



**HAL**  
open science

## Les Stratégies de Diffusion dans les Réseaux Wireless Body Area Networks

Wafa Badreddine, Claude Chaudet, Federico Petruzzi, Maria Potop-Butucaru

► **To cite this version:**

Wafa Badreddine, Claude Chaudet, Federico Petruzzi, Maria Potop-Butucaru. Les Stratégies de Diffusion dans les Réseaux Wireless Body Area Networks. ALGOTEL 2016 - 18èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2016, Bayonne, France. hal-01304615

**HAL Id: hal-01304615**

**<https://hal.science/hal-01304615>**

Submitted on 20 Apr 2016

**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.

# Les Stratégies de Diffusion dans les Réseaux Wireless Body Area Networks

Wafa BADREDDINE<sup>1</sup> et Claude CHAUDET<sup>2</sup> et Federico PETRUZZI<sup>1</sup>  
et Maria POTOP-BUTUCARU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UPMC Sorbonne Universités, LIP6-CNRS UMR 7606, France  
FirstName.LastName@lip6.fr

<sup>2</sup>Institut Mines-Telecom, Telecom ParisTech, CNRS LTCI UMR 5141  
claude.chaudet@telecom-paristech.fr

---

Les progrès rapides des capteurs et de la communication sans fil à ultra-faible puissance ont permis à une nouvelle génération de réseaux de capteurs sans fil de voir le jour : Wireless Body Area Networks (WBAN). Nous commençons d'abord par l'analyse de plusieurs stratégies de diffusion inspirées des réseaux tolérants au délai (DTN : Delay Tolerant Networks). Les stratégies proposées sont ensuite évaluées via le simulateur OMNET++ auquel nous avons intégré un modèle de mobilité réaliste du corps humain issu de la recherche récente dans le domaine de l'informatique biomédicale. Nos résultats de simulation montrent que les stratégies de diffusion DTN ne sont pas adéquates dans le contexte des réseaux WBAN. En revanche, ces simulations nous ont permis de synthétiser une nouvelle stratégie de diffusion efficace dans les réseaux WBAN. La stratégie proposée, *Mixed Broadcast Protocol* (MBP), montre de meilleures performances comparée aux stratégies existantes en termes de délai de bout-en-bout, de nombre de noeuds couverts et de la consommation énergétique.

**Mots-clefs :** WBAN, DTN, Diffusion, Omnet++, modèle de mobilité

---

## 1 Introduction

Les réseaux WBAN sont caractérisés par le déploiement de capteurs sur ou à l'intérieur d'un corps afin de superviser, collecter et transmettre des informations à caractère médical. Plusieurs applications utilisent les réseaux WBAN telles que : les applications militaires, sportives ou sécuritaires. Notre travail vise principalement les applications médicales.

Les WBANs diffèrent des réseaux de capteurs à grande échelle principalement par leur taille (limitée à une dizaine de noeuds) et par la superficie de déploiement (très réduite). En plus, la mobilité des noeuds suit les mouvements du corps et la qualité des liens varie selon la posture de l'utilisateur. La puissance de transmission est en général la plus minimale possible afin d'augmenter l'autonomie des capteurs et de réduire l'exposition de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques. Il est important également dans un WBAN de prendre en compte les effets de réflexion, d'interférence et d'absorption du corps ce qui rend difficile la maintenance d'un lien direct entre le noeud *sink*, responsable de collecter les données, et tous les autres noeuds du réseau. De ce fait, une communication multi-sauts représente une alternative fiable mais cela impose la prise en compte de l'intermittence des connexions. Delay Tolerant Networks (DTN) est le domaine des réseaux ayant étudié des solutions protocolaires dans un environnement à connexion intermittente. Protocoles DTN sont conçus de manière à gérer la connectivité intermittente entre les noeuds grâce au principe *store and forward*. Toutefois, ils supposent soit un modèle de mobilité parfaitement maîtrisé, soit un modèle de mobilité totalement aléatoire ce qui n'est pas le cas pour les réseaux WBAN où on retrouve un certain aspect de régularité combiné avec un faible degré d'aléatoire.

Dans cet article, nous analysons le comportement des principales stratégies de diffusion inspirées du domaine des DTNs et adaptées au contexte des réseaux WBAN. Cette analyse comparative, intéressante en soit même, nous a également permis de développer une nouvelle stratégie permettant de palier les limitations des stratégies existantes. Nos travaux ont été publiés dans [BCPP15].

## 2 Les stratégies de diffusion

Le dénominateur commun des stratégies de diffusion est la prise de décision que chaque noeud doit réaliser lors de la réception d'un paquet. Est-ce que le paquet doit être retransmis et si oui à qui et à quel moment. L'acquisition des informations sur les connexions ou les motifs de déconnexion des noeuds voisins nécessite, soit un mécanisme de localisation, soit un envoi périodique de messages de contrôle. Dans les deux cas l'amélioration réalisée par la caractérisation de la mobilité des noeuds pourrait être perdue lors des échanges nécessaires au contrôle. Cette observation nous a incités à comparer les différentes stratégies DTN avec différents niveaux de connaissance du réseau, dans un scénario représentatif du contexte WBAN.

Nous avons comparé les stratégies suivantes :

- *Plain flooding* : Le paquet est diffusé une seule fois, à la première réception.
- *Pruned flooding* : le noeud retransmet le paquet à  $K$  noeuds choisis aléatoirement.
- *Probabilistic flooding* : ( $P=0,5$ ) le paquet est retransmis suivant une probabilité  $P$  constante.
- *Probabilistic flooding* : ( $P=P/2$ ) le noeud retransmet avec une probabilité qui décroît après chaque diffusion.
- *Tabu flooding* : Chaque noeud retransmet seulement aux noeuds qui n'ont pas encore reçu le paquet.
- *EBP* (Efficient Broadcast Protocol) [GCR08]. Le noeud retransmet le paquet seulement s'il a au moins  $K$  noeuds dans son voisinage et si au moins un de ces voisins n'a pas encore reçu le paquet.

Suite à l'évaluation de ces stratégies nous avons fait les observations suivantes : En ce qui concerne le délai de bout-en-bout (le temps nécessaire pour couvrir tous les noeuds du réseau), toutes les stratégies de diffusion passent plus de temps à couvrir les noeuds périphériques (qui représentent environ 20% du réseau) par rapport au reste du réseau. En utilisant des protocoles similaires à *EBP*, où l'envoi de paquets de contrôle est indispensable pour la découverte du voisinage, le nombre de retransmissions inutiles de paquets de données augmente, suite aux éventuelles collisions avec les paquets de contrôle. En ce qui concerne les stratégies basées sur l'inondation, le choix de la valeur du TTL (Time-To-Live) est crucial. Une grande valeur surchargera le réseau par un nombre important de copies du message.

**MBP Mixed Broadcast Protocol.** Ces observations nous ont guidés à proposer un nouveau protocole : Mixed Broadcast Protocol (MBP). MBP fusionne le comportement des stratégies basées sur l'inondation avec le comportement des stratégies basées sur la connaissance du réseau.

A la réception d'un paquet, le noeud vérifie le nombre de sauts (NH) que le message a parcouru depuis son émission par la source *sink*, et le compare à un seuil :

- $NH < \text{seuil}$ , le noeud retransmet le paquet en utilisant la stratégie basique d'inondation *flooding*.
- $NH = \text{seuil}$ , le noeud déclenche un timer  $T$  et retarde la retransmission. Après l'expiration de  $T$ , le noeud vérifie le nombre d'acquittements reçus  $Q$ . Si le noeud a reçu un nombre d'acquittements supérieur ou égal à  $Q$ , il arrête la diffusion. Sinon, il retransmet le paquet.
- $NH > \text{seuil}$ , le noeud applique la même démarche que celle appliquée dans le cas  $NH = \text{seuil}$ , et envoie un acquittement au noeud émetteur.

## 3 Simulation

**Modèle de mobilité.** Nous avons utilisé un modèle de canal réaliste publié dans [NWK<sup>+</sup>14]. Ce modèle de canal est le résultat d'une simulation dynamique sur un canal de fréquence 2,45 GHz entre 7 noeuds sur le corps, qui appartiennent au même et seul réseau WBAN. Ces noeuds, à une distance égale à 1,5cm du corps, sont positionnés sur : *nombril, poitrine, tête, bras, cheville, cuisse et poignet*. Les positions des noeuds sont calculées à 7 postures : *marcher, courir, s'asseoir, s'allonger, mettre une veste, dormir et courir lentement*. L'atténuation, sous forme d'une moyenne (en dB) et d'un écart-type (en dBm), est calculée entre un noeud et tous les autres noeuds pour toutes les postures.

**Paramètres de simulation.** Nous avons utilisé le standard IEEE 802.15.4 pour le contrôle d'accès au support. Les simulations sont effectuées avec l'envoi d'un seul paquet à partir du noeud *sink*. La puissance d'émission est égale à (-60) dBm. Une valeur minimale qui permet une communication intermittente vu l'effet d'atténuation du canal et la sensibilité du récepteur (-100 dBm). Cette valeur garantie, qu'à chaque

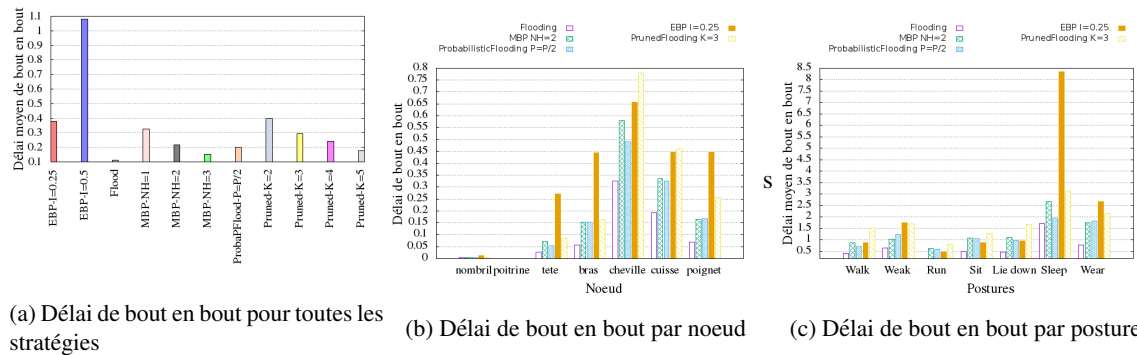
instant  $t$  de la simulation, on a un réseau connecté ainsi qu'une consommation énergétique limitée.

### 3.1 Pourcentage de noeuds couverts

Les résultats du pourcentage de noeuds couverts pour chaque algorithme sont présentés dans [BCPP15].

### 3.2 Délai de bout en bout

Figure 1a représente le délai moyen de bout en bout, le temps moyen nécessaire à chaque stratégie pour couvrir tous les noeuds. La stratégie *flooding* donne la meilleure performance en raison de l'énorme quantité de paquets circulant dans le réseau. *Probabilistic flooding* ( $P = P/2$ ) présente un délai légèrement plus élevé dû à sa politique de diminution du nombre de retransmissions. Le délai pour *EBP* est strictement dépendant de l'intervalle entre deux messages de contrôle : lorsque cet intervalle est petit, il en résulte une acquisition précise de la mobilité du noeud. Pour *Pruned flooding*, plus  $K$  est grand, plus le délai diminue. En particulier dans le cas où  $K = 2$  et  $K = 3$ , l'algorithme passe beaucoup de temps à couvrir l'ensemble du réseau. Cela est dû au faible nombre de noeuds choisis comme prochain saut. Enfin, *MBP* montre de meilleurs résultats que *EBP* et *Pruned flooding*, même si le noeud retarde d'un temps  $T$  la retransmission du paquet.



(a) Délai de bout en bout pour toutes les stratégies

(b) Délai de bout en bout par noeud

(c) Délai de bout en bout par posture

FIGURE 1: Délai moyen de bout en bout

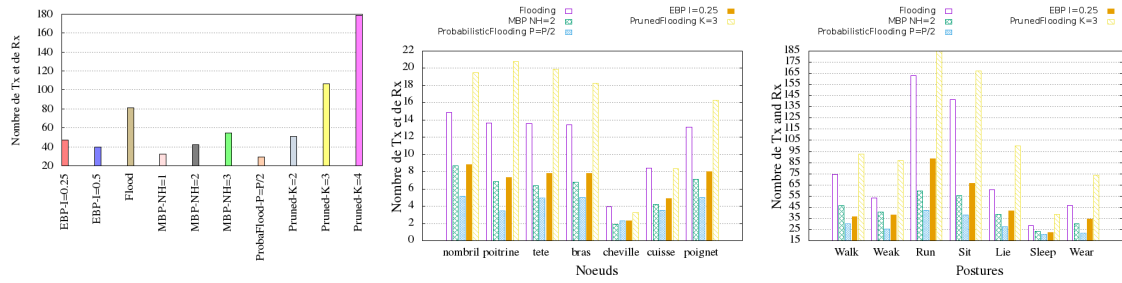
Figure 1b montre le délai de bout en bout par noeud. Tous les algorithmes mettent plus de temps à couvrir les noeuds périphériques du réseau (cheville). Ces noeuds sont très mobiles et sont les plus éloignés du *sink*.

Figure 1c représente le délai moyen de bout en bout en fonction des différentes postures. *EBP* est plus performant dans les positions dynamiques contrairement aux positions moins mobiles où un pic est observé à la position *sleep*. En revanche, *MBP* est moins affecté par la mobilité et la posture du corps.

### 3.3 Nombre de transmissions et de réceptions

Le nombre de transmissions et de réceptions est un paramètre clé. Le nombre de transmissions reflète la charge sur le canal et donne une indication sur la quantité d'énergie électromagnétique absorbée par le corps. Le nombre de réceptions indique la consommation d'énergie des différents noeuds dans le réseau et par conséquent l'autonomie des capteurs.

Figure 2a compare le nombre total de transmissions et de réceptions pour les différents algorithmes. La stratégie *flooding* présente une consommation énergétique très élevée. C'est le seul algorithme à ne pas limiter le nombre de transmissions via un mécanisme complémentaire au TTL. *Probabilistic flooding* ( $P = P/2$ ) montre une meilleure performance que le *flooding* classique, parce que la diminution de la probabilité limite le nombre de transmissions. L'énergie consommée par *pruned flooding* dépend du paramètre  $K$  : une diminution du nombre de transmissions et de réceptions est constatée avec des valeurs plus faibles de  $K$ . La stratégie *EBP* repose fortement sur l'envoi de messages *hello*, ceci provoque des collisions avec les messages de données d'où un nombre important de paquets perdus. Pour *MBP*, même si des messages de contrôle tels que les accusés de réception sont présents, on ne rencontre pas le même problème que pour *EBP*. Ces messages ne sont envoyés qu'après la réception effective du message. Les performances de *MBP* dépendent légèrement du paramètre  $NH$  et s'améliorent en diminuant la valeur de  $NH$ .



(a) Nombre de transmissions et de (b) Nombre de transmissions et de (c) Nombre de transmissions et de réceptions par noeud réceptions par posture

FIGURE 2: Nombre de transmissions et de réceptions

Figure 2b montre le nombre de transmissions et de réceptions pour chaque noeud. Les noeuds au centre sont ceux avec le nombre le plus élevé. Avec *Probabilistic flooding*, les noeuds au centre transmettent plus, mais leurs voisins limitent leur probabilité de transmission immédiatement, entraînant une diminution du nombre de réceptions. L'une des principales faiblesses des algorithmes d'inondation est que leur performance dépend de la valeur du TTL. Quant à *MBP*, il utilise les acquittements pour arrêter les transmissions non nécessaires.

Figure 2c montre le nombre de transmissions et de réceptions par posture. Nous remarquons que la consommation énergétique est élevée avec les postures "RUN" (une posture fortement mobile) et "SIT" (un réseau très dense). Ce comportement est similaire entre les algorithmes basés sur l'inondation et les algorithmes basés sur la connaissance du réseau. Les deux stratégies, *MBP* et *Probabilistic flooding* arrivent à réduire considérablement le nombre de transmission pour ces deux postures.

## 4 Conclusion et perspectives

Dans cet article nous avons évalué par simulation les performances de plusieurs stratégies de diffusion inspirées des réseaux DTN dans un contexte WBAN. Nos simulations, réalisées avec le simulateur Omnet++, le projet Mixim et un modèle de canal WBAN de 7 noeuds et 7 postures, montrent le compromis entre l'inondation rapide de l'ensemble du réseau et le coût induit par cette pratique. Les simulations ont également identifié certains comportements moins intuitifs : toutes les stratégies consomment une importante partie de leur temps d'exécution à atteindre les noeuds feuilles. Nous avons décrit un nouveau protocole, *MBP*, qui repose sur une approche adaptative. *MBP* applique une stratégie plus agressive au centre du réseau, où les connexions sont plus stables, et devient plus prudent aux extrémités du réseau. Notre travail ouvre de nombreuses pistes de recherche comme par exemple : l'étude des autres primitives de communication, une comparaison entre les différents modèles de mobilité ainsi que la communication inter-WBANs.

**Remerciements.** Ce travail a été réalisé dans le cadre du labex SMART (projet SMARTBAN).

## Références

- [BCPP15] Wafa Badreddine, Claude Chaudet, Federico Petruzzi, and Maria Potop-Butucaru. Broadcast strategies in wireless body area networks. In *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, MSWiM 2015, Cancun, Mexico, November 2-6, 2015*, pages 83–90, 2015.
- [GCR08] Appu Goundan, Eric Coe, and Cauligi Raghavendra. Efficient broadcasting in delay tolerant networks. In *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, New Orleans, LA, USA, November 2008.
- [NWK<sup>+</sup>14] Jun-ich Naganawa, Karma Wangchuk, Minseok Kim, Takahiro Aoyagi, and Jun-ichi Takada. Simulation-based scenario-specific channel modeling for wban cooperative transmission schemes. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, PP(99), May 2014.