

# Dynamic Localized Broadcast Incremental Power Protocol and Lifetime in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks

Julien Champ, Anne-Elisabeth Baert and Vincent Boudet

**Abstract** Nous nous intéressons dans cet article au problème de la diffusion et de la durée de vie dans les réseaux ad hoc. Nous nous basons sur le meilleur algorithme localisé connu ce jour, nommé *LBIP*, lui-même basé sur *BIP*, la version centralisée, qui construit un arbre couvrant enraciné sur le point de collecte en prenant en compte les spécificités des réseaux ad hoc. Bien qu'offrant d'excellentes performances en terme de consommation d'énergie, *LBIP* sélectionne, pour chaque diffusion, les mêmes nœuds comme transmetteurs du message. Cette technique est cependant problématique lorsque c'est le même nœud, ici le point de collecte, qui est toujours l'initiateur de la diffusion. En effet, en procédant de cette façon, les mêmes nœuds sont toujours sélectionnés et la durée de vie du réseau sera fortement réduite. Nous proposons dans ce papier, un nouvel algorithme basé sur *LBIP*, mais qui veille à changer dynamiquement l'arbre de diffusion afin de ne pas puiser les mêmes nœuds. Cette stratégie permet d'augmenter sensiblement le nombre de diffusions avant que le réseau soit considéré comme défaillant. Des simulations viennent valider notre approche. (peut-être parler un peu de NES des ici ?)

## 1 Introduction

As a consequence of recent advancements in Micro-Electro-Mechanical Systems and wireless communications, a new kind of network has come to the fore: *Wireless Sensor Networks* (WSN). In those networks, nodes can gather information from their environment, such as temperature, gas leak, etc. They can also communicate, thanks to their wireless communication device, with other nodes (their neighbors) in their transmission range. WSN are also composed of at least one special node, called

---

Julien Champ, Anne-Elisabeth Baert and Vincent Boudet  
LIRMM - University of Montpellier II - CNRS, 161 rue Ada,  
F-34392 Montpellier Cedex 5, FRANCE  
Email : {champ,baert,boudet}@lirmm.fr

the base-station, or sink, the purpose of which is either to centralize collected data from the WSN, send queries in the network, or connect the WSN to other networks. WSN recently attracted a lot of attention because of their wide range of applications. They can be used in a many different fields, monitoring tasks either for the military, or the environment, security, health-care, and habitat automation [1].

In a broadcasting task, the source node needs to send a message to all the nodes in the network. Many applications need to broadcast messages to the whole network : so as to send a query to all the nodes, to broadcast an information, or to do some route discovery ... The broadcasting task occurs more frequently in such networks. Proposed methods need to be designed for wireless networks : nodes are small objects working thanks to a battery and they communicate with their wireless communication device.

Due to the limited battery power, there networks are power constrained, and as communication ranges are limited, an important set of node need to retransmit the message in order to cover the whole network. The easiest way to broadcast a message to all sensor in the area is called Blind Flooding and it works like this : each node relay once the message, and if there is a path between the broadcast source and any node in the network, all nodes will receive the message properly.

———— FRANCAIS ————

(sortir tout ce qui est tat de l'art broadcast et lifetime juste dire qu'il existe d'autre papier orient Energy Efficiency et que la dñition de lifetime n'est pas vidente) On peut trouver dans la littérature de nombreux algorithmes de diffusion ayant pour but de rduire les consommations d'nergie : certains cherchant seulement minimiser le nombre de transmissions ncessaires, d'autres autorisant l'ajustement du rayon de transmission pour obtenir de meilleurs rsultats en terme de dpense d'nergie...

Cependant, la rduction des dpenses d'nergie est ralise dans un but : prolonger la dure de vie du rseau. Il n'est donc pas suffisant de s'intresser la dpense d'nergie d'une seule diffusion ; il serait prfrable de regarder comment se comporte le rseau aprs plusieurs diffusions. La notion de dure de vie n'est pas vidente dñir dans les rseaux de capteurs, et dpend clairement de l'application vise [2]. Nous en discuterons un peu plus dans la section ??

Nous essayons ici de garantir la rception de messages diffuss sur le rseau, le plus longtemps possible, c'est dire que l'intgralit ou au moins 90% des capteurs reoivent les messages diffuss sur le rseau. En effet, les capteurs tant gnralement fortement contraints d'un point de vue nergtique, et les batteries ne pouvant gnralement ni ltre remplaces ni recharges, ils ne pourront mettre autant de messages qu'ils le souhaitent.

(Rajouter plan du papier...)

———— FIN FRANCAIS ————

This paper is organized as follows : we introduce the network and the energy consumption models in Section 2. Section 3 is dedicated to a brief overview of existing work and definitions of lifetime in WSN. In section 4 we introduce our protocol DLBIP. We compare performances of DLBIP and LBIP in section 5. Section 6 conclude this article and present future directions.

## 2 Preliminaries

### 2.1 Network Model

We represent a wireless sensor network using the widely adopted Unit Disk Graph Model, denoted UDG []. An UDG is defined by  $G = (V, E)$  where  $V$  is the set of nodes (sensors), and  $E$  the set of edges representing available communications. Let's  $R$  be the maximum communication range for all nodes.

There is an edge  $e = (u, v) \in E$  if and only the Euclidean distance between  $u$  and  $v$ , denoted  $d(u, v)$  is less or equal  $R$  :

$$E = \{(u, v) \in V^2 | d(u, v) \leq R\}$$

Two nodes that can communicate are considered to be neighbors. We measure the distance between nodes  $i$  and  $j$  with the number of hops : the minimum number of edges to cross to reach  $j$  from  $i$ . The  $k$ -hop neighborhood for node  $i$ , is defined as the set of nodes reachable within at most  $k$ -hops of node  $i$ .

### 2.2 Energy Consumption Model

In networks where nodes are not able to adjust their transmission range, the only way to measure the energy consumption of a broadcasting algorithm is to count the number of nodes which retransmit the message.

In this paper, we consider network where sensors can adjust their transmission range to reduce their energy consumption. Thus, we use the most commonly used energy consumption algorithm where energy consumption is given according to the chosen transmission range. If node  $n$  broadcast a message with a transmitting range  $r(n)$  the energy consumption will be :

$$E(n) = \dots$$

with  $\alpha$  and  $c$  two constant. The most used values for this model are given by Rodoplu and Meng in []. They propose to use it  $\alpha = 4$  representing the signal attenuation and  $c = 10^8$  an overhead due to signal processing. This seems to be more a realistic model than another commonly used model with  $\alpha = 2$  and  $c = 0$ .

### 3 Etat de l'art

#### 3.1 definitions lifetime

Many broadcasting algorithms proposed in the litterature are designed to reduce global energy consumption. But energy consumption reduction is made to extend network lifetime. It seems insufficient to consider only energy consumption of only one broadcast; it should be desirable to analyze the behaviour of the network after more broadcasts.

FRANCAIS

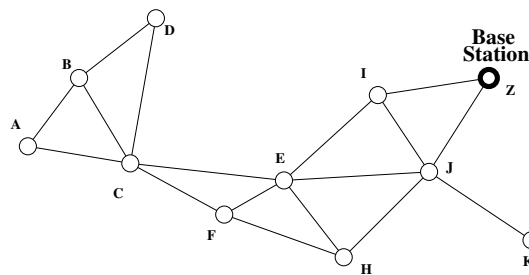
La notion de dure de vie n'est pas vidente dfinir dans les rseaux de capteurs, et dpend clairement de l'application vise [2]. Cela peut tre le temps durant lequel une certaine qualit de service est garantie, le temps coul jusqu' la panne d'un capteur, d'un certain pourcentage de capteurs, ou l'absence de surveillance de zones prdfinies.

TTFF c'est bien mais pas suffisant plutot %age de capteurs ... + figure expliquant pourquoi la premiere panne peut tre embtante ou non (repris de lifetime) We can find in the litterature various definition for network lifetime... (fonction de l'application)

TTFF semble intressant...

FIN FRANCAIS

Unless if the failure of only one node is a disastrous state regarding our application requirements, TTFF criterion seems to be insufficient. For example, it is important to note, that some nodes are "more important" than other nodes. For example on figure 1, if node C runs out of its battery energy, this will lead to partition the network, avoiding nodes A, B and D to communicate with the Base Station even if they still have energy. On the other hand, node K failure will not prevent other nodes work properly. So, first failure does not always imply network partitioning. When our application needs that all sensors have to be alive, this criterion is suitable, else we should analyze the number of broadcasting tasks (or time) until less than X% of nodes receive the message, with X depending on our application.



**Fig. 1** Node C failure will partition the network, contrary to node B.

### 3.2 *Broadcasting Without Range Adjustement*

The easiest way to reduce energy consumption consist in reducing the number of nodes which retransmit the message to achieve the broadcast; many solutions have been proposed to minimize the number of communications :

We can find clustering algorithms constructing dominating sets and then a backbone so as to reduce. Probabilistic protocols have also been proposed such as []. In the Neighbour Elimination Scheme<sup>1</sup>[3], when node  $i$  receive the message, it monitors if its neighbors have received the message, until a timeout. If all nodes seems to be covered node  $i$  do not rebroadcast the message; else node  $i$  needs to retransmit the message. In the Multipoint Relay (MPR) protocol proposed in [], 2-hop neighborhood knowledge is needed. The source node selects a subset of its 1-hop neighbors to relay the message in order to cover all its 2-hop neighbors, and send the message, including its choice in the packet to propagate its choices to its 1-hop neighbors.

### 3.3 *Broadcasting With Range Adjustement*

When nodes are able to adjust their transmission range so as reduce their energy consumption, it is not sufficient to reduce the number of nodes retransmitting messages.

#### 3.3.1 RNG, LMST and Target Radiust LMST Broadcast Oriented Protocols

RNG Broadcast Oriented Protocol (RBOP), LMST Broadcast Oriented Protocol and then TR-LBOP have been proposed to improve previous work by using at the Neighbor Elimination Scheme with respectively the Relative Neighborhood Graph (RNG), Local Minimum Spanning Tree (LMST), and LMST with a target radius.

#### 3.3.2 Broadcast Incremental Power Protocol

In [??], authors proposed a centralized algorithm, Broadcast Incremental Power (BIP) protocol, allowing transmission range adjustement, and providing interesting results regarding to energy consumption. The main idea consist in proposing a variant of Prim's minimum spanning tree algorithm, taking into account the wireless multicast advantage : when a node send a message using its maximal transmission range, all nodes inside its transmission range (its neighbors) receive the message.

The principle of BIP is the following :

- the broadcast tree is initially empty, only the source noded is marked and all nodes are assigned a null power.

---

<sup>1</sup> also known as Wait & See protocol

- At each step and until all nodes are covered, BIP selects the pair  $(i, j)$ , with  $i$  a marked node and  $j$  an unmarked node, such that either the communication cost  $C(u, v)$  either .....

### 3.3.3 Localized Broadcast Incremental Power Protocol

The Localized BIP (LBIP) protocol [?] is the localized version of BIP. Its main principle is the following ; the source node applies the BIP algorithm in its  $k$ -hop neighborhood<sup>2</sup>, and forwards its instructions with the message. When node  $i$  receives the message, if there are instructions inside the packet  $i$  applies the BIP algorithm on its  $k$ -hop neighborhood using previously received instructions. If there is no instruction in the packet, this means that  $i$  neighborhood is already entirely covered, and thus  $i$  can drop the packet.

Simulation results show that LBIP seems to outperform other distributed protocols regarding to energy consumption, and is only slightly more energy consuming than centralized BIP protocol. Authors show that the NES could be additionally used in order to guarantee a complete coverage. Else, without NES, conflicting decisions will lead to reach nearly 98% of the nodes in the network (which is in most cases sufficient).

## 4 Dynamic Localized Broadcast Incremental Power Protocol

### 4.1 Principe

We consider here a static wireless ad hoc or sensor network, where always the same node (the base station in wireless sensor networks) wants to broadcast a message to all nodes. Our goal is to maximize the number of broadcast until the first non-received message, or until the reachability reaches less than 90% of nodes.

FRANCAIS

L'idée générale de notre approche consiste à répartir les dépenses d'énergie entre les capteurs afin de ne pas utiliser les mêmes capteurs pour chaque diffusion. Pour cela nous utilisons le même principe que *LBIP* : chaque capteur va calculer un arbre couvrant, mais cette fois-ci les pondérations pour le calcul de l'arbre ne seront plus uniquement liées au coût de communication. Le pourcentage d'énergie restant sur le capteur  $i$  noté  $E_i$  est utilisé lors du calcul du coût des communications : par exemple, si  $C(i, j)$  était le coût pour transmettre un message de  $i$  à  $j$ , le coût est maintenant

$$C'(ij) = \frac{C(ij)}{E_i}$$

.

<sup>2</sup> authors propose  $k = 2$  as the best compromise

En utilisant ce nouveau cot pour calculer les arbres de diffusion, les nœuds possédant un pourcentage plus bas d'énergie que les autres sont moins souvent sélectionnés, nous obtenons alors avec cette métrique une meilleure répartition des dépenses d'énergie entre les nœuds. Grâce à cette répartition, nous allons accroître la durée de vie. L'arbre de diffusion, contrairement à *LBIP* ne sera plus unique, il changera en fonction des pourcentages d'énergie restant sur les capteurs. Notre algorithme s'appuyant sur un arbre de diffusion dynamique, il sera intitulé : *DLBIP* pour Dynamic *LBIP*.

————— FIN FRANCAIS —————

## 4.2 Mise à jour de l'énergie

Cependant, afin de pouvoir utiliser un tel algorithme, il est nécessaire pour chaque capteur de connaître, ou au moins d'estimer, la quantité d'énergie restante des capteurs dans son voisinage. Pour cela nous proposons une stratégie qui peut être divisée en deux parties :

### 4.2.1 Estimations :

Afin d'avoir une idée de l'énergie restante des capteurs dans son voisinage, chaque capteur va essayer d'estimer l'énergie restante de ses voisins. Pour cela, chaque fois qu'un capteur va calculer un arbre couvrant permettant de couvrir ses voisins, il va pouvoir estimer la dépense d'énergie des capteurs dans son voisinage. L'arbre de diffusion étant calculé à partir des instructions reçues, et tant donné que les capteurs qui recevront les messages par la suite obéiront aux instructions incluses dans le message, il est possible d'avoir une estimation assez proche de la réalité.

### 4.2.2 Mise à jour précise :

Lorsque le capteur  $i$  a calculé l'arbre couvrant permettant de couvrir ses voisins, et de leur demander d'exécuter un certain nombre d'instructions, il va insérer dans le message un champ contenant le pourcentage d'énergie  $E_i$  qu'il lui reste. Ce message sera ensuite transmis à ses voisins, qui le transmettent à leur tour afin de prévenir tous les capteurs à 2 sauts de l'émission.

Remarque : afin de ne pas trop augmenter la taille du paquet, il n'est pas nécessaire d'inclure le pourcentage d'énergie lors de chacune des diffusions : cela permet de garder une taille raisonnable pour le paquet.

## 5 Simulation results (simulation en cours attendre nouveaux rsultats...

### 5.1 Simulation parameters

In order to evaluate performances of DLBIP, we present simulation reults in this section. We have chosen nearly the same parameters used for the evaluation of LBIP in ???. As said in Section 2 we used the Unit Disk Graph to model available communications. We consider a static network, composed of 500 nodes randomly deployed using an uniform distribution inside a square area. The size of the area is computed according to chosen network density. ————— FRANCAIS —————

Afin d’valuer les performances en terme de dure de vie de l’algorithme prdemment dcrit, nous avons implment la fois l’algorithme *LBIP* et son amlioration *DLBIP* dans un simulateur intitult WSNET [4]. Comme dans [5], nous utilisons les mmes conditions de simulation que *LBIP* afin de mesurer prcisment l’impact de notre proposition. Le rayon d’mmission maximal est fix 250m, lorsque la simulation dmarre tous les capteurs possdent la mme quantit d’nergie. Le point de collecte possde lui autant d’nergie qu’il le souhaite.

Afin de mesurer les dpenses d’nergie, il est ncessaire d’utiliser un modle nergtique. Dans le modle le plus frquemment utilis, la dpense d’nergie est lie au rayon d’mmission  $r$  d’un capteur :

$$E(r) = r^\alpha + c$$

si  $r > 0$ , 0 sinon.  $r$

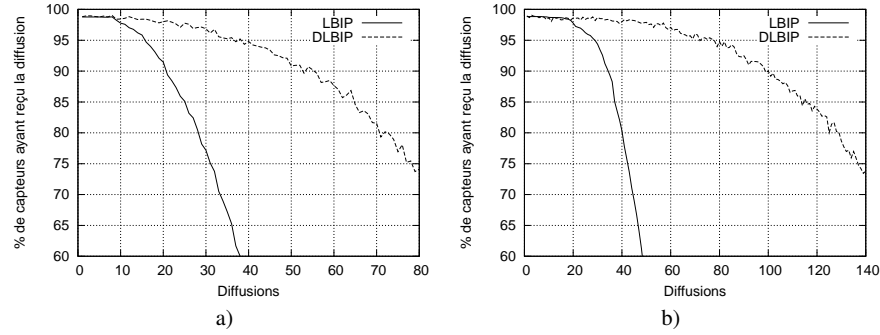
Nous utiliserons ce modle avec les constantes  $\alpha = 4$  et  $c = 10^8$ , issues de travaux de Rodoplu et Meng dans [6], et comme lors de l’valuation de l’algorithme *LBIP*.

Les auteurs de *LBIP* preconisent l’emploi du Neighbour Elimination Scheme, afin de garantir que l’integralit des capteurs soient atteints lors de la diffusion; ils ont effectivement montr dans [5] qu’il tait possible que des dcisions contradictoires puissent avoir lieu lors du calcul distribu de l’arbre de diffusion. Nous avons fait le choix ici de ne

### 5.2 without NES

Sur la figure 4 nous tudions l’volution du pourcentage de capteurs qui reoivent correctement les messages diffuss en fonction du temps. L’algorithme *LBIP*, comme on pouvait le prvoir voit le pourcentage de capteurs atteints chuter relativement rapidement. L’arbre de diffusion tant statique, ce sont toujours les mmes nœuds qui retransmettent le message, et qui sont rapidement dpourvus d’nergie. Notre algorithme, construisant un arbre de diffusion dynamique en fonction de l’nergie restante

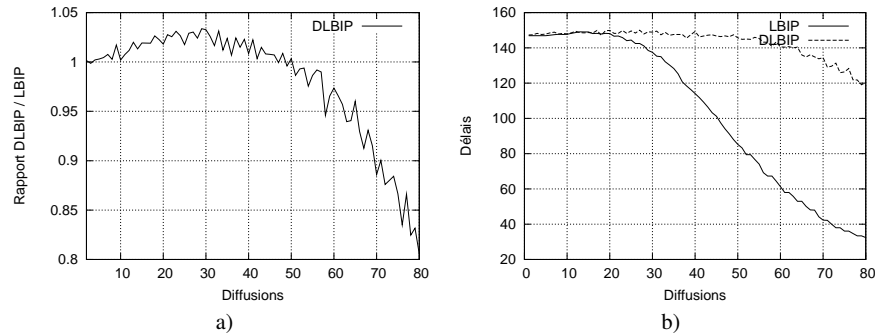




**Fig. 2** Évolution du pourcentage de nœuds atteint en fonction du nombre de diffusions effectives, pour des réseaux de densité 20 a) puis 30 b).

sur les nœuds, permet d'obtenir de bien meilleurs résultats. En effet, si l'on s'intéresse au nombre de diffusions pouvant être effectuées avec 90% de nœuds recevant correctement le message, on a un gain d'approximativement XXX % (Environ XXX diffusions effectives pour X contre YYY pour LBIP)

Remarque : les comportements dans les différentes densités sont similaires pour l'ensemble des algorithmes testés même lorsque la quantité d'énergie initiale diffère.



**Fig. 3** a) Rapport entre la dépense d'énergie pour DLBIP et la 1re diffusion faite grâce à LBIP. b) Délais pour que le message soit diffusé en fonction de la diffusion.

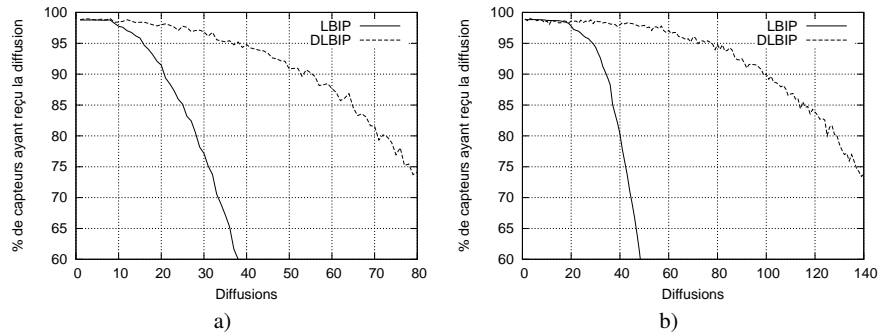
La figure 5 a) nous permet de voir le rapport entre la consommation d'une diffusion réalisée par DLBIP et une autre faite par LBIP. On peut remarquer que notre algorithme est légèrement plus coûteux, cela est bien évidemment dû au fait qu'il prend en compte l'énergie restante sur les capteurs. Il va choisir des arbres de diffusion légèrement plus coûteux (moins de 5%) mais en contrepartie il n'utilisera pas les mêmes capteurs (ce qui permet de prolonger la durée de vie). La figure 5 b) nous montre le temps nécessaire pour que chaque diffusion soit achevée (le délai pour atteindre tous les capteurs). Le délai est exprimé en unités arbitraires. Il n'y a pas d'augmentation sen-

sible du dlais d l'emploi de *DLBIP* plutt que *LBIP*; le dlais semble ltre seulement li la distance du capteur le plus loign de la source.

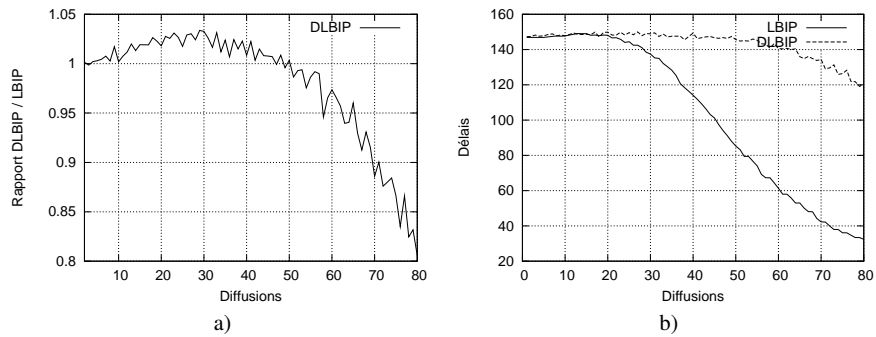
FIN FRANCAIS

### 5.3 with NES

bla .



**Fig. 4** Évolution du pourcentage de nœuds atteint en fonction du nombre de diffusions effectues, pour des rseaux de densit 20 a) puis 30 b).



**Fig. 5** a) Rapport entre les dpense d'nergie pour DLBIP et la 1re diffusion faite grce LBIP. b) Dlais pour que le message soit diffusé en fonction de la diffusion.

## 6 Conclusion and Future work

Cet article part du constat que dans le cas d'un réseau de capteurs statique, lorsque c'est toujours le même nœud qui met des messages, mesurer uniquement la dépense d'énergie d'un broadcast n'est pas suffisant. Nous nous intéressons donc à maximiser le nombre de broadcasts pouvant être réalisés avant que 10% des capteurs ne reçoivent plus le message. Nous présentons alors *DLBIP*, un nouvel algorithme de diffusion, basé sur l'algorithme *LBIP*, dans ce but. Notre méthode consiste à prendre en compte le pourcentage d'énergie restant sur les capteurs, afin de mieux répartir les dépenses d'énergie au sein du réseau. L'arbre de diffusion engendré par cette amélioration est donc dynamique dans le temps, et permet d'améliorer la durée de vie. Les simulations montrent l'efficacité d'un tel mécanisme en terme de durée de vie en comparaison avec *LBIP*, malgré un surcoût énergétique très léger.

- + voir ce qu'on peut faire avec un modèle plus réaliste ?
- + détecter des nœuds critiques pour préserver un peu plus l'énergie sur eux

## References

1. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, and E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4):393–422, 2002.
2. Julien Champ, Anne-Elisabeth Baert, and Clément Saad. Lifetime in wireless sensor networks (to appear). In *CISIS : Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, Fukuoka, Japan, 2009.
3. Wei Peng and Xi-Cheng Lu. On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks. In *MobiHoc '00: Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, pages 129–130, Piscataway, NJ, USA, 2000. IEEE Press.
4. Wsnet : an event-driven simulator for large scale wireless sensor networks. <http://wsnet.gforge.inria.fr>.
5. Francois Ingelrest and David Simplot-Ryl. Localized broadcast incremental power protocol for wireless ad hoc networks. *Wirel. Netw.*, 14(3):309–319, 2008.
6. V. Rodoplu and T.H. Meng. Minimum energy mobile wireless networks. In *Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1998.