



**HAL**  
open science

# Étude et Optimisation d'un Circuit de Récupération d'Énergie RFID UHF pour Capteurs Autonomes

Ahcine Safraou, Patrick Bacot, Stéphane Dudret, Emmanuelle Bourdel,  
Bertrand Granado

► **To cite this version:**

Ahcine Safraou, Patrick Bacot, Stéphane Dudret, Emmanuelle Bourdel, Bertrand Granado. Étude et Optimisation d'un Circuit de Récupération d'Énergie RFID UHF pour Capteurs Autonomes. 20èmes Journées Nationales Micro-Ondes, May 2017, Saint-Malo, France. hal-01542387

**HAL Id: hal-01542387**

**<https://hal.science/hal-01542387v1>**

Submitted on 19 Jun 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.

# Étude et Optimisation d'un circuit de récupération d'Énergie RFID UHF pour Capteurs Autonomes

A. Safraou<sup>1,3,4</sup>, P. Bacot<sup>1</sup>, S. Dudret<sup>2</sup>, E. Bourdel<sup>3</sup>, B. Granado<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Air Liquide Services, Tour Eqho - 2 Avenue Gambetta, 92066 La Défense Cedex

<sup>2</sup>Air Liquide Centre de Recherche Paris Saclay, 1 chemin de la porte des loges, 78350 Les Loges en Josas

<sup>3</sup>ETIS UMR 8051, Université Paris Seine, ENSEA/UCP/CNRS, 2 avenue du Ponceau, 95014 Cergy

<sup>4</sup>Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR7606, LIP6, F75005, Paris, France

ahcine.safraou@airliquide.com

**Résumé** – Nous proposons une étude et une optimisation système et circuit d'un récupérateur d'énergie RFID UHF pour capteurs connectés. Notre objectif est d'étudier le comportement du circuit afin d'en améliorer la sensibilité pour ainsi fournir l'énergie nécessaire à un capteur piloté par un microcontrôleur, de la prise de mesure à la communication du résultat. Nous présentons ici une architecture visant à améliorer le fonctionnement du système pour de faibles puissances, utilisant deux superviseurs pour une meilleure gestion de l'énergie collectée et abordons l'étude de l'étage multiplicateur de tension, du DC-DC boost convertter ainsi que de l'ensemble du circuit.

## 1. Introduction

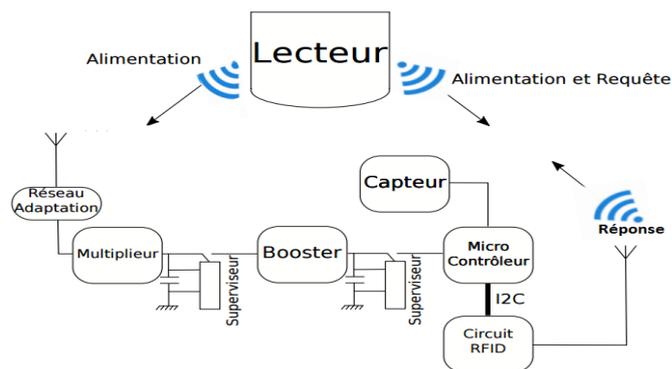
Le recours à la RFID UHF est de nos jours largement répandu pour la logistique et la gestion de stocks. Celles-ci pourraient être enrichies par l'apport d'informations complémentaires sur l'état des produits tracés.

Les travaux que nous présentons dans cet article sont orientés dans cette direction. Dans ce cadre nous nous sommes focalisés sur des systèmes RFID UHF passifs, c'est à dire qui n'embarquent pas de source d'énergie. L'objet à tracer n'embarquerait aucune source d'énergie physique. L'énergie nécessaire de la prise de mesures par le capteur jusqu'à leur communication se ferait uniquement à l'aide de l'énergie électromagnétique provenant des ondes RF. Nous proposons ici d'utiliser un circuit de récupération et de conditionnement d'énergie RF travaillant dans la bande 865.5 – 868.5 MHz et opérant selon la norme ISO 18000-6c afin d'alimenter les circuits intégrés au sein du tag.

Dans une première partie de l'article, nous présentons le fonctionnement global de l'architecture de ce circuit. Dans la deuxième partie, l'étude et la caractérisation de ce circuit sont présentées, notamment l'étage de multiplication de tension ainsi que le convertisseur DC-DC. Dans une troisième partie, nous mettons en évidence l'apport des superviseurs dans l'optimisation du système. Une conclusion avec les perspectives à venir concernant ces travaux sera ensuite proposée.

## 2. Architecture globale du système de récupération d'énergie RF

Les capteurs autonomes que nous souhaitons réaliser doivent pouvoir être alimentés par l'énergie émise par des lecteurs RFID UHF dont la puissance maximale ne doit pas dépasser 3,2 W EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) [1]. Le système présenté dans la Figure 1 permet de collecter l'énergie incidente et de la stocker, l'objectif étant d'assurer la récupération à une distance du lecteur de 5 mètres, voire plus. Pour augmenter l'efficacité de la récupération d'énergie à longue distance, le système est articulé autour de deux capacités de charge, chacune accompagnée d'un superviseur. Ces derniers ont pour rôle d'activer l'étage en aval, lorsque la capacité de charge a atteint une tension seuil. Le but est de s'assurer que la tension accumulée aux bornes des capacités de charges permet de fournir l'énergie de démarrage de l'étage aval.



**Figure 1. Architecture globale du système de récupération d'énergie RF, associé à un capteur et une puce RFID**

Le système de récupération et de conditionnement de l'énergie, issue des ondes électromagnétiques émises par le lecteur RFID UHF, se compose :

- D'une antenne qui transforme l'onde électromagnétique en signal électrique.
- D'un réseau d'adaptation d'impédance LC (Matching Network), créant une surtension afin

de passer plus facilement la tension de seuil des diodes du multiplieur.

- D'un multiplieur qui transforme le signal alternatif en un signal continu tout en multipliant la tension (en divisant évidemment le courant).
- D'une première capacité de charge avec superviseur, le superviseur n'active le booster qu'au dessus d'un certain seuil de tension (avec hystérésis).
- D'un booster qui permet d'élever la tension qu'il reçoit en entrée (convertisseur DC-DC à découpage).
- D'une seconde capacité de charge avec superviseur.

Les superviseurs activent et désactivent l'étage aval avec une certaine hystérésis, la valeur haute étant celle d'activation et la valeur basse, celle de la désactivation de l'étage suivant. Grâce à cela, nous nous assurons que les capacités aient le temps de se charger suffisamment afin de fournir l'énergie nécessaire au reste du circuit. En régulant à la tension d'entrée optimale des composants qu'ils précèdent, les superviseurs leur permettent de fonctionner avec le meilleur rendement possible. Pour nos séries de mesures, présentées dans la dernière partie, nous utilisons des superviseurs TPS383X, de la marque *Texas Instruments*. Ceux-ci présentent une consommation de seulement 0,15  $\mu$ A.

### 3. Étude de performance du circuit de récupération d'énergie

#### 3.a. Caractérisation de l'étage multiplieur

L'optimisation du multiplieur passe par une étude à deux niveaux: le niveau système pour le choix de la configuration, et le niveau circuit pour le choix optimal des valeurs de composants. Dans un article précédent [2], nous présentons une étude comportementale du circuit multiplieur afin de déterminer par la suite les valeurs de composants ainsi que la configuration la mieux adaptée. D'autres travaux mettent en avant les critères importants pour la sélection des diodes [3] [4] [5].

La configuration retenue est celle dite de Greinacher modifiée illustrée par la Figure 2, composée de diodes Schottky et de capacités RF. Afin de déterminer le nombre d'étages ainsi que les valeurs des composants, une étude en simulation à l'aide du logiciel ADS a été effectuée. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.

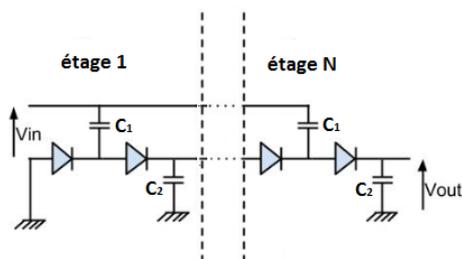


Figure 2. Multiplieur de tension à N étages en configuration Greinacher modifiée

A partir des résultats de simulation, nous avons réalisé un circuit de récupération d'énergie RF. En entrée du multiplieur, nous ajoutons un circuit LC afin de créer une surtension. Comme nous le montre la Figure 3, ceci permet de passer la tension de seuil des diodes avec une puissance plus faible en entrée et ainsi augmenter la sensibilité du circuit.

Comme le montre la Figure 4, le multiplieur précédé par le réseau d'adaptation LC avec une puissance d'entrée de seulement -10 dBm présente une tension de sortie de 2,5 V à 867 MHz, suffisant pour activer le booster en aval.

Paramètre	Valeur inférieure	Valeur optimale	Valeur supérieure
Nombre d'étages	Tension de sortie inutilisable dans la pratique	4	Pertes par fuite
Capacité C1 et C2	Manque d'efficacité (impédance trop élevée)	~20 pF	Pertes par fuite, inductance, lenteur de réaction
Résistance de charge	Baisse des tensions et augmentation des pertes	55 k $\Omega$	Impédance trop élevée

Tableau 1. Synthèse du choix des paramètres optimaux pour le multiplieur

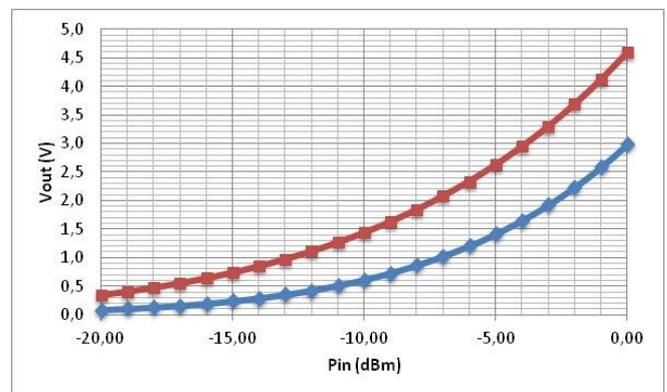


Figure 3. Résultats de simulation de la tension  $V_{out}$  en sortie du multiplieur en fonction de la puissance  $P_{in}$  en entrée avec (en rouge) et sans (en bleu) réseau de surtension LC, à 867 MHz

La Figure 5 représente le rendement du multiplieur en fonction de sa charge en sortie, pour une fréquence de 867 MHz et une puissance d'entrée  $P_{in}$  de -10 dBm. Nous voyons que le convertisseur DC-DC doit être dimensionné pour constituer une charge optimale vu du multiplieur, ceci pour les puissances d'entrée les plus faibles visées.

Les mesures effectuées sur carte présentent de bonnes performances comparées à la littérature [6], [7], [8], lorsque l'on se place dans des conditions similaires.

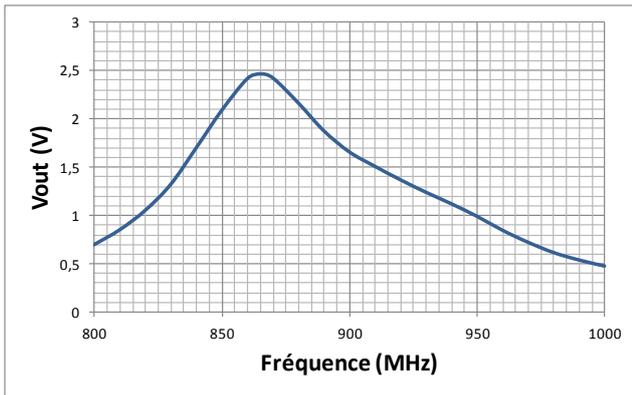


Figure 4. Tension  $V_{out}$  mesurée en sortie du multiplieur à vide en fonction de la fréquence du signal d'entrée, avec  $P_{in} = -10$  dBm

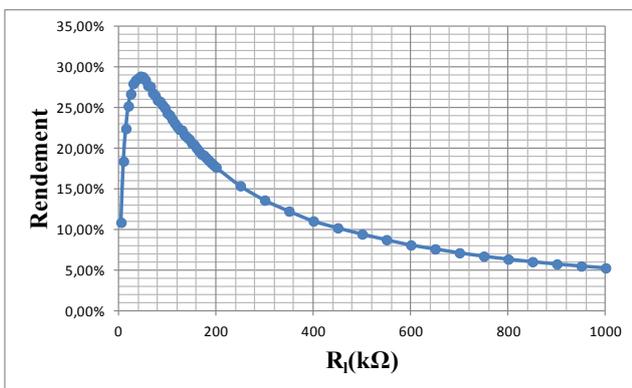


Figure 5. Rendement du multiplieur mesuré en fonction de sa charge  $R_i$  en sortie, à 867 MHz et  $P_{in} = -10$  dBm

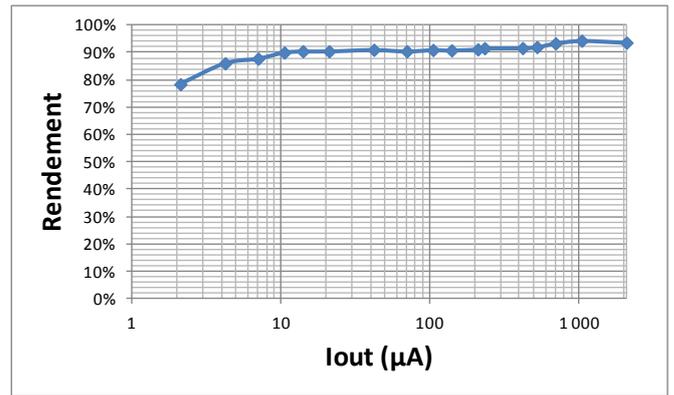


Figure 6. Rendement mesuré du convertisseur DC-DC TS3310 en fonction du courant en sortie

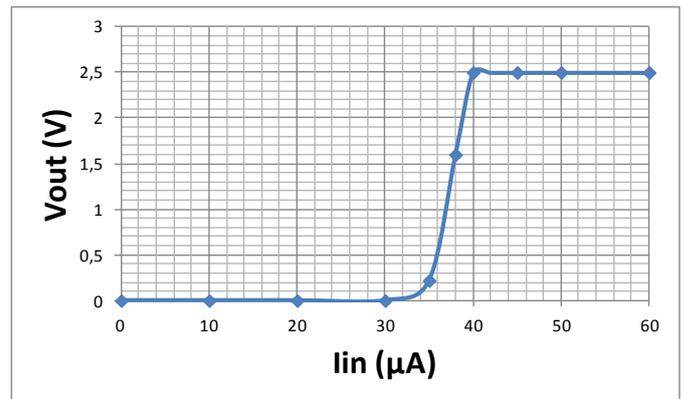


Figure 7. Tension mesurée en sortie du convertisseur DC-DC TS3310 en fonction du courant en entrée

### 3.b. Convertisseur DC-DC

Le convertisseur DC-DC sélectionné pour notre système est le TS3310 de *Silicon Labs*. Sa tension de sortie régulée peut être comprise entre 1,8 V et 5 V avec une tension d'entrée minimum de 900 mV. Le courant consommé par ce composant est de seulement 150 nA.

Pour notre cas d'usage et afin de s'assurer d'un démarrage et d'un fonctionnement correct du circuit de mesure en aval (microcontrôleur + capteur), nous paramétrons ce composant afin que sa tension de sortie soit régulée à 2,1 V. Pour celle-ci, nous effectuons des mesures afin d'observer le rendement de ce composant. Le but de cette manipulation est de s'assurer qu'avec le TS3310, le rendement du système complet n'est pas trop dégradé. La Figure 6 présente les résultats de caractérisation de ce convertisseur DC-DC. On observe que son rendement reste constant autour de 90% pour les valeurs de courant de sortie  $I_{out}$  allant de quelques  $\mu A$  à plusieurs mA, avec un courant de démarrage en entrée de  $33 \mu A$  environ, comme le montre la Figure 7 et une consommation de  $0,15 \mu A$ . Ces résultats nous confirment dans l'idée d'utiliser ce convertisseur DC-DC dans le système, d'autant plus que son prix fait de lui un candidat potentiel pour une industrialisation à grande échelle.

### 3.c. Efficacité de notre système de récupération d'énergie

Nous donnons dans cette partie les résultats de mesure du système complet, présenté dans la Figure 8.

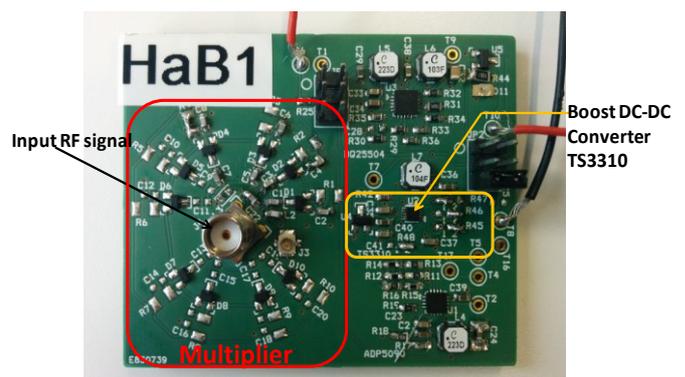
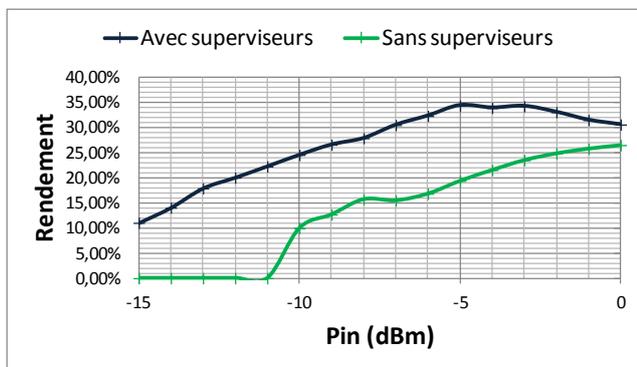


Figure 8. Carte prototype du circuit de récupération d'énergie RF

Le but de cette partie est de mettre en évidence l'intérêt de recourir à des superviseurs entre différents étages du système afin d'optimiser la gestion de l'énergie collectée et ainsi en améliorer le rendement. Dans la Figure 9, nous présentons une comparaison des performances que nous obtenons pour le système avec et sans superviseurs. Pour  $-10$  dBm de puissance en entrée,

nous obtenons un rendement global de 25% avec superviseurs. Sans ces derniers, le rendement n'est plus que de 10%. A l'optimum, le rendement de notre système avec superviseurs atteint 35% pour une puissance en entrée de -5 dBm contre 20% sans superviseurs. Comparé à un autre système de récupération d'énergie [9], dans lequel les auteurs font usage d'un superviseur, notre système présente de meilleures performances d'un point de vue rendement pour les mêmes gammes de puissance d'entrée. Un autre gain important apporté par les superviseurs est l'amélioration de la sensibilité. En effet toujours d'après la Figure 9, nous observons que la puissance de démarrage du système, permettant de fournir une tension exploitable pour le circuit de mesure en sortie est nettement améliorée. Elle passe de -11 dBm sans superviseurs, à seulement -15 dBm avec ceux-ci.



**Figure 9. Rendement mesuré du circuit de récupération d'énergie avec et sans superviseurs en fonction de la puissance d'entrée**

#### 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle approche de l'optimisation d'un système de récupération RF pour des applications RFID UHF. Au dispositif classique viennent s'ajouter deux superviseurs faible consommation, qui permettent d'optimiser le fonctionnement. Le circuit multiplicateur que nous avons réalisé dans sa configuration optimale nous permet de récupérer l'énergie nécessaire au fonctionnement du circuit en aval à savoir le convertisseur DC-DC. Ceci est valable pour des puissances d'entrée plus faible que si le système était dépourvu de superviseurs faible consommation. En effet grâce à eux la sensibilité est nettement améliorée, passant d'une puissance en entrée exploitable minimum de -11 dBm à -15 dBm. De même qu'à puissance équivalente, le rendement du circuit est amélioré, avec un maximum de 35%.

Dans les travaux à venir, nous étudierons les performances du système greffé au circuit de mesure composé du microcontrôleur basse consommation et du capteur. Par la suite, la conception de l'antenne permettant la récupération d'énergie sera réalisée.

#### Références

[1] "ERC Recommendation 70-03," 3-Feb-2017. [Online]. Available:

<http://www.erdocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/rec7003e.pdf>.

- [2] A. Safraou & al, « Récupération d'énergie RFID UHF pour capteurs connectés », in 2016 URSI France, 2016, pp. 165-172.
- [3] C. R. Valenta, "Fundamental limitations for Schottky diode RF energy harvesting," in 2015 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), 2015, pp. 188-193.
- [4] U. Karthaus and M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-  $\mu$ W minimum RF input power," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 38, no. 10, pp. 1602-1608, Oct. 2003.
- [5] G. De Vita and G. Iannaccone, "Design criteria for the RF section of UHF and microwave passive RFID transponders," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 9, pp. 2978-2990, Sep. 2005.
- [6] M. R. Shokrani & al, "An RF Energy Harvester System Using UHF Micropower CMOS Rectifier Based on a Diode Connected CMOS Transistor," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, p. e963709, Mar. 2014.
- [7] D. Michelon & al, "Optimization of integrated dickson voltage-multipliers for RF energy harvesting," in *New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), 2014 IEEE 12th International*, 2014, pp. 448-451.
- [8] I. Chaour, S. Bdiri, A. Fakhfakh, and O. Kanoun, "Modified rectifier circuit for high efficiency and low power RF energy harvester," in 2016 13th International Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD), 2016, pp. 619-623.
- [9] D. De Donno, L. Catarinucci, and L. Tarricone, "An UHF RFID Energy-Harvesting System Enhanced by a DC-DC Charge Pump in Silicon-on-Insulator Technology," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 23, no. 6, pp. 315-317, Jun. 2013.