

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/333310737>

# Vers l'entière autonomie énergétique des capteurs sans fil

Conference Paper · May 2019

CITATIONS

0

READS

9

2 authors:



**Maryline Chetto**

University of Nantes

112 PUBLICATIONS 763 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Hussein El Ghor**

Lebanese University

23 PUBLICATIONS 83 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Real time systems [View project](#)



Real-Time Systems [View project](#)

# Vers l'entière autonomie énergétique des capteurs sans fil

Maryline Chetto, Hussein Ghor

► **To cite this version:**

Maryline Chetto, Hussein Ghor. Vers l'entière autonomie énergétique des capteurs sans fil. 2019.  
hal-02061373

**HAL Id: hal-02061373**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02061373>**

Submitted on 8 Mar 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.

# Vers l'entière autonomie énergétique des capteurs sans fil

---

Maryline Chetto<sup>1</sup>

Hussein El Ghor<sup>2</sup>

maryline.chetto@univ-nantes.fr

hussain@ul.edu.lb

<sup>1</sup> IUT de Nantes

Institut des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N), UMR 6004

<sup>2</sup> IUT de Saïda, Université libanaise

Laboratoire des Systèmes embarqués et en réseaux (LENS)

**THÈMES** – *Informatique*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article a pour objectif de décrire des contributions de recherche collaborative entre l'IUT de Nantes et l'IUT de Saïda au Liban. L'initiation de cette collaboration a été concomitante il y a dix ans avec celle d'un nouvel axe de recherche du LS2N centré sur les systèmes temps réel autonomes en énergie. Ils se rapporte à la conception des infrastructures logicielles spécifiques pour assurer ce que l'on nomme la neutralité énergétique, en particulier dans les noeuds de capteur sans fil, principaux maillons de l'Internet des Objets. Par nos travaux, nous montrons notamment comment les stratégies d'ordonnancement temps réel peuvent impacter favorablement la neutralité énergétique, comment celles-ci peuvent éviter la famine d'énergie ou le gaspillage d'énergie et comment elles garantissent des résultats de calcul sous contraintes temporelles strictes.*

**MOTS-CLÉS** – *capteur sans fil autonome, récupération d'énergie renouvelable, temps réel, ordonnancement.*

## 1 Introduction

Les travaux de recherche menés conjointement entre l'IUT de Nantes et l'IUT de Saida ont démarré en 2009. Ils concernent le développement, l'évaluation de performance et la mise en oeuvre d'ordonnanceurs temps réel pour la gestion optimale de l'énergie ambiante servant à alimenter des capteurs sans fil totalement autonomes. Ils ont été supportés dans la phase de démarrage par un PHC (Partenariat Hubert Curien) en 2011-2012. Celui-ci a permis d'assurer une collaboration avec une équipe de recherche alors émergente à Saida. Quatre thèses de doctorat issues de cette recherche collaborative ont été soutenues sur cette dernière décennie ce qui a permis la création du laboratoire LENS (Laboratory of Embedded and Networked Systems).

## 2 Capteurs et autonomie énergétique

On peut considérer que le réseau de capteurs sans fil constitue l'une des plus importantes technologies qui a donné naissance à l'Internet des Objets. En effet, notre société a un besoin accru dans ces dernières années d'observer, de mesurer et de contrôler des phénomènes physiques et biologiques. Cela concerne le domaine industriel par exemple pour le contrôle en boucle fermée d'un système de climatisation, pour la surveillance de lignes électriques aériennes, etc., le domaine de l'écologie et l'environnement pour la surveillance de la radioactivité, du taux de CO<sub>2</sub>, de la température, de la pression atmosphérique, de l'hygrométrie, etc. mais également celui de la santé pour le suivi à distance des patients par le recueil de données physiologiques.

Utiliser une pile ou une batterie pour alimenter un capteur suppose que celles-ci soient changées ou rechargées périodiquement. La maintenance engendre alors des coûts prohibitifs et peut s'avérer laborieuse voire impossible vu l'hostilité ou l'inaccessibilité du milieu dans lesquels les capteurs sont déployés.

## 3 Récupérer l'énergie de l'environnement

Une nouvelle gamme de capteurs sans fil est entrain de naître, celle dite des capteurs entièrement autonomes. Plutôt que d'intégrer une pile, ils tirent l'énergie requise pour leur fonctionnement dans l'environnement. Cette technologie est connue sous le vocable "Energy Harvesting" [2]. Généralement reliés en réseau, ces capteurs transmettent leur information par ondes radio et une fois installés fonctionnent quasi-perpétuellement, leur longévité n'étant limitée que par celle des matériaux et matériels utilisés.

Selon l'endroit où on le déploie, un capteur autonome récupère son énergie d'alimentation à partir d'un rayonnement solaire ou artificiel grâce à une cellule photovoltaïque, à partir des vibrations grâce à un dispositif piézoélectrique, à partir de la chaleur, etc. Les capteurs autonomes sont ainsi

particulièrement appropriés à la prise de mesures dans des sites peu accessibles (comme le milieu sous-marin), isolés ou mobiles. L'architecture matérielle d'un dispositif autonome se compose de plusieurs blocs fonctionnels, comme représentés sur la Figure 1

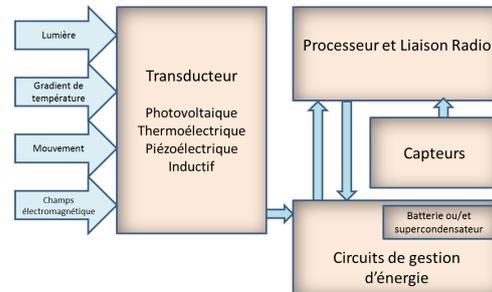


FIGURE 1 – Schéma d'un noeud de capteur autonome

## 4 Contraintes temps réel

Les besoins en énergie d'un capteur sont réduits car il bénéficie des avancées d'une technologie de l'électronique dite du "low power" voire "ultra low power". Ils récoltent des données en provenance de différents périphériques et ce, de manière cyclique. Le logiciel applicatif se compose ainsi d'activités périodiques souvent appelées tâches ou jobs (relevés de données capteurs, communications...) qui doivent être exécutées dans le respect de contraintes temporelles sous peine de ne pas disposer de données fraîches. Le système doit par là-même s'appuyer sur un ordonnanceur adéquat c'est à dire en charge d'exécuter les tâches au vu de toutes les contraintes attachées à celles-ci. Le non-respect d'une contrainte tel que l'envoi d'une donnée après une échéance pré-spécifiée peut avoir des conséquences catastrophiques sur l'application (pertes humaines, matérielles, économiques).

## 5 Problématique de recherche

La question clé attachée à la gestion de l'énergie dans un capteur autonome n'est pas de minimiser la consommation de l'énergie pour maximiser la durée de vie du dispositif comme dans les matériels portables traditionnels. Le problème revient à garantir un mode de fonctionnement qualifié d'« énergétiquement neutre » dans lequel à tout moment le dispositif ne consomme jamais plus d'énergie que celle récupérée. L'objectif scientifique principal de nos recherches est de proposer des stratégies d'ordonnement visant à faire le meilleur usage de l'énergie disponible tout en garantissant l'exécution temps réel de l'application embarquée.

Concevoir un système embarqué autonome tel qu'un noeud de capteur sans fil signifie pouvoir garantir avant son dé-

ploiement un mode de fonctionnement qualifié d'énergétiquement neutre. Ce système a deux obligations. Il ne doit jamais consommer plus d'énergie qu'il n'en récupère auprès de la source environnementale. Et il ne doit pas gaspiller d'énergie sauf si celle-ci est en surplus. Une politique d'ordonnement inclue donc une planification en ligne de l'activité du processeur qui définit précisément les périodes d'oisiveté et de travail du processeur en plus d'ordonner les tâches temps réel selon leur urgence (Figure 2). En résumé, la question à laquelle nos travaux tentent d'apporter des réponses depuis dix ans peut se formuler comme suit : *Comment déterminer les périodes d'oisiveté du processeur et comment ordonner le logiciel applicatif pour respecter perpétuellement les contraintes temporelles exprimées en termes de date de fin d'exécution au plus tard.*

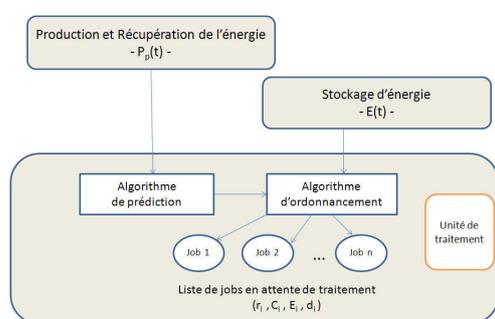


FIGURE 2 – L'ordonnanceur temps réel

## 6 Aperçu des résultats

L'ordonnement temps réel est une thématique de recherche dynamique et riche en résultats depuis les années 70. Malgré le grand nombre de résultats significatifs dans le domaine, les spécificités des systèmes temps réel autonomes en énergie ne sont toujours pas supportées aujourd'hui par les ordonnanceurs temps réel qui intègrent les systèmes d'exploitation. De plus, la très grande majorité des travaux de recherche sur l'ordonnement temps réel contraint par l'énergie visent à minimiser l'énergie consommée en vue de maximiser le délai qui sépare les recharges successives de batterie ou les changements de pile. Ils ignorent donc la problématique liée à un fonctionnement énergétiquement neutre. Dans nos travaux, nous avons d'abord considéré une plate-forme monoprocesseur mono-fréquence exécutant des activités cycliques [1] et des activités apériodiques [3]. Deux autres thèses se sont focalisées sur des systèmes moins critiques acceptant des surcharges de traitement et des famines occasionnelles d'énergie avec l'objectif d'optimiser certains critères de Qualité de Service. La Figure 3 illustre un ordonnement temps réel optimal qui ne doit être ni ASAP (As Soon As Pos-

sible) ni ALAP (As Late As Possible).

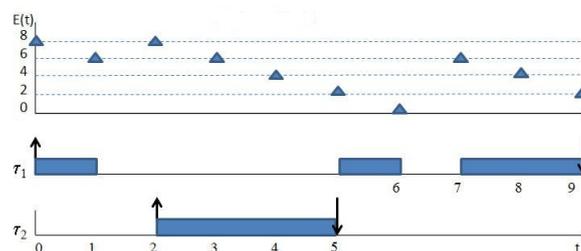


FIGURE 3 – Illustration d'un ordonnement optimal

## 7 Conclusions

Les travaux évoqués dans cet article portent sur les capteurs sans fil autonomes en énergie. Ces derniers sont alimentés par une source renouvelable mais possiblement instable ce qui impacte directement leur activité [4]. Notre collaboration a d'abord pris la forme de travaux de thèses de Doctorat préparées par des enseignants vacataires de l'IUT de Saida et supervisées à Nantes tels que [1] et [3]. Notre travail de recherche collaborative se poursuit actuellement, concernée par les plateformes intégrant la technologie DVFS [5] et des plateformes multiprocesseurs [6].

## Références

- [1] Hussein El Ghor *Ordonnement monoprocesseur pour les applications temps réel récupérant l'énergie ambiante*, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes soutenue le 20 juin 2012
- [2] Maryline Chetto et Audrey Queudet *Systèmes temps réel autonomes en énergie*, ISTE Editions, 140 pages, ISBN : 978-1-78405-258-4, Mai 2017.
- [3] Rola El Osta *Contributions to Real Time Scheduling for Energy Autonomous Systems*, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, soutenue le 26 oct. 2017.
- [4] Hussein El Ghor, Maryline Chetto *Energy Guarantee Scheme for Real-time Systems with Energy Harvesting Constraints*, International Journal of Automation and Computing, Springer, en ligne, 2019.
- [5] Hussein El Ghor and Maryline Chetto *Optimal Real-Time Scheduling Algorithm for Wireless Sensors with Regenerative Energy*, Technical Report LS2N, Archives Ouvertes HAL, Dec. 2018.
- [6] Hussein El Ghor, Maryline Chetto and Rola Osta *Multiprocessor Real-Time Scheduling for Wireless Sensors Powered by Renewable Energy Sources* 15th ACS/IEEE Int. Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA 2018), 30 Oct-2Nov. 2018.