



**HAL**  
open science

# Alimentation de capteurs communicants par systèmes de récupération et de stockage d'énergies ambiantes à bas coût

Amirouche Oumaziz, Florian Huet, Sonia Ben Dhia

## ► To cite this version:

Amirouche Oumaziz, Florian Huet, Sonia Ben Dhia. Alimentation de capteurs communicants par systèmes de récupération et de stockage d'énergies ambiantes à bas coût. TELECOM'2019 & 11èmes JFMMA, Jun 2019, Saïdia, Maroc. hal-02138449

**HAL Id: hal-02138449**

**<https://hal.science/hal-02138449v1>**

Submitted on 23 May 2019

**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.

## Alimentation de capteurs communicants par systèmes de récupération et de stockage d'énergies ambiantes à bas coût

A. Oumaziz, F. Huet, S. Ben Dhia

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA,

7 Avenue du colonel Roche F-31400 Toulouse, France

Contact : amirouche.oumaziz@laas.fr

### Résumé :

L'utilisation de capteurs et d'objets connectés se démocratise dans les secteurs de l'industrie, du transport et du médical. L'alimentation de ces objets reste un frein à leur déploiement massif. Ce papier présente le lien entre des cas industriels concrets, un projet de recherche académique et un projet pédagogique autour de la problématique de l'alimentation de capteurs communicants sans fil par des dispositifs de récupération d'énergies ambiantes. Celui-ci expose le développement de solutions simples et économiques composées d'éléments du commerce dans le cadre de projets d'étudiants de 5<sup>ième</sup> année de l'INSA Toulouse du parcours Embedded Smart Power Electronics. Il soulignera les méthodes d'investigations, de conceptions et de réalisations de trois technologies de récupération d'énergie pour différentes sources énergétiques. Un regard critique sera porté aux sources d'énergie, aux transducteurs choisis et aux circuits de gestion de l'énergie qui alimentent les capteurs communicants sans fil.

**Mots clés :** Capteur sans fil, récupération d'énergie, vibration, thermique, solaire.

## 1. INTRODUCTION

Dans un monde où les capteurs et autres objets connectés (Internet Of Things) se multiplient dans les secteurs de l'industrie, du transport et du médical, de nombreux défis se posent afin d'optimiser leur déploiement, notamment au niveau de leur mise en réseau ou du traitement des données récoltées. Cependant, il subsiste une problématique majeure, celle de l'autonomie énergétique. En effet, ces capteurs sont amenés à communiquer sans fil, cela implique de les alimenter grâce à des éléments de stockage d'énergie embarqués. Ce mode de fonctionnement pose plusieurs problèmes [1] : fréquence et coût de la maintenance, toxicité des éléments constituant les batteries, poids et encombrement du système global. Des solutions alternatives consistent à exploiter des micro-sources d'énergies ambiantes [2] (vibrations, rayonnements lumineux ou gradient thermique...) naturellement dissipées dans l'environnement du système à alimenter.

Le projet profite de l'expérience acquise dans le développement de solutions de récupération d'énergie pour l'industrie au sein du LAAS-CNRS Toulouse pour la transposer à un projet pédagogique. L'aspect pédagogique du projet a permis aux étudiants la prise en main de différents types de récupérateur d'énergie (transducteur), panneaux

solaires et thermogénérateurs de différentes tailles et performances, ainsi que des poutres piézoélectriques paramétrables en fréquence et en accélération. Plusieurs groupes d'étudiants ont été initiés à ce sujet en leur offrant les moyens de dimensionner, caractériser et mettre en œuvre six systèmes différents de récupération d'énergie, chacune avec un cahier des charges spécifique.

## 2. SOURCES ET BESOINS ENERGETIQUES

Les milieux industriels sont favorables au déploiement de solutions de récupération d'énergie pour l'alimentation de capteurs communicants. Les sources d'énergie ambiantes proposent de fortes disponibilité dans cet environnement. La Figure 1 représente les densités énergétiques de différentes sources [3][4].

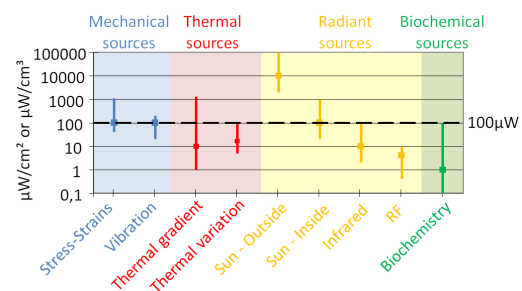
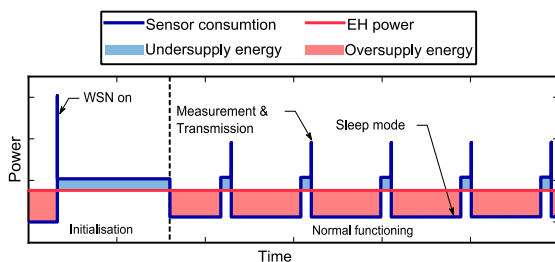


Figure 1. Densité énergétique de sources ambiantes

Nous nous intéressons ici à l'exploration de sources vibratoires, de rayonnements lumineux et de gradients thermiques. Ces sources sont infinies, mais pas systématiquement continues dans le temps (par exemple : le rayonnement solaire qui diffère selon l'heure, la saison ou la météorologie). Les trois sources ciblées montrent des potentiels exploitables pour obtenir une puissance de l'ordre de 100  $\mu$ W, nécessaire pour assurer l'alimentation d'un capteur communicant sans fil ayant une activité relativement faible. En effet, ce faible niveau de puissance ou la discontinuité de la source d'énergie ne permettent pas de garantir un fonctionnement en continu. La Figure 2 met en évidence les grandes phases de consommation d'un capteur actif et la puissance fournie par le système de récupération d'énergie.

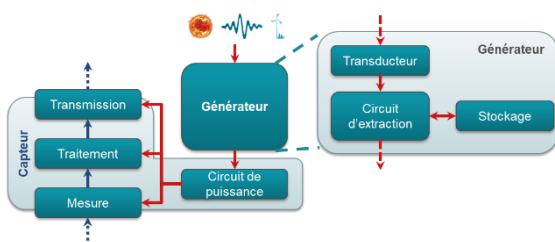


**Figure 2.** Chronogramme de la puissance nécessaire au fonctionnement classique d'un capteur et de la puissance moyenne produite par un récupérateur d'énergie

Lors des phases énergivores comme l'initialisation du capteur, la mesure et la transmission, le récupérateur d'énergie ne peut pas fournir la puissance demandée. Mais durant les phases de veille, le récupérateur d'énergie est en surproduction. Ce surplus d'énergie ne peut être exploité qu'en utilisant des éléments de stockage d'énergie. Pour cela, il est nécessaire de proposer une architecture de récupérateur capable d'extraire l'énergie de son milieu, de la stocker et de la mettre en forme pour être exploitée par le capteur.

### 3. ARCHITECTURE DE RECUPERATEUR D'ENERGIE AMBIANTE

L'architecture proposée est représentée Figure 3. Celle-ci est composée d'éléments disponibles dans le commerce pour des questions de fiabilité, de coût et de disponibilité.



**Figure 3.** Architecture de dispositif de récupération d'énergie

Le générateur est composé d'un transducteur faisant l'interface entre la source d'énergie et le circuit d'extraction. Le circuit d'extraction permet la mise en forme de l'énergie aussi bien pour le stockage que pour l'alimentation du circuit de puissance répartissant l'énergie au capteur. Le stockage employé est composé de supercondensateurs dimensionnés en fonction des besoins du capteur ou de la discontinuité de la source.

#### TRANSDUCTEURS

L'énergie récupérée dépend de la source mais également du rendement des transducteurs utilisés. Dans le cas de la récupération des rayonnements lumineux, nous utilisons des panneaux photovoltaïques pouvant atteindre des rendements de 17 % en moyenne. Ces panneaux Silicium du commerce permettent de récupérer 500 mW avec un bon ensoleillement. Dans l'exploitation des gradients thermiques, les thermogénérateurs fournissent une puissance pouvant atteindre 1.8W. Pour la récupération d'énergie vibratoire, des poutres piézoélectriques encastées-libres MIDE PPA 1014 peuvent permettre de récupérer 9.8 mW pour une source industrielle typique [4], soit une accélération de 1 g et une fréquence d'excitation de 60 Hz.

#### CIRCUITS D'EXTRACTION

Le circuit d'extraction est l'un des principaux composants de cette structure [5]. Nous avons sélectionné 3 modèles de circuit d'extraction pour ce projet. Un BQ25570 [6], développé par Texas Instruments, possède un élévateur en tension (boost) connecté au stockage et un abaisseur (buck) utilisé en sortie régulée. Ces deux sous-systèmes peuvent être utilisés indépendamment, afin d'alimenter deux charges à des niveaux de tension différents en même temps. Ce circuit est compatible avec une solution thermique ou une solution solaire, comme le circuit SPV1050 [7]. Ce dernier possède un buck et un boost, avec la possibilité de les exploiter conjointement. Ces circuits sont équipés d'une fonctionnalité Maximum Power Point Tracking [8] (MPPT). Ceci permet de sélectionner l'impédance d'entrée en fonction d'une fraction de la tension en circuit ouvert du transducteur afin d'extraire un maximum de puissance (75 % pour la solution solaire et 50 % pour la solution thermique). Pour finir, le troisième circuit LTC3588 [9], adapté à la récupération d'énergie vibratoire, intègre un pont de diode. Il est capable d'accepter des pics de tensions de 20 V. Il est également équipé d'un buck. L'ensemble de ces circuits garantit une sortie régulée à 3.3 V. Le rendement global ( $\eta$ ) de ces circuits est compris entre 70 % et 95 % [6], [7], [9].

## CAPTEURS

Nous avons choisi d'utiliser un système de capteurs communicants sans fil développé par Texas Instruments, EZ430-RF2500 [10] Figure 4.



Figure 4. Capteur communicant EZ430-RF2500

Ce dernier est prêt à l'emploi, il intègre un module émetteur et récepteur. Ces modules sont livrés avec un programme intégré dont l'accès libre permet la modification de la consommation en ajustant les fonctionnalités comme la cadence et le mode de transmission. Afin de dimensionner l'élément de stockage, il est nécessaire de connaître l'énergie consommée par ce module communicant. La Figure 5 représente les mesures de puissance.

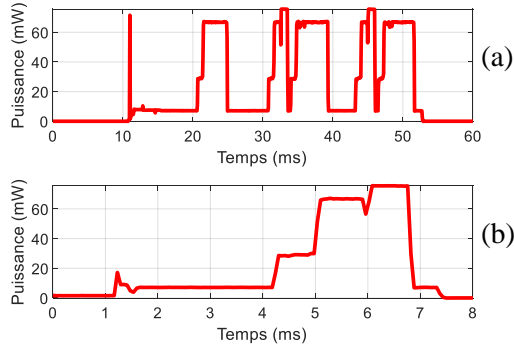


Figure 5. Puissance consommée lors de (a) démarrage et lors de (b) la mesure et transmission d'une donnée.

La phase de démarrage (Figure 5a) est la plus énergivore, le courant maximum consommé est de 23 mA. L'énergie nécessaire pour effectuer un démarrage est de  $E_{start} = 1.37$  mJ. Pour la phase d'envoi de données (Figure 5b), le courant maximum consommé est similaire, mais sur une durée plus courte ( $t_{meas.-trans.} = 7$  ms). L'énergie associée à une mesure et un envoi ( $E_{meas.-trans.}$ ) de donnée est de 175  $\mu$ J. En dehors des phases de mesure et d'envoi de données, le système se met en veille et consomme un courant d'environ 4  $\mu$ A, soit une puissance  $P_{sleep} = 13$   $\mu$ W entre deux envois espacés de 1,2 secondes ( $t_{sleep}$ ).

## STOCKAGE

Grace aux mesures précédentes, il est possible de dimensionner les supercondensateurs en utilisant la relation suivante (équation 1) :

$$E_{totale} = E_{start} + N(P_{sleep} \times t_{sleep} + E_{meas.-trans.}) \quad (1)$$

$N$  étant le nombre d'informations transmises, pouvant s'écrire également en fonction de l'autonomie ( $t_{Auto.}$ ) visée et de la somme des temps des différentes phases ( $t_{sleep} + t_{meas.-trans.}$ ) :  $N = t_{Auto.} / (t_{sleep} + t_{meas.-trans.})$ . Pour obtenir un équilibre énergétique, l'énergie totale doit être égale à l'énergie stockée dans les supercondensateurs en prenant en compte le rendement du circuit d'extraction ( $\eta$ ) pour obtenir la relation suivante (équation 2) :

$$E_{totale} = \eta \frac{1}{2} C (V_{max}^2 - V_{min}^2) \quad (2)$$

L'énergie dépend de la tension de charge maximale ( $V_{max}$ ) de la supercondensateur mais aussi de la tension résiduelle lorsqu'elles sont déchargées ( $V_{min}$ ). En introduisant l'équation 2 dans l'équation 1, il est possible de dimensionner la capacité  $C$  de stockage (équation 3) de la manière suivante :

$$C = \frac{2}{\eta (V_{max}^2 - V_{min}^2)} \left( E_{start} + \frac{t_{Auto.}}{t_{sleep} + t_{meas.-trans.}} (P_{sleep} \times t_{sleep} + E_{meas.-trans.}) \right) \quad (3)$$

La capacité dépend : du rendement et des niveaux de tension induit par le circuit ; de la cadence de mesure et de transmission des informations ; de l'autonomie sans récupération désirée. Les pertes dans les supercondensateurs sont négligées.

## 4. REALISATIONS EXPERIMENTALES

Les caractéristiques des sources proviennent de mesures réelles réalisées dans le cadre d'un projet de recherche sur des sites industriels. La Figure 6 représente deux des dispositifs réalisés par les étudiants : un récupérateur d'énergie thermique (Figure 6a) et vibratoire (Figure 6b).

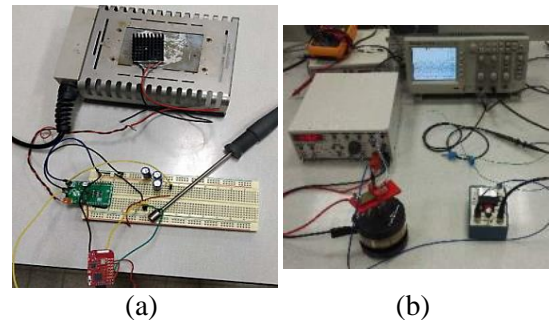


Figure 6. Tests d'un démonstrateur (a) thermique et (b) vibratoire

Les sources et les caractéristiques des démonstrateurs sont répertoriées dans le tableau 1. Les systèmes associés aux sources colorées en vert sont en mesure d'assurer l'alimentation du capteur.

**Tableau 1** : Sources et caractéristiques des démonstrateurs développés

Type	Sources Caractéristiques	Démonstrateur				
		Trans.	Circuit	Stock.	$t_{sleep}$	Autonomie
Solaire	<b>Intérieur</b>	$V_{mpp} = 2.45$ V $I_{cc} = 190$ $\mu$ A	SPV1050	1 F 5.5 V	2.5 min	1 jour
	<b>Extérieur</b>	* $V_{mpp} = 2.3$ V * $I_{cc} = 1.32$ A	BQ25570	12 F 4.8 V	5 min	2.5 jours
Thermique	<b>Gradient faible 40°C</b>	$V_{mpp} = 0.65$ V $I_{mpp} = 37$ mA	BQ25570	4.5 F 4.8 V	1 min	10 min
	<b>Gradient modéré 90°C</b>	$V_{mpp} = 1$ V $I_{mpp} = 75$ mA	SPV1050	1F 5 V	1 min	10 min
Vibratoire	<b>Fréquence faible : 25 Hz Accélération forte : 2.96 g</b>	$P = 0.73$ mW $V = 14$ V	LTC3588	0.25 F 20 $V_{max}$	1,2 s	2 jours
	<b>Fréquence modérée : 429 Hz Accélération faible : 0.43 g</b>	* $P = 0.1$ mW * $V = 7$ V	LTC3588	*0.5 F *11 $V_{max}$	*1 jour	*12 jours

\* Valeur théorique

Cependant, les systèmes associés aux sources colorées en orange n'ont pas été en mesure d'assurer le fonctionnement d'un capteur communicant. Malgré un dimensionnement du stockage plutôt réduit, se traduisant par une autonomie faible, la solution solaire en extérieur est fonctionnelle. Cependant la solution indoor n'est pas en mesure d'alimenter le capteur car le type de panneau photovoltaïque monocristallin n'est pas adapté aux sources lumineuses provenant des lampes environnantes. Une technologie amorphe aurait été plus indiquée. La solution thermogénérateur soumise à un gradient de température faible a été bien appréhendée par les étudiants. Des capteurs de température et d'humidité ont été rajoutés au système. Pour la solution soumise à un gradient modéré, les étudiants ont été confrontés à une limitation du courant d'entrée du circuit d'extraction choisi (SPV1050, 20 mA contre 75 mA récupéré). Pour les systèmes de récupération d'énergie vibratoire, les étudiants ont mis en évidence l'intérêt de maximiser la puissance produite par les générateurs piézoélectriques en ajustant les paramètres de masses et de longueurs pour faire correspondre la fréquence de résonance de leur poutre à la source. La solution résonante à fréquence faible et soumise à une forte accélération est en mesure d'alimenter les capteurs. Cependant, le choix des supercondensateurs réduit les performances induites par une résistance série importante limitant le transfert d'énergie. La solution fréquence modérée et faible accélération n'a pas fonctionné malgré une configuration proche d'une solution proposée par les différents fabricants. Le choix des différents éléments du marché et de leurs configurations impacte directement l'efficacité des systèmes déployés.

## CONCLUSION

Ce projet sur le thème de la récupération d'énergie ambiante pour l'alimentation de capteurs

communicants constitue un transfert intéressant entre une problématique industrielle actuelle de recherche et développement vers un projet d'étudiant. Il montre la possibilité d'utiliser des composants du commerce, afin d'alimenter des capteurs sans fil pour former un réseau de mesure. D'un point de vue pédagogique, cette thématique forme aux technologies sans fil alimentées par des solutions de récupération d'énergie, en passant par la gestion de la consommation et du stockage de l'énergie, mais aussi la programmation de microcontrôleur et l'étude des protocoles réseaux.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des étudiants de la 5<sup>ème</sup> année de l'INSA de Toulouse du parcours Embedded Smart Power Electronics, pour leurs réalisations et leurs résultats lors des séances de projets.

## RÉFÉRENCES

- [1] W. Guo and W. M. Healy, "Power Supply Issues in Battery Reliant Wireless Sensor Networks: A Review," *Int. J. Intell. Control Syst.*, vol. 19, no. 1, pp. 15–23, 2014.
- [2] S. Priya and D. J. Inman, *Energy harvesting technologies*. 2008.
- [3] M. Lallart, *Small-Scale Energy Harvesting*. 2012.
- [4] H. Xiao and X. Wang, "A review of piezoelectric vibration energy harvesting techniques," *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 8, pp. 609–620, 2014.
- [5] S. Beeby and W. Neil, *Energy harvesting for autonomous systems*. 2010.
- [6] Texas Instruments, "www.ti.com," *Bq25570*.
- [7] STMicroelectronics, "www.st.com," *SPV1050*, no. June 2016.
- [8] C. Cabal, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque," 2009.
- [9] Linear Technology, "www.analog.com," *LTC3588-1*.
- [10] Texas Instruments, "www.ti.com," *eZ430-RF2500*, no. June, 2015.