

# Récolte d'énergie pour alimentation des réseaux personnels sans fil

## Plus d'autonomie, plus d'économies, plus d'écologie!

**Pour certaines applications dans lesquelles les capteurs sont associés en réseaux personnels sans fil, il peut être très coûteux ou même impossible de procéder à un remplacement de batteries. Dans ces cas, l'utilisation d'une alimentation basée sur les technologies de récolte d'énergie peut être la solution idéale. Cet article expose quelques technologies de récolte d'énergie et traite des facteurs à considérer lors de leur mise en œuvre. Des démonstrateurs développés à l'InES de la ZHAW sont également succinctement présentés.**

Les dernières années ont connu d'importantes activités dans le domaine du développement de nouveaux protocoles de communication sans fil. Plusieurs de ces protocoles promettent des systèmes à très faible consommation, capables de fonctionner plusieurs mois (voire plusieurs années) avant de devoir changer les piles.

*Marcel Meli*

Les progrès enregistrés sont à mettre au compte de facteurs tels que l'amélioration de la structure des protocoles et l'utilisation de composants de faible consommation.

Cependant, il existe des situations où l'utilisation de piles reste inappropriée. Par exemple, lorsque la quantité de stations de communication (par exemple capteurs) utilisées est telle que la détection et le remplacement de piles usées implique des ressources humaines importantes, lorsque l'utilisation de piles introduit un risque inacceptable (feu, explosion, etc.) ou lorsque l'emplacement de l'émetteur/récepteur ou son contenant est tel qu'un remplacement de piles est impossible.

Parallèlement, le souci de produire des solutions plus respectueuses de l'environnement (réduction de la quantité de câbles et de piles ainsi que de problèmes liés à leur disposition) a encouragé le développement de réseaux personnels sans fil (WPAN ou Wireless Personal Area Network) utilisant l'énergie ambiante comme source d'alimentation (Energy Harvesting ou Energy Scavenging).

Quelle que soit l'application à laquelle il est dédié, un système sans fil alimenté par récolte d'énergie doit prendre en compte plusieurs facteurs, tels que le mode de génération d'énergie, le conditionnement nécessaire avant de pouvoir utiliser l'énergie électrique, le stockage d'énergie et le choix d'un protocole approprié pour le transfert de données.

### Quelques exemples d'applications

#### La domotique

L'utilisation de réseaux sans fil dans les environnements résidentiels, commerciaux ou industriels permet de gagner en flexibilité. Les interrupteurs et capteurs (luminosité, présence, température, humidité, etc.) peuvent être placés ou déplacés rapidement, sans installation de câbles (donc avec un minimum de main d'œuvre), afin de s'adapter à une nouvelle configuration du poste de travail. L'utilisation de la récolte d'énergie permet dans ce cas de réduire les coûts associés au remplacement des piles, tout en gardant la flexibilité découlant de l'emploi de réseaux sans fil [1, 2].

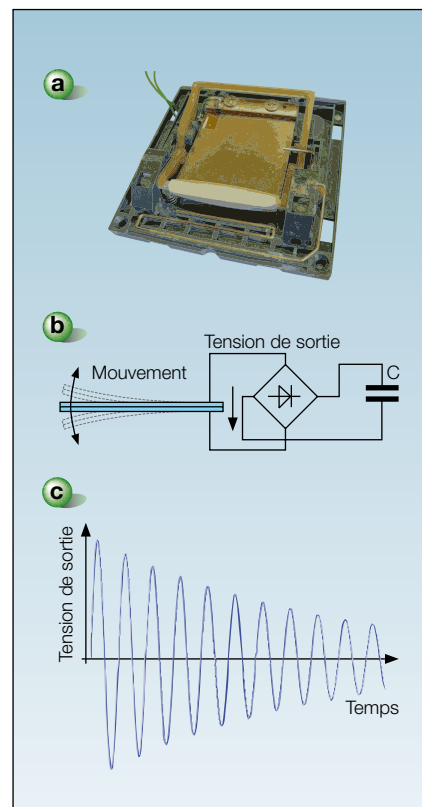
#### La détection d'incendies

Dans cette application, les capteurs de détection d'incendie, associés à un réseau sans fil sont placés à différents endroits, par exemple dans les arbres. Les radios sont configurées si possible de manière à pouvoir servir aussi comme postes de relais, et ainsi à faciliter le transfert des mes-

sages. L'utilisation de la récolte d'énergie permet de réduire considérablement les coûts d'entretien, sans pour autant diminuer l'efficacité du dispositif. L'utilisation d'un réseau maillé permet d'obtenir une bonne fiabilité sur une très large surface, ce qui convient parfaitement à la surveillance des forêts [3].

### Génération de l'énergie

Il existe plusieurs technologies permettant de récupérer l'énergie ambiante. Cette énergie qui peut exister dans l'environnement de l'application sous forme mécanique, lumineuse, électromagnétique ou calorifique, est transformée en énergie électrique par des convertisseurs appropriés.



**Figure 1** Générateur piézo-électrique. a) Élément piézo-électrique de la société Lightning-Switch. b) Accumulation de l'énergie générée par l'élément piézo-électrique. c) Tension de sortie pour une impulsion mécanique.

La transformation de l'énergie mécanique en électricité est parmi les plus utilisées, que ce soit à l'aide de convertisseurs piézo-électriques ou électromagnétiques. Dans ces cas, l'usure due au mouvement mécanique est un paramètre qui doit être pris en compte.

Les convertisseurs les plus courants sont décrits ci-après.

### Les convertisseurs piézo-électriques

Grâce à l'effet piézo-électrique, une force mécanique (provenant par exemple de vibrations, impulsions, pression acoustique) peut être utilisée pour fournir de l'énergie électrique.

Lorsqu'il est en mouvement, l'élément piézo-électrique génère une tension alternative. Cette tension peut être transformée en courant continu en utilisant un pont de diodes et un condensateur (figure 1). Le mouvement peut résulter d'une impulsion (pousser un interrupteur), ou d'une action continue (vibrations produites par un moteur en marche).

Quelques exemples de sociétés qui produisent des convertisseurs piézo-électriques sont donnés dans les références [4] et [5].

### Les convertisseurs thermoélectriques

Les éléments Peltier permettent de transformer des différences de température en énergie électrique. Le courant est important, mais la tension est généralement faible. Une des grandes difficultés est d'élever cette tension à une valeur permettant son utilisation (figure 2). En utilisant des composants spéciaux, il est possible de monter des convertisseurs DC/DC qui travaillent avec une tension d'entrée de quelques dizaines de millivolts. Une autre approche est celle de la société Micropelt [6] en Allemagne qui développe des capteurs thermoélectriques capables de délivrer une tension suffisante pour alimenter directement les circuits électroniques.

### Les convertisseurs de rayonnement électromagnétique

L'énergie présente dans le rayonnement électromagnétique peut aussi être exploitée. Cette énergie peut provenir de diverses stations émettrices situées dans les environs (radar, radio, télévision, etc.) ou de lecteurs RFID (Radio Frequency Identification). Les éléments utilisés pour la récolte d'énergie doivent bien sûr être adaptés à la fréquence des émetteurs. La faible valeur de la tension générée nécessite l'emploi d'un multiplicateur de tension. L'InES (Institute of Embedded Systems ou Institut de Systèmes embarqués) de la ZHAW (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften) utilise ce principe pour le tag RFID

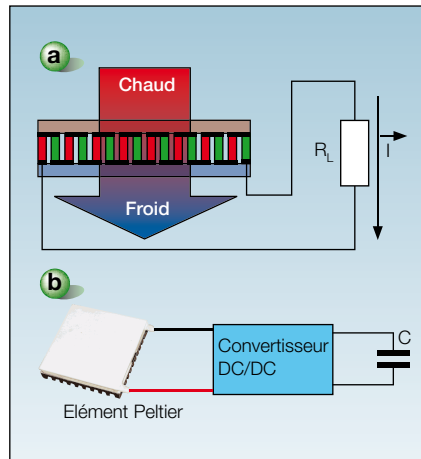


Figure 2 Générateur thermoélectrique.

a) Une différence de température entre les 2 plaques d'un élément Peltier conduit à la production d'énergie électrique. b) La tension générée est faible, et doit être multipliée en utilisant par exemple un convertisseur DC/DC. Le condensateur permet un stockage d'énergie.

passif et intelligent décrit plus loin dans cet article.

### Les convertisseurs électromagnétiques

Le mouvement peut aussi être transformé en énergie électrique lorsqu'un champ magnétique est présent (Loi de Faraday sur l'induction électromagnétique). Ce principe est exploité par la société Perpetuum [7] dont les générateurs peuvent délivrer plusieurs milliwatts de puissance électrique lorsqu'ils sont soumis à des vi-

brations. La firme EnOcean [1] a développé l'Eco100 [8] pour le marché de la domotique. Ce générateur bien adapté à la fabrication d'interrupteurs sans fil, peut générer plusieurs centaines de microjoules à chaque impulsion mécanique. La dynamo des bicyclettes, les générateurs «shake» de certaines lampes de poche, sont autant de convertisseurs électromagnétiques qui peuvent aussi être utilisés dans les systèmes sans fils.

### Les convertisseurs photovoltaïques

Ces cellules génèrent de l'électricité en présence de la lumière. La quantité d'énergie dépend entre autres du nombre de cellules utilisées et de la luminosité. Pour des raisons de place et d'économie, il est avantageux de travailler avec un petit nombre de cellules, ce qui a pour conséquence de réduire la quantité d'énergie disponible. Le suivi du point maximum de transfert d'énergie (Maximum Power Point Tracking) et l'utilisation d'un élément de stockage adéquat permettent d'optimiser la production d'énergie lorsque des variations importantes de luminosité sont à prendre en compte.

### Les autres types de convertisseurs

Il existe également des convertisseurs électrostatiques, des nanogénérateurs (Georgia Tech [9]) ainsi que des convertisseurs basés sur des sources biologiques ou chimiques [10]. Bien que moins populaires, ils permettront de nouvelles applications dans les années à venir.

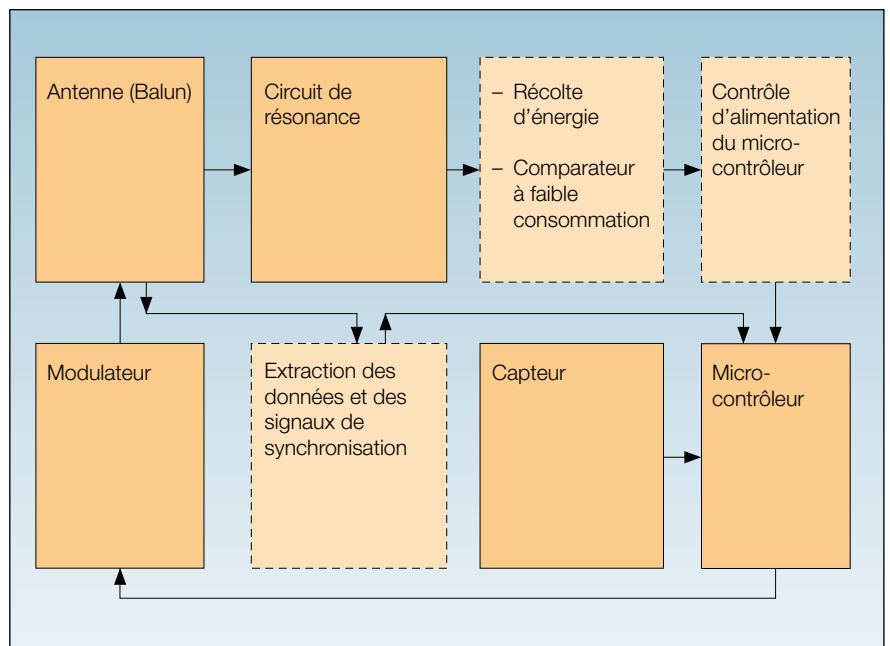


Figure 3 Schéma de bloc d'un µCTag flexible et intelligent.

Le signal du capteur est lu par le microcontrôleur et la valeur lue est transmise au lecteur RFID avec la modulation appropriée. L'énergie nécessaire provient du lecteur RFID. En fonction du protocole, les éléments en pointillé peuvent être facultatifs.

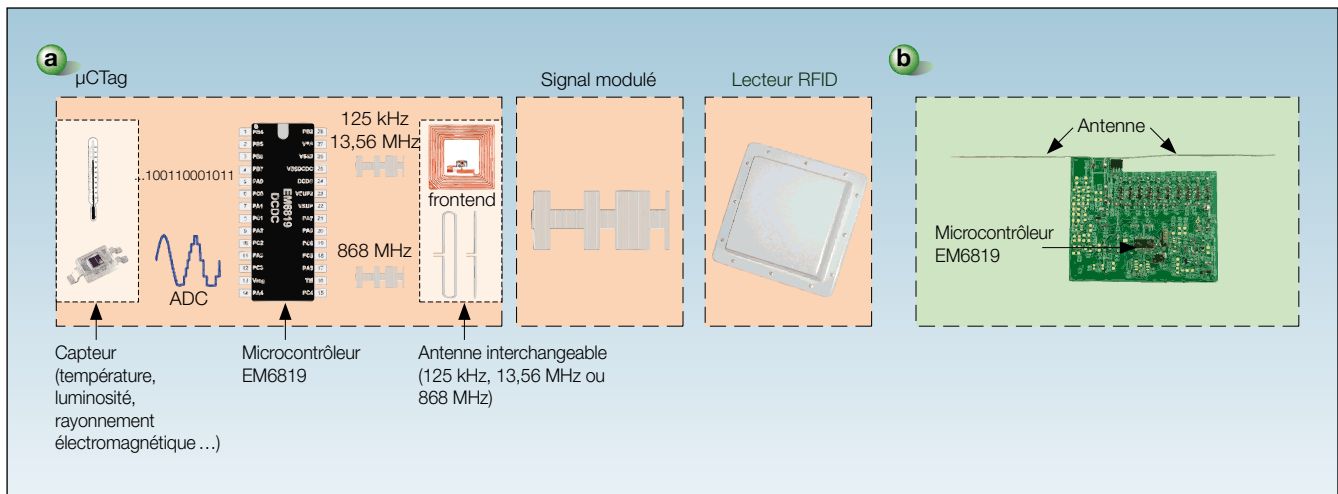


Figure 4 Tag passif et intelligent.

a) Principe du  $\mu$ CTag RFID passif et intelligent, illustrant l'interchangeabilité des protocoles et des capteurs. L'antenne doit correspondre à la fréquence utilisée.  
b) Version actuelle non-optimisée du  $\mu$ CTag fonctionnant à 868 MHz.

## Adaptation et accumulation

Une fois l'énergie produite, il est important de la conditionner pour l'application en cours. Dans ce but, diverses opérations peuvent être effectuées.

### La transformation de courant alternatif en courant continu

La transformation de courant alternatif en courant continu est généralement faite avec un pont de diodes. Il est préférable d'utiliser des diodes à faible chute de tension. Dans le cas de l'utilisation d'un convertisseur de rayonnement électromagnétique, il est important de tenir compte de la fréquence du signal alternatif.

### La conversion de la tension

Un convertisseur doit être utilisé pour élever ou réduire la tension de sortie. Dans le cas de certains convertisseurs piézo-électriques par exemple, la tension générée peut atteindre des dizaines de volts, voire plus. Il est important de la réduire avec un circuit approprié afin de maximiser le transfert d'énergie et en même temps de garder la tension de sortie suffisamment basse pour ne pas détruire les composants électroniques.

Lorsque l'énergie électrique générée est inférieure à 1,8 V, comme dans le cas d'éléments Peltier courants, l'emploi de convertisseurs spécialisés pour élever la tension est de mise. Ces convertisseurs doivent pouvoir démarrer à de très basses tensions.

### Le stockage

Dans certaines applications, l'utilisation d'un système de stockage pour palier aux périodes de manque doit être envisagée (par exemple la nuit, si un convertisseur

photovoltaïque est employé). Dans de telles circonstances, le choix de l'élément de stockage doit permettre de stocker assez d'énergie et de réduire les fuites. Cet élément peut être un accumulateur ou un supercondensateur. Le choix doit prendre en compte la quantité d'énergie à stocker, les fuites conduisant à la décharge, le nombre de recharges possibles.

## Impact des protocoles de communication

La consommation énergétique est l'un des facteurs les plus importants à considérer lors de la mise en œuvre de systèmes sans fil basés sur la récolte d'énergie. Elle est notamment influencée par le choix des composants électroniques, la quantité de données à échanger, le protocole de communication utilisé ainsi que par la distance entre émetteur et récepteur et l'environnement de l'application.

### Les composants électroniques utilisés

Il est important d'utiliser des composants qui consomment peu de courant et travaillent à basse tension. Les paramètres à surveiller dans le choix des composants sont entre autres:

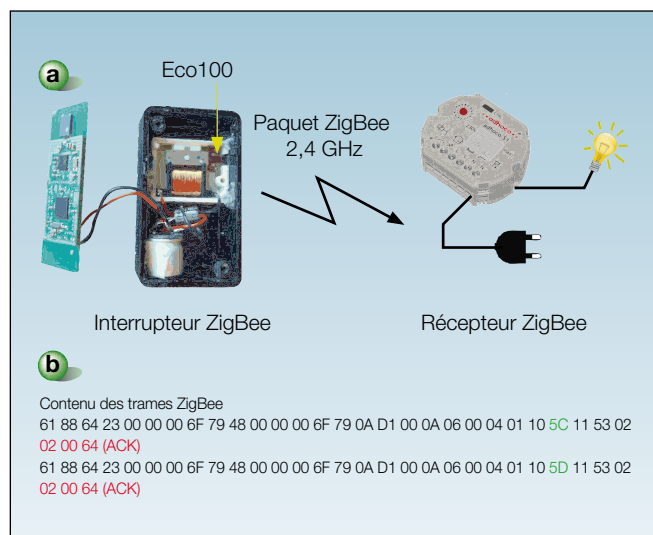
- Le courant nécessaire lors de la transmission ou de la réception des trames
- Les courants en modes opérationnel et de veille du microcontrôleur
- Le temps nécessaire à la stabilisation de l'oscillateur
- La possibilité d'envoyer automatiquement une confirmation de réception
- La possibilité de recevoir et de traiter automatiquement les trames (par exemple renvoyer la trame si une confirmation

de réception n'est pas reçue dans un délai précis)

- La possibilité de détecter que le canal de communication est libre
- La tension minimale et maximale d'opération du composant
- La vitesse de démarrage du microcontrôleur (plus le temps de démarrage du microcontrôleur est long, et plus l'énergie est gaspillée)
- Le type de mémoire non volatile ainsi que le temps de rétention (l'introduction prochaine de microcontrôleurs avec RAM ferromagnétique, permettra de réduire leur besoin en énergie)

### La quantité de données à transmettre ou à recevoir

Ce paramètre est conditionné par l'application. En général, pour les réseaux WPAN, le courant consommé lors de la réception est du même ordre de grandeur que le courant nécessaire lorsque les données sont transmises (une dizaine de milliampères). Il est donc préférable de garder l'émetteur et le récepteur en veille aussi longtemps que possible. Pour cela, les données doivent si possible être accumulées, et transmises périodiquement. Plus le pourcentage du temps durant lequel l'émetteur/récepteur est actif par rapport au temps total est bas (rapport cyclique), plus la consommation est réduite. Le rapport cyclique est bas si le nombre de données à échanger est faible. Dans les situations où le récepteur doit être utilisé pendant longtemps, un circuit tel que le SX1211 conçu à Neuchâtel par le groupe suisse de Semtech est intéressant. En mode de réception, il consomme 3 fois moins que beaucoup d'autres radios [11].



**Figure 5 Interrupteur sans fil et sans pile compatible ZigBee.**  
 a) L'Eco100 alimente un microcontrôleur et une radio qui envoient des trames ZigBee à un récepteur. Ce dernier pilote un relais pour alimenter une lampe.  
 b) En noir, les octets constituant 2 trames consécutives de commandes. En rouge, la trame signalant une bonne réception des commandes. L'octet en vert représente le compteur APS qui est incrémenté et stocké en mémoire non volatile.

### Le protocole de communication utilisé par l'application

Le but de la communication étant de transmettre les données rapidement et sans erreur, plusieurs paramètres entrent en jeu. Par exemple:

- La procédure et le temps d'accès au medium: Plus la procédure d'accès requiert d'opérations, plus les pertes d'énergie et de temps seront élevées.

- La fréquence d'utilisation: Une fréquence utilisée par d'autres applications augmente soit la probabilité de collisions et donc la nécessité de retransmissions, soit le temps d'écoute pour s'assurer qu'un canal est libre avant de procéder à une transmission. La bande ISM de 2,4 GHz peut être utilisée dans pratiquement tous les pays du monde. Elle permet des débits de transfert élevés, mais est encombrée, car plusieurs protocoles tels que le WLAN et bluetooth opèrent aussi dans cette bande. L'utilisation du 868 MHz est acceptée seulement dans certains pays (Europe incluse). Les débits de transfert de données sont plus faibles. Cette bande est aussi utilisée par certains systèmes RFID. A puissance de transmission égale, le 868 MHz a une meilleure portée que le 2,4 GHz dans les immeubles.

- En-tête dans les trames: Plus l'en-tête (préambule, contrôle de redondance cyclique (CRC)) est long, plus la quantité d'énergie nécessaire est élevée. Les protocoles complexes et flexibles ont généralement besoin d'un en-tête long. En retour, ils sont ouverts à des applications complexes.

- Longueur des trames: Plus une trame est longue (temps de transmission), plus la probabilité d'une erreur augmente, condui-

sant à une éventuelle corruption des données, et à la nécessité de les retransmettre. La retransmission des trames augmente la consommation en énergie.

- Complexité de la pile (stack): Plus le protocole est complexe, plus il y a d'activité du processeur ce qui accroît les besoins énergétiques.

### Quelques protocoles basse consommation disponibles sur le marché 802.15.4

Ce protocole permet de réaliser des réseaux très complexes avec des milliers de capteurs. Les nœuds peuvent réagir en quelques millisecondes. Plusieurs octets sont nécessaires pour accompagner la charge utile, ce qui augmente les besoins en énergie. Le 802.15.4 est à la base des standards tels que ZigBee, Wireless HART, etc.

### ZigBee

Ce standard qui essaie de s'imposer en domotique est très approprié pour des réseaux complexes [12]. Reposant sur le 802.15.4, il demande encore plus d'énergie que ce dernier pour transmettre la charge utile. Les nœuds sont normalement alimentés en secteur ou par des piles. Un communiqué récent de l'alliance ZigBee indique qu'elle s'active à étendre son protocole afin d'inclure des systèmes alimentés par la récolte d'énergie [13]. En 2008, l'InES a présenté un prototype d'interrupteur sans fil et sans piles transmettant des trames compatibles avec le standard ZigBee [14].

### Bluetooth Low Energy

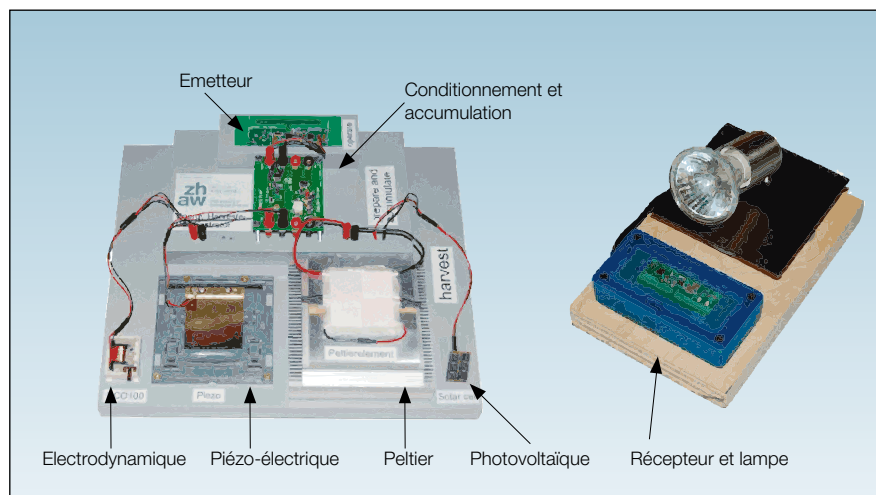
Ce système, encore en développement, permettra d'utiliser des nœuds de très faible consommation dans les réseaux bluetooth [15]. A la différence de ZigBee, il vise surtout les applications fonctionnant autour d'un téléphone portable ou d'un ordinateur (réseaux étoiles).

### EnOcean

Ce protocole a été développé spécifiquement pour une utilisation avec de l'énergie récoltée [1]. Il est moins flexible que ZigBee, mais plus approprié lorsque l'énergie disponible est faible. Il souffre encore d'une caractérisation comme protocole propriétaire, malgré les efforts entrepris par l'alliance EnOcean pour le rendre plus populaire. Le nombre de fabricants de circuits intégrés qui apportent leur support à ce protocole est pour le moment assez limité.

### Autres protocoles

En plus des protocoles décrits plus haut, les protocoles Z-Wave, RF4CE, ANT ou encore Wavenis méritent également d'être mentionnés.



**Figure 6 Démonstrateur avec différentes sources d'énergie.**



## Choix et coûts

L'utilisation des systèmes de récolte d'énergie n'est pas toujours la solution la plus économique. Le prix direct à l'achat est, dans la plupart des cas, plus élevé qu'un système utilisant des piles. Les systèmes dans lesquels tous les nœuds sont alimentés par récolte d'énergie sont plutôt rares. Les nœuds qui doivent toujours être disponibles sont généralement alimentés par des batteries ou par secteur. La technologie des batteries connaît aussi des progrès. Des durées de vie pratiques au-delà de 15 ans ont été observées dans certaines applications [16].

Les facteurs suivants sont à prendre en compte lors du choix de la méthode d'alimentation:

- La quantité d'énergie nécessaire à l'application
- Le prix de la solution
- La fréquence de remplacement des piles dans une application donnée
- L'accès au capteur et à son alimentation
- Le coût écologique de la solution (il est important de noter que contrairement à la publicité faite, certains dispositifs de récolte d'énergie peuvent aussi contenir des éléments difficiles à recycler ou à éliminer)
- Les contraintes d'utilisation (température, humidité, etc.)
- La disponibilité de l'énergie (luminosité, vibrations, etc.)

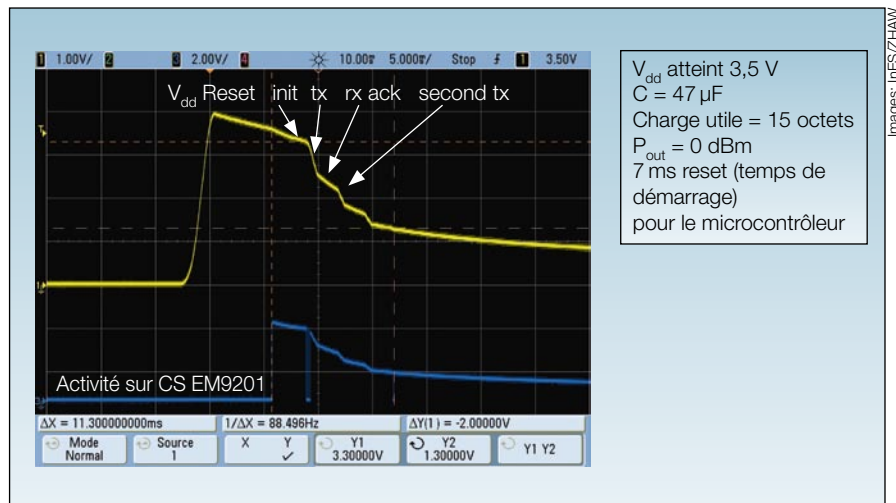
## Quelques applications développées à l'InES

Plusieurs démonstrateurs ont été développés à l'InES à Winterthur [17]. Ils utilisent pour la plupart des composants de très faible consommation produits par l'industrie suisse du semi-conducteur.

### RFID passive à base d'un microcontrôleur

$\mu$ CTag est un circuit qui permet l'émulation passive de plusieurs protocoles RFID sur la base d'un microcontrôleur.  $\mu$ CTag est encore à l'état de prototype.

Le microcontrôleur est connecté à une antenne RFID correspondant à la fréquence du protocole à émuler. L'énergie nécessaire au fonctionnement du dispositif est récoltée du champ électromagnétique produit par le lecteur RFID. Derrière l'antenne, un multiplicateur de tension (si nécessaire) permet d'atteindre rapidement la tension suffisante pour démarrer le contrôleur. Juste après le démarrage, le microcontrôleur peut être mis dans un mode de veille pour une consommation minimale, afin de permettre l'accumulation de suffisamment d'énergie pour faire tourner le programme. Si des



**Figure 7** Retransmission automatique de trame pour un protocole proche du Bluetooth low energy.

En jaune, tension sur la broche d'alimentation du microcontrôleur ( $V_{dd}$ ). En bleu, activité sur la broche CS de la radio. Suite à une impulsion mécanique, un message de 15 octets (tx) est envoyé. Si une réception sans faute (rx ack) n'est pas signalée par le récepteur dans un délai déterminé, le message est envoyé à nouveau. L'énergie générée, ici par un Eco100, est suffisante pour les activités clés du système ainsi que pour la retransmission de la trame.

capteurs sont nécessaires, leurs valeurs peuvent être lues et envoyées au lecteur RFID dès que l'énergie est suffisante (figure 3).

$\mu$ CTag est actuellement basé sur le EM6819, un microcontrôleur de la famille CoolRisc de la société suisse EM Microelectronic basée à Marin. Le EM6819 qui est une machine 8 bit, est capable de démarrer et de fonctionner en dessous de 1 V. Après le démarrage, la tension d'alimentation peut être réduite jusqu'à 0,6 V. Sous une tension de 3 V, la puce consomme typiquement moins de 150  $\mu$ A à 1 MIPS (Million d'Instructions par seconde).

La flexibilité du microcontrôleur permet de charger le protocole correspondant sous forme de software dans la FLASH (figure 4a).

Dans la version actuelle (figure 4b), l'émulation de certaines puces RFID UHF (868 MHz) a été démontrée. Les émulations incluent les modes Read Only et Read/Write (les commandes du lecteur RFID sont reçues, interprétées et exécutées). En mode capteur, la température ambiante est lue et insérée dans le code identité, puis envoyée au lecteur RFID. Les protocoles actuellement émulsés sont ceux de la société EM Microelectronic. Il est prévu de faire de même pour d'autres protocoles (ainsi que pour des portions du protocole RFID Gen2).

Ce démonstrateur prouve qu'il est possible de développer un réseau de capteurs utilisant une infrastructure RFID déjà en place. Les types de capteurs doivent bien entendu être choisis de manière à être compatibles avec la quantité d'énergie disponible. La flexibilité provenant de l'utilisa-

tion d'un microcontrôleur permet l'adaptation rapide de plusieurs types de capteurs et de plusieurs protocoles RFID. Une autre application est la vérification rapide et à coûts réduits de protocoles ou parties de protocoles RFID, avant de passer à un développement sur silicium.

### Interrupteur sans fil compatible avec le standard ZigBee

Dans le domaine de la domotique, un interrupteur sans fil capable d'envoyer des trames compatibles avec le standard ZigBee a été conçu et présenté à Munich en juin 2008 [14].

Pour la réalisation de ce démonstrateur (figure 5a), l'AT86RF230 du fabricant Atmel [18], une radio de très faible consommation capable d'envoyer et de recevoir des trames 802.15.4, a été utilisée. Cette radio combinée avec un microcontrôleur ATmega de Atmel, ou un microcontrôleur EM6819 de EM Microelectronic permet de générer les trames. La récolte d'énergie est assurée par un convertisseur électrodynamique Eco100 de la société EnOcean (identique à ceux utilisés par cette société pour leur protocole propriétaire). Chaque impulsion mécanique sur l'Eco100 permet de générer de l'énergie et d'envoyer une trame qui est interprétée par le récepteur pour inverser l'état de la lampe. Le récepteur ZigBee contrôlant la lampe provient de la firme Ad-hoco.

En plus de l'envoi de la trame qui contient l'information sur l'interrupteur, une confirmation de réception peut être reçue, et le compteur APS incrémenté et écrit en mémoire non volatile (figure 5b). La même application est aussi possible avec d'autres

circuits intégrés, par exemple ceux de Texas Instruments ou de GreenPeak.

La difficulté pour un standard comme ZigBee est liée au grand nombre d'octets à envoyer afin de rester compatible. En principe, quelques bits seraient largement suffisants pour informer de l'état d'un interrupteur (même si plusieurs entrées sont envisagées). Seulement, le protocole ZigBee demande une trentaine d'octets dans cette situation. Cette lourdeur est liée à la flexibilité du protocole qui permet beaucoup d'autres fonctions ou applications.

### Interrupteur sans fil sur la base d'une radio destinée au Bluetooth low energy

Un démonstrateur capable d'utiliser différentes sources d'énergie pour envoyer un message (dans ce cas une trame pour activer une lampe avec différents niveaux de luminosité) a été développé (figure 6).

Le circuit émetteur/récepteur est basé sur le EM9201 de EM Microelectronic [19] et le microcontrôleur EM6819 déjà présenté. La radio répond dans ses couches basses aux exigences du futur protocole «Bluetooth low energy». Ce protocole permettra d'intégrer dans un réseau bluetooth des éléments de très faible consommation capables d'opérer pendant des mois voire des années avec 2 piles alcalines.

L'énergie produite par les différentes sources est traitée en fonction du type de générateur. Elle est suffisante dans tous les cas pour envoyer plusieurs fois des trames de 15 octets. Le circuit radio est programmé pour recevoir une confirmation de réception (ACK). Si la confirmation n'est pas reçue (ou si elle indique une faute), la trame est de nouveau transmise (figure 7).

Le démonstrateur utilise comme sources d'énergie:

- 1 Eco100, convertisseur électrodynamique
- 1 convertisseur piézo-électrique
- 4 éléments Peltier montés en série
- 2 petits éléments solaires (3 cellules par élément)

Les 2 premières sources sont intermittentes. L'énergie est générée uniquement lorsque l'élément piézo-électrique est mis en vibration (par exemple par une activité humaine) alors que les 2 dernières sources sont continues (l'énergie électrique est générée aussi longtemps qu'il y a une différence de température entre les plaques de l'élément Peltier, ou aussi longtemps qu'il y a assez de lumière pour les cellules solaires).

### Conclusion

Les éléments nécessaires à des solutions sans fil, alimentés par récolte d'énergie, existent et vont continuer de se développer dans les années à venir. Le développement de composants permettant de travailler à basse tension, la mise au point de nouvelles méthodes pour récolter l'énergie, les progrès dans le domaine du stockage vont s'accroître. Plusieurs applications existent déjà dans la domotique, l'entretien des machines ou la sécurité. Pour une bonne mise en œuvre, il est important de considérer plusieurs facteurs allant des demandes énergétiques des composants électroniques aux caractéristiques du protocole de communication. Ce genre d'alimentation a des limites qu'il est important

de reconnaître, mais permet aussi d'étendre l'utilisation de la communication sans fil dans des domaines où ceci était encore difficile, voire impossible il y a quelques années.

### Informations sur l'auteur

**Marcel Meli** est ingénieur en électronique et titulaire d'un doctorat (PhD). Il a travaillé dans l'industrie électronique dans le développement d'applications basées sur les microprocesseurs. Il a aussi été longtemps actif dans le développement et test des circuits intégrés et particulièrement des microcontrôleurs destinés au marché de la communication. Il est actuellement professeur en informatique et électronique digitale. Il dirige aussi le groupe des systèmes sans fil de l'InES à la ZHAW. Ce groupe est impliqué dans la recherche appliquée et participe à des projets industriels reliés à la communication sans fil, la récolte d'énergie, la RFID et les microcontrôleurs.

*Institute of Embedded System,  
Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften, 8400 Winterthur,  
marcel.meli@zhaw.ch*

### Références

- [1] [www.enocean.com](http://www.enocean.com).
- [2] [www.lightningswitch.com](http://www.lightningswitch.com).
- [3] [www.voltreepower.com](http://www.voltreepower.com).
- [4] [www.faceinternational.com](http://www.faceinternational.com).
- [5] [www.advancedceramics.com](http://www.advancedceramics.com).
- [6] [www.micropelt.com](http://www.micropelt.com).
- [7] [www.perpetuum.co.uk](http://www.perpetuum.co.uk).
- [8] Eco100 datasheet: [www.enocean.com](http://www.enocean.com).
- [9] [www.nanoscience.gatech.edu/zhwang](http://www.nanoscience.gatech.edu/zhwang).
- [10] C.J. Love, S. Zhang, A. Mershin: Source of Sustained Voltage Difference between the Xylem of a Potted Ficus benjamina Tree and Its Soil. [www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0002963](http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0002963).
- [11] [www.semtech.com](http://www.semtech.com).
- [12] Alliance ZigBee: [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).
- [13] Communiqué de presse ZigBee sur le site de l'alliance ZigBee: New ZigBee Green Power Feature Set Revealed. [http://zigbee.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=16107](http://zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=16107).
- [14] M. Meli, A. Bluem: A Battery-less Switch for Use in 802.15.4 / ZigBee Applications. Proceedings of the Second European ZigBee Developers Conference, Munich, 24-25 June 2008.
- [15] [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com).
- [16] Documents sur l'utilisation de piles Tadiran pendant plus de 20 ans: [www.tadiranbat.com](http://www.tadiranbat.com).
- [17] [www.ines.zhaw.ch](http://www.ines.zhaw.ch).
- [18] AT86RF230 datasheet: [www.atmel.com](http://www.atmel.com).
- [19] EM9201 datasheet: [www.emmarin.com](http://www.emmarin.com).

### Liens utiles

[www.energyharvestingjournal.com](http://www.energyharvestingjournal.com)  
[www.adaptivenergy.com](http://www.adaptivenergy.com)  
[www.powercastco.com](http://www.powercastco.com)

### Résumé

#### Energierückgewinnung zur Speisung persönlicher, drahtloser Netze

*Unabhängiger, sparsamer, umweltfreundlicher!* Bei gewissen Anwendungen, bei denen Sensoren in autonomen, drahtlosen Netzen zusammengefasst sind, kann der Batterieersatz recht kostspielig oder gar unmöglich sein. In solchen Fällen kann eine Speisung auf der Grundlage der Rückgewinnung von Restenergie die ideale Lösung bieten. Der Artikel zeigt einige Technologien der Energierückgewinnung auf und behandelt die bei deren Umsetzung zu berücksichtigenden Faktoren. Auch werden Vorführungen des InES an der ZHAW kurz vorgestellt.