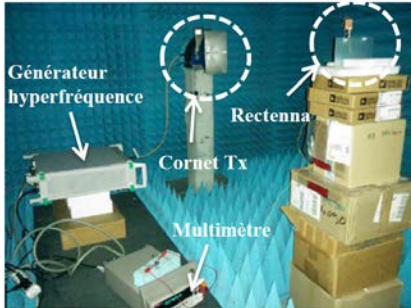


Figure 13. Installation expérimentale pour la caractérisation de la rectenna

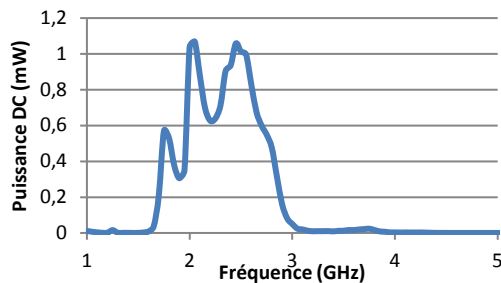


Figure 14. Puissance DC (résultats de mesure) de la rectenna en fonction de la fréquence

Dans le cas de la rectenna, l'équation [5] utilisée pour le calcul de l'efficacité est donnée par :

$$\eta(\%) = 100 \cdot \frac{P_{DC}}{P_{RF}} = 100 \cdot \frac{P_{DC}}{S \cdot A_{eff}} \quad (2)$$

où  $P_{DC}$  désigne la puissance DC récupérée,  $A_{eff}$  la surface effective de l'antenne et  $S$  la densité de puissance [5] reçue au niveau de la rectenna donnée par :

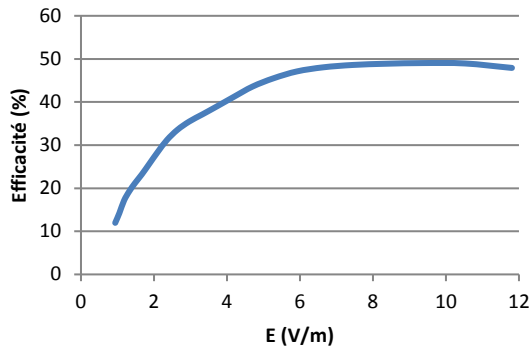
$$S = \frac{E^2}{120 \cdot \pi} \cdot 100 = \frac{30 \cdot P_T \cdot G_T}{d^2 \cdot 120 \cdot \pi} \cdot 100 \quad (3)$$

avec  $E$  le champ électrique reçu au niveau de l'antenne de la rectenna,  $P_T$  la puissance injectée à l'entrée de l'antenne Tx (cornet),  $G_T$  le gain du cornet et  $d$  la distance entre le cornet et la rectenna.

La Figure 15 montre l'efficacité en fonction du champ électrique au niveau de l'antenne de la rectenna à  $f=2.45\text{GHz}$ . La rectenna présente une efficacité supérieure à 30% à partir d'un champ électrique de 2.3 V/m et atteint un maximum de 49% pour un champ électrique  $E=9.4\text{V/m}$  (densité de puissance de  $23\mu\text{W/cm}^2$ ). Le tableau 1 donne les performances de cette rectenna et celles d'autres rectennas fonctionnant dans la même bande de fréquence.

réf	Fréquence	Densité de puissance	Efficacité
[6]	2.44GHz	$0.15\mu\text{W/cm}^2$	15.3%
[7]	2.45 GHz	$40\mu\text{W/cm}^2$	47%
[8]	2.45 GHz	$1.7\text{mW/cm}^2$	84.4%
Ce travail	2.45 GHz	$23\mu\text{W/cm}^2$	49%

Table 1. Comparaison de rectennas



**Figure 15. Efficacité mesurée de la rectenna en fonction du champ électrique reçu au niveau de l'antenne de la rectenna**

### 3. Conclusion

Nous avons proposé dans cet article une rectenna utilisant une antenne de type dipôle arrondi et un redresseur fonctionnant autour de 2.45 GHz. Les résultats expérimentaux montrent de bonnes performances pour l'antenne proposée en termes de gain, diagramme de rayonnement et bande passante. Le redresseur présente une efficacité de 46.5% à 2.45GHz. La rectenna réalisée présente une efficacité supérieure à 30% pour des niveaux faibles de champ électrique incident et permet de récupérer de l'énergie sur les bandes UMTS (2.1GHz) et ISM (2.45GHz).

### Références

- [1].A. Costanzo, D. Masotti, "Smart Solution in Smart Places", IEEE Microwave Magazine, pp. 30-45, May 2016.
- [2].V. Kuhn, C. Lahuec, F. Seguin, and C. Person, " A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester with RF-to-DC Efficiency Up to 84%", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 63, Issue 5, pp. 1768-1778, May, 2015.
- [3].Styliaonis D. Assimonis, Spyridon-Nektarios Daskalakis, Aggelos Blestas, "Sensitive and Efficient RF Harvesting Supply for Batteryless Backscatter Sensor Networks", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 64, pp. 1327-1338, March, 2016.
- [4].[http://www.g3ynh.info/circuits/diode\\_data/Agilent\\_HSMS-285ser.pdf](http://www.g3ynh.info/circuits/diode_data/Agilent_HSMS-285ser.pdf)
- [5].A. Takacs, H. Aubert, S. Fredon, L. Despoisse, H. Blondeaux, Microwave power harvesting for satellite health monitoring, IEEE Trans. on Microwave Theory Tech, Vol.: 62, Issue: 4 , pp. 1090 - 1098, April 2014.
- [6].Georgiadis, A., Andia, G. V., & Collado, A. (2010). Rectenna design and optimization using reciprocity theory and harmonic balance analysis for electromagnetic (EM) energy harvesting. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 9, 444-446.
- [7].Zied Harouni, Laurent Cirio, Lotfi Osman, Ali Gharsallah, Odile Picon, "A dual circularly polarized 2.45-GHz rectenna for wireless Power transmission", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters ,vol. 10, pp. 306-309, April, 2011.
- [8].H. Suh and K. Chang, "High-Efficiency Dual-Frequency Rectenna for 2.45- and 5.8-GHz Wireless Power Transmission", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.50, Issue 7, pp.1784-1789, July, 2002.