



L'HOMME CONNECTÉ

Objets Communicants Portés : Vers une Autonomie Adaptée Wearable Communicating Objects : Towards an adapted autonomy

*Renaud BRIAND***, Guillaume TERRASSON*, Alvaro LLARIA*, Valérie DUPE**

* ESTIA, Technopôle IZARBEL, 64230 BIDART, {r.briand, g.terrasson, a.llaria, v.dupe}@estia.fr

** AQUITAINE ELECTRONIQUE, Rue du Ger, 64811 Serres-Castet. r.briand@aquitaine-electronique.fr

Mots-clefs

Conception microcapteurs autonomes, contrainte de consommation

Autonomous sensors design, power consumption constraint

Résumé

Les objets communicants sont aujourd'hui devenus une réalité et il ne fait aucun doute qu'ils occuperont une place prépondérante dans notre vie de tous les jours d'ici quelques années.

L'avènement de ces nouvelles technologies qui se veulent non intrusives, passe par une communication sans fil et sans faille. Néanmoins, une problématique importante de ces objets interconnectés reste leur consommation énergétique. En effet, l'idée de mettre en réseau des objets de plus en plus nombreux dans un environnement donné implique, après avoir supprimé le cordon de communication, d'en faire de même avec celui de l'alimentation.

Aujourd'hui, tout un chacun accepte volontiers de recharger un téléphone portable de façon journalière pour assurer la connectivité à tout endroit du globe mais il n'en sera pas de même pour l'internet des objets. Il sera ainsi nécessaire de trouver d'autres solutions pour ces réseaux en passant par une optimisation de la consommation énergétique de ses nœuds et de ses communications ainsi qu'en considérant de nouvelles sources d'alimentation.

Au cours de cet exposé, nous aborderons le thème de la consommation énergétique au sein des réseaux de capteurs : quels sont les éléments consommateurs et comment améliorer l'autonomie ? Nous présenterons l'alternative de la récupération d'énergie dans le milieu environnant. Puis, nous développerons une méthode d'aide à la conception d'objets communicants autonomes, intégrant au plus tôt les contraintes de l'application.

Introduction

Les réseaux de capteurs sont constitués de senseurs disséminés dans des environnements souvent vastes et peu accessibles [1]. Par conséquent, il sera nécessaire de prendre un soin tout particulier à la conception de leurs nœuds de façon à garantir une autonomie énergétique compatible avec l'application visée. Des recherches sont ainsi menées afin d'améliorer cette caractéristique critique, par la conception de composants très faible consommation [2], le développement de protocoles de communication spécifiques [3] ou alors en considérant des solutions de récupération d'énergie [4] [5].

Dans cet article, nous nous intéressons à la problématique de conception de microcapteurs autonomes. Nous détaillerons des outils et une méthode d'aide à la conception qui permettra à l'ingénieur d'évaluer les choix technologiques et l'architecture adaptés aux besoins d'une application donnée et dans un objectif d'autonomie maximale.

Nous présenterons une modélisation du nœud et de ses sources d'énergie qui permettra d'évaluer sa consommation et donc son autonomie.

1. Les capteurs autonomes

Les capteurs autonomes sont des dispositifs intelligents compacts, miniaturisés et multifonctionnels intégrant des microcapteurs associés à une unité de traitement. Ils sont capables d'échanger des données et de communiquer avec d'autres microsystèmes ou une station de contrôle distante, par l'intermédiaire d'un transmetteur sans fil. Le fonctionnement de ces nœuds est garanti par une source d'énergie embarquée.

Les applications réseaux de capteurs présentent des caractéristiques très différentes les unes des autres mais se rejoignent généralement sur l'aspect contrainte énergétique. Partant de ce constat, de nombreuses recherches ont été initiées, présentant, par exemple, des protocoles de communication adaptés aux applications de réseaux de microcapteurs qui permettraient une meilleure utilisation de l'énergie disponible au sein du réseau. Cependant, il a été constaté qu'il était difficile d'évaluer l'autonomie d'un nœud à cause du large choix des caractéristiques de l'application. Ainsi, le modèle développé dans cet article permet de répondre à cette question récurrente de l'évaluation

de l'autonomie d'un nœud d'un réseau de microcapteurs. Cette question d'évaluation restait en suspens du fait de l'hétérogénéité d'un nœud. En effet, un nœud allie des éléments mécaniques, électroniques et informatiques (Figure 1).

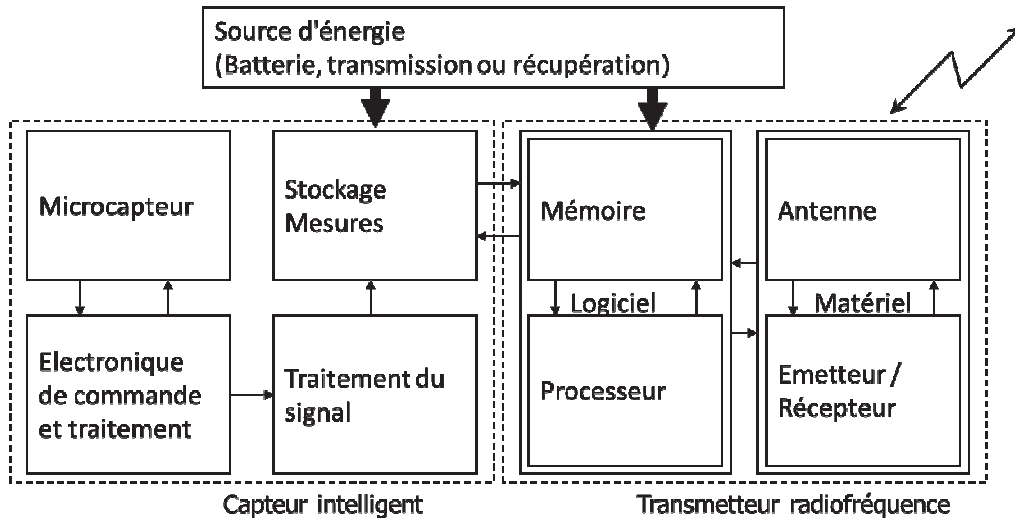


Figure 1 : Architecture d'un capteur autonome

L'objectif de nos travaux consiste donc à proposer un modèle énergétique simple d'un nœud. Ce modèle va nous permettre d'évaluer l'impact des spécifications de l'application sur la consommation mais aussi l'impact du coût énergétique dû à la mise en place d'un protocole de communication spécifique aux réseaux de microcapteurs. Enfin, ce modèle va nous permettre de déterminer comment minimiser la consommation moyenne d'un nœud en fonction des spécifications d'une application.

1.1. Consommation énergétique

Un des critères le plus important dans la conception d'un nœud de réseau de capteurs, est son autonomie. En effet, du fait de la densité du réseau mais aussi de l'environnement dans lequel le capteur est placé, le remplacement de sa batterie est généralement complexe. Il est donc important de maximiser la durée de vie d'un nœud et donc de sa batterie.

Pour assurer une certaine autonomie, il est donc nécessaire séquencer l'activité du nœud de façon à alterner des modes de fonctionnement avec des modes de veille. Nous parlerons alors de rapport cyclique de fonctionnement du nœud. Pour permettre une durée de vie conséquente, il sera donc essentiel de rendre la durée du mode de fonctionnement négligeable devant celle du mode veille.

De plus, l'amélioration de l'autonomie nécessite de gérer indépendamment chaque composant du nœud. Ainsi, nous pouvons découper le fonctionnement d'un nœud en plusieurs phases (Figure 2).

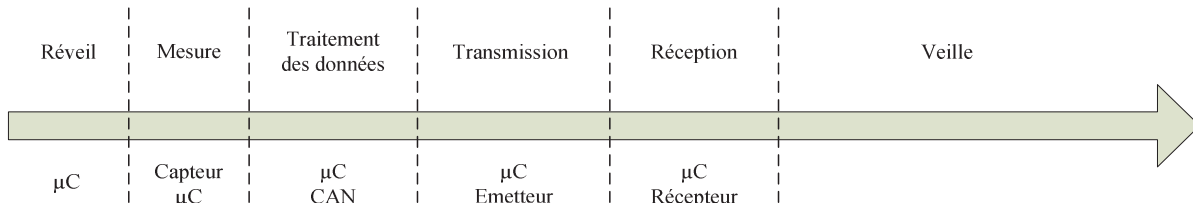


Figure 2 : Différentes phases de fonctionnement du capteur autonome

Le réveil de chacun des éléments du nœud est géré de façon indépendante. C'est le microcontrôleur, élément central, qui va avoir la tâche de commander le réveil des différents blocs. Il va ainsi gérer les différentes phases de fonctionnement du nœud. L'énergie consommée pendant les différentes phases pourra s'écrire en première approximation :

$$E_{cons} = P_{on} \cdot t_{on} \quad (1)$$

Où P_{on} représente la puissance consommée pendant le phase considérée et t_{on} représente la durée de cette phase.

1.2. Modélisation d'un nœud

Lors de phase de conception préliminaire d'un capteur autonome, le concepteur peut apparaître dépourvu devant l'ampleur des paramètres à considérer. Ainsi, Afin d'estimer la consommation globale d'un capteur autonome, nos

travaux ont porté sur la modélisation sous forme de blocs génériques, reconfigurables et réutilisables de chaque élément du nœud. Nos activités de recherche nous ont permis de développer des outils de simulation haut niveau d'un nœud de réseau de capteurs, basés sur des modèles de type comportemental et implémentés sous Matlab-Simulink. Le premier outil, nommé OSCCAR pour Outil de Simulation pour la Conception de Capteurs Autonomes en Réseau [6], permet de tester différentes configurations matérielles et logicielles d'un microcapteur, pour une application donnée.

Il est basé sur un schéma bloc de fonctionnement du microcapteur dans lequel chaque bloc représente un élément du nœud : le capteur, le microcontrôleur, l'émetteur-récepteur radiofréquence, ...

L'objectif étant d'obtenir une évaluation rapide de la consommation énergétique du nœud, chacun de ces éléments est modélisé de la façon la plus simple possible : une puissance en fonctionnement et une puissance en veille. Ils possèdent, en plus, deux entrées numériques (On et Off) permettant le passage en mode veille ou la sortie de ce mode.

L'assemblage de ces blocs définit ainsi le séquençement de l'activité du capteur autonome, permettant d'obtenir une simulation de la consommation globale du système.

Le logiciel permet donc l'évaluation de la consommation du nœud et de son autonomie tout en identifiant les éléments les plus consommateurs (Figure 3) [6]. Ces données servent de points d'entrée à un second outil.

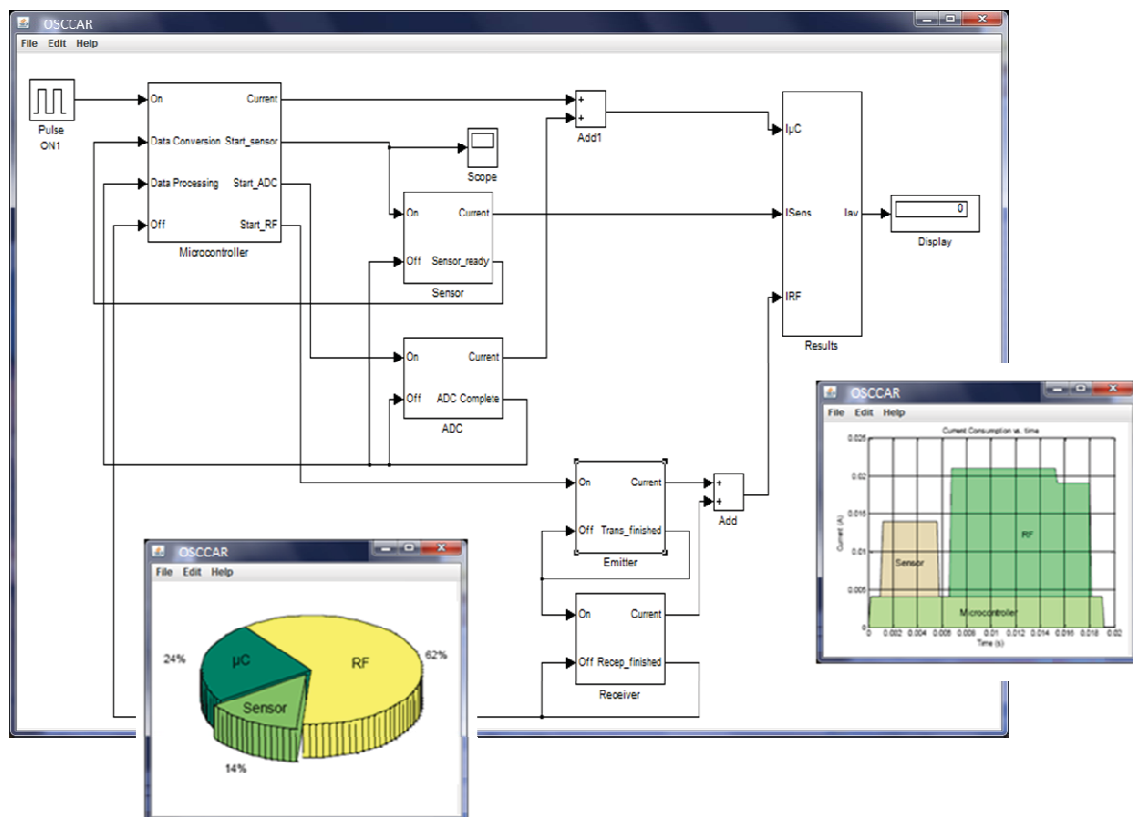


Figure 3 : Interface utilisateur de l'outil OSCCAR (vue du schéma bloc du nœud, de la contribution de chaque élément à la consommation et du séquençement de l'activité du nœud)

2. Récupération d'énergie

2.1. Sources d'énergies exploitables

La source d'énergie la plus communément utilisée dans la conception des nœuds d'un réseau de capteurs est la pile qui apporte une densité énergétique intéressante, malgré une empreinte écologique très négative. Dans une optique de protection de l'environnement et pour aller vers une autonomie infinie du nœud, les technologies de récupération d'énergie dans le milieu environnant sont de plus en plus évoquées et même utilisées.

Récemment, l'intégration dans les microsystèmes de microgénérateurs d'énergie, récupérant et convertissant l'énergie ambiante, a permis, en les couplant avec des éléments de stockage rechargeables, d'augmenter l'autonomie d'un microcapteur. En comparaison avec l'énergie stockée dans une batterie, l'environnement représente une source d'énergie illimitée incluant le rayonnement solaire [7], le vent [8], les gradients thermiques [9], les vibrations [10], etc.

On voit ainsi apparaître des composants sur étagère (COTS) dans ce domaine, apportant de nouvelles possibilités au concepteur de réseau de capteurs. Cependant, devant le nombre de sources d'énergie exploitables, le choix d'une

solution adaptée à l'application visée devient très complexe. Le choix et le dimensionnement de cette source, des convertisseurs d'alimentation associés pour rendre l'énergie exploitable, restent très difficiles à appréhender.

De plus, une fonction de gestion d'énergie devient nécessaire pour lier la partie récupération d'énergie aux éléments de stockage (Figure 4). Elle a pour rôle de gérer l'énergie récupérée, de charger ou non les éléments de stockage et d'orienter l'énergie disponible vers le microcapteur pour assurer son fonctionnement et ceci en consommant un minimum d'énergie devant l'énergie potentiellement récupérable.

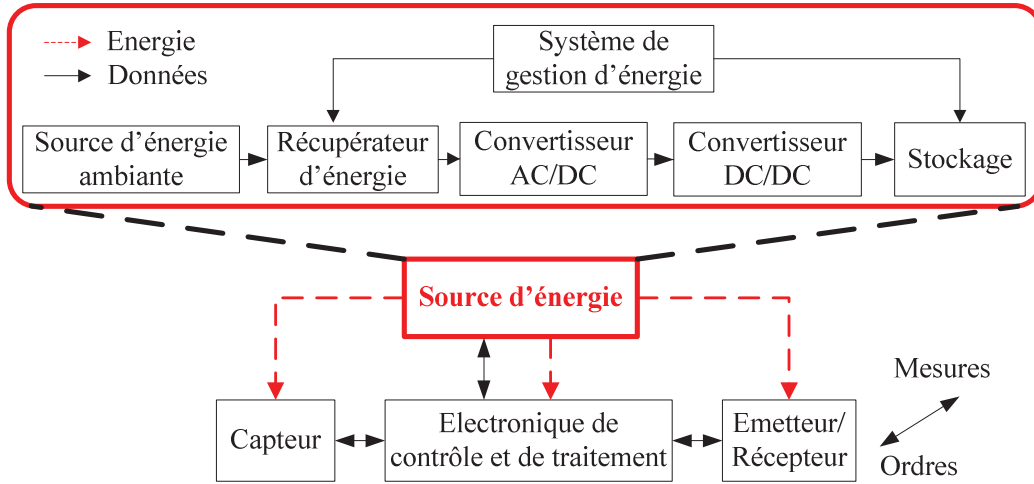


Figure 4 : Décomposition de la partie « énergie » d'un capteur autonome

2.2. Outil d'aide au choix de la source

Partant de ces constats, nous avons développé un outil de pré-évaluation de l'énergie disponible dans l'environnement proche du capteur afin d'offrir une aide au choix des éléments de la partie alimentation, en fonction de la contrainte d'autonomie et des spécifications de l'application.

Ainsi, ce deuxième outil permet d'adapter le choix des sources d'énergie du microcapteur en incluant les solutions de récupération d'énergie et en considérant les contraintes liées à son environnement. Il s'appuie sur une méthode de conception structurée. Cette méthode démarre par une phase de définition du système, de son environnement et des sources d'énergie présentes. Ensuite, nous avons défini des critères de sélection pour choisir les sources d'énergie les plus adaptées au problème, en prenant en compte les contraintes fixées par l'application. Ce choix permet de définir l'architecture de la source d'alimentation en énergie et d'obtenir un premier modèle haut niveau. Par la suite, ce modèle est raffiné en améliorant la représentation de chaque bloc à l'aide de logiciels spécifiques, afin de tenir compte du caractère multi-physique de la conception (Fig. 5).

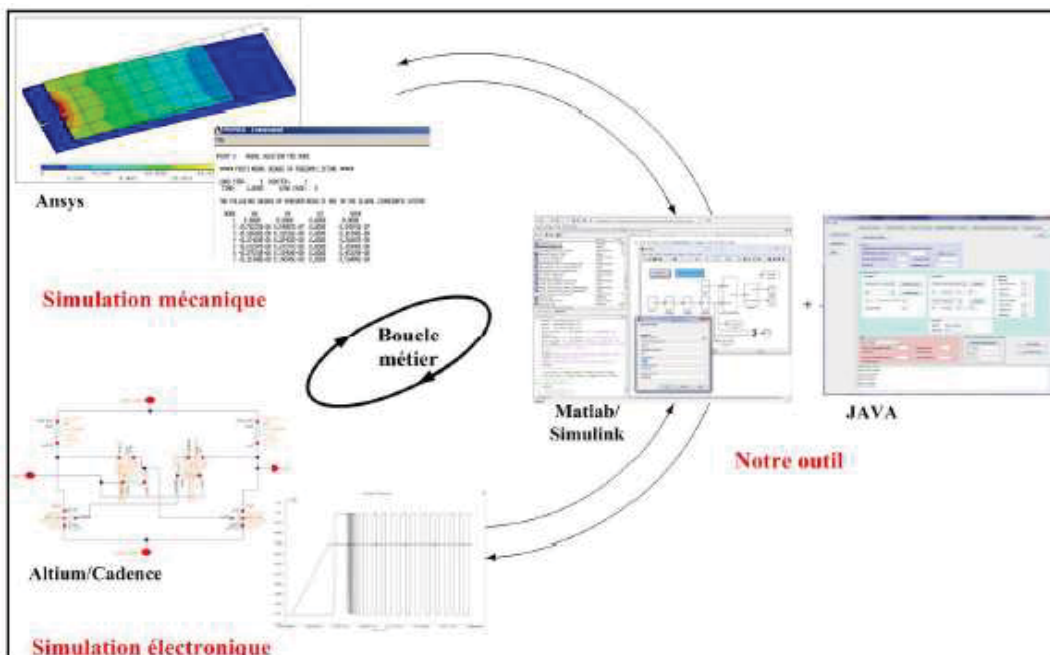


Figure 5 : Méthode de multidisciplinaire de conception du récupérateur d'énergie

La solution logicielle, développée à partir de cette méthode et connectée à une base de données évolutive, constitue un support pour guider l'utilisateur dans les différentes phases de modélisation et de conception, et dans le choix d'une architecture adaptée en explorant un ensemble de solutions possibles. Cette interface est reliée à l'outil OSCCAR d'évaluation rapide de l'autonomie du système, constitué de modèles simples, pour faciliter le choix de l'architecture. Ainsi combiné au premier outil, il offre aussi la possibilité d'optimiser les architectures matérielle et logicielle du microsystème, en évaluant l'impact de certains paramètres (fréquence de fonctionnement du microcontrôleur, débit d'envoi des données, protocole de communication, ...) sur la consommation finale du dispositif ou en testant différents composants [8]. De plus, dans le cas où aucun composant du marché ne conviendrait pour une fonction donnée (émetteur/récepteur, capteur, ...), il permet de mettre en évidence la nécessité d'une réalisation spécifique.

Ainsi, la méthode développée guide les concepteurs dans le choix des composants, des matériaux, des technologies et de l'architecture du microsystème. Elle permet de définir la structure globale en couplant différents domaines de l'ingénierie dès les premières phases du processus de conception. L'originalité réside dans l'approche système utilisée. De plus, les outils développés sont orientés "application", ils supportent le processus de conception, partant des spécifications jusqu'à la conception détaillée. Par ailleurs, ils permettent d'estimer rapidement si une source d'énergie peut suffire pour assurer l'autonomie énergétique d'un nœud ou si l'hybridation de plusieurs sources est nécessaire et propose une conception virtuelle des différentes solutions possibles, afin de réduire la durée du processus de conception. Ils offrent aussi la possibilité aux concepteurs de choisir la meilleure configuration d'un nœud en fonction des spécifications de l'application et de l'autonomie visée.

3. Exemples d'utilisation des outils logiciels développés

L'outil de simulation de la consommation énergétique d'un nœud (OSCCAR) a été utilisé pour développer un réseau de capteurs dédiés à la gestion de parcs de stationnement (Figure 6). Cette application consistait en un réseau de capteurs dont les nœuds étaient implantés dans chaque place de stationnement. Ils permettaient la détection des véhicules et transmettaient à distance l'état de chaque emplacement. L'outil nous a permis d'évaluer le meilleur rapport cyclique de fonctionnement, la meilleure stratégie de séquençement du nœud ainsi que l'autonomie estimée à plus de cinq ans.

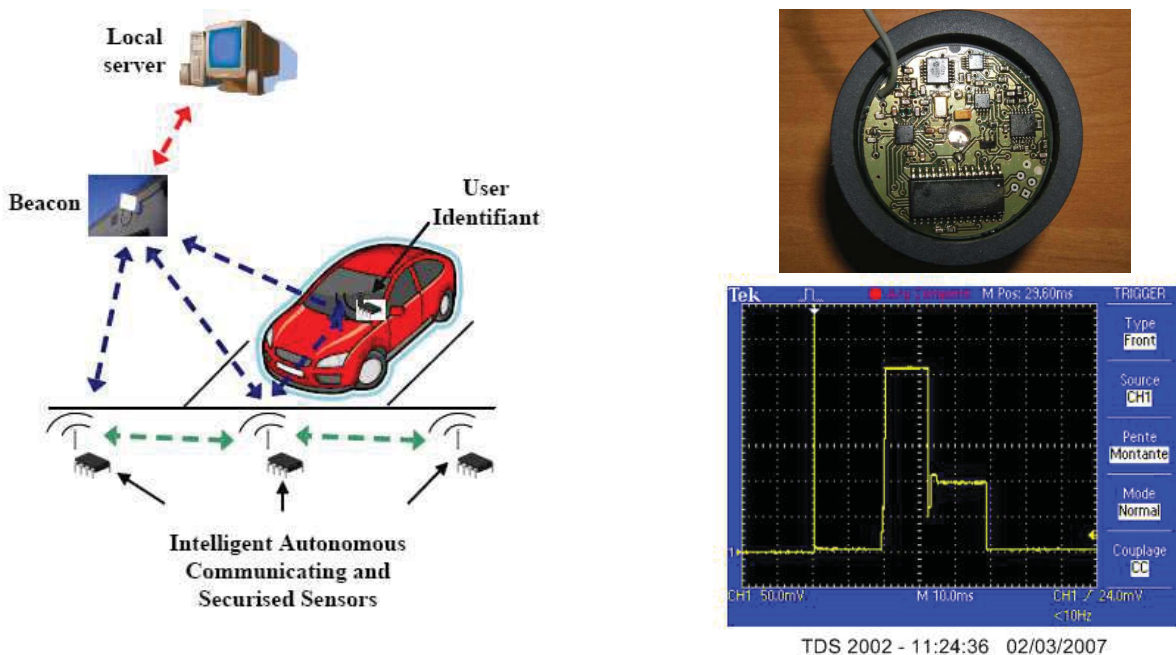


Figure 6 : Application gestion de parcs de stationnement (schéma de principe, prototype capteur et relevé de consommation)

Une amélioration des modèles comportementaux des éléments du nœud a permis de mettre en évidence des choix optimum pour certaines caractéristiques. Ainsi, nous avons mis en évidence que la fréquence de fonctionnement du microcontrôleur et le débit de transmission des données pouvaient être choisis de façon optimale pour réduire la consommation d'un nœud. En effet, ces deux caractéristiques entraînent une augmentation de la consommation globale lorsqu'elles augmentent, mais impliquent également une diminution du temps de fonctionnement du système et donc une diminution de la consommation globale. Notre outil peut ainsi être utilisé afin de trouver le meilleur compromis entraînant la consommation minimale.

Nous avons également souvent utilisé notre outil afin d'évaluer le coût énergétique de certaines fonctions d'un microcapteur. Nous avons ainsi évalué l'impact, en terme d'autonomie, du protocole de

communication. Nous avons donc simulé un nœud complet transmettant ses données avec ou sans accusé de réception. Cette étude nous permet de définir, en fonction de l'application, la meilleure stratégie entre la sûreté de transmission et l'autonomie maximale.

Enfin, notre outil nous a permis d'évaluer différentes sources d'énergie additionnelles à la classique batterie, en déterminant l'augmentation de l'autonomie apportée par la récupération d'énergie. Ainsi, pour une application de capteurs météorologiques de chaussée, nous avons évalué les gains théoriques de l'hybridation de sources photovoltaïques et d'énergie vibratoire permettant la récupération des vibrations issues du passage des véhicules (Figure 7).

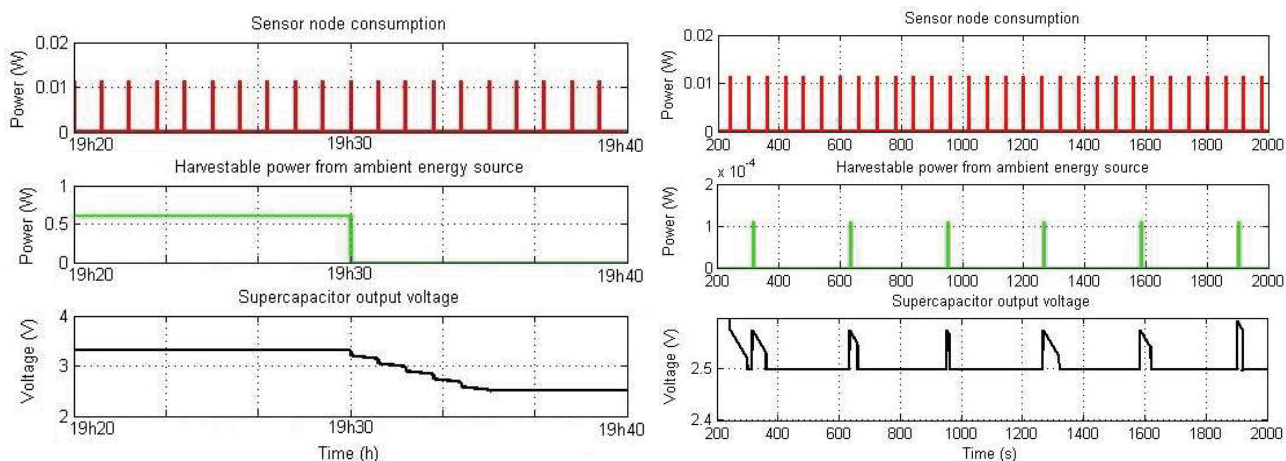


Figure 7 : Présentation de résultats de simulation des sources photovoltaïques et d'énergie vibratoire

Conclusion

Les outils présentés dans cet article visent à aider les concepteurs dans le choix des éléments d'un microcapteur autonome jusqu'à la sélection de la partie énergétique et en tenant compte des contraintes imposées par l'application.

Ces outils permettent de tester différents scénarii de fonctionnement du nœud, de définir certains paramètres clés (fréquence de fonctionnement, débit de transmission, ...), d'évaluer l'influence de certaines caractéristiques sur la consommation (protocole, source d'énergie additionnelle, ...).

Références bibliographiques

- 1- I. Akyildiz, et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, 2002.
- 2- G. Terrasson, et al., "A Design Technique for Power Constrained CMOS Low-Noise Amplifier Dedicated to Wireless Sensor Networks," J. Of Low Power Electron. (JOLPE), 2009.
- 3- J. Zhao, et al., "A novel application specific network protocol for wireless sensor networks," presented at the 2005 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (2005) 2005.
- 4 - M. Lossec, et al., "Micro-kinetic generator : Modeling, energy conversion optimization and design considerations," in 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2010, pp. 1513-1521.
- 5 - G. Waltisperger, et al., "Photovoltaic Energy Harvester for Micro-Scale Applications" presented at the IEEE North-East Workshop on Circuits And Systems Conference (NEWCAS), Montreal, 2010.
- 6 - Encart sur le logiciel OSCCAR dans l'article « A chaque application M2M sa solution », paru dans le magazine Mesures , Avril 2013, n° 854, p56-59
- 7 - V. Raghunathan, A. Kansal, J. Hsu, J. Friedman and M. Srivastava. "Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems". In *Proc. 4th Int. Conf. on Information Processing Sensor Networks*. April 2005, pp. 457-462.
- 8 - C. Federspiel, J. Chen. "Air-powered Sensor". Berkeley University of California. 2003.
- 9 - M. Strasser, R. Aigner, M. Franosch, G. Wachutka. "Miniaturizes thermoelectric generators based on Poly-Si and Poly-Si-Ge surface micromachining". *Sensors and actuators A. Physical*. April 2002, Vol. 97-98, pp. 535-542.
- 10 - M. Marzencki, S. Basrou, B. Charlot, A. Grasso, M. Colin and L. Valbin. "Design and fabrication of piezoelectric micro power generators for autonomous microsystems". *DTIP'05*. TIMA editions, 2005, pp. 299-302.
- 11 - G. Terrasson, et al., "A Top-Down Approach for the Design of Low-Power Microsensor Nodes for Wireless Sensor Network," presented at the Forum On Design Language (FDL) 2009, Sophia Antipolis, France, 2009.
- 12 - V. Dupé, et al., "Simulation tool for microsensor design driven by autonomy constraints," presented at the IEEE Low Voltage Low Power Conference FTFC, Marrakech, Morocco 2011.