



# Les Vertus Énergétiques de l'Inondation à Pleine Puissance

Quentin Bramas, Sébastien Tixeul

► **To cite this version:**

Quentin Bramas, Sébastien Tixeul. Les Vertus Énergétiques de l'Inondation à Pleine Puissance. Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, May 2017, Quiberon, France. hal-01518553

**HAL Id: hal-01518553**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01518553>**

Submitted on 4 May 2017

**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 Vertus Énergétiques de l'Inondation à Pleine Puissance<sup>†</sup>

Quentin Bramas<sup>1,2</sup> et Sébastien Tixeuil<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, F-75005, Paris, France

<sup>2</sup>CNRS, UMR 7606, LIP6, F-75005, Paris, France

---

Nous étudions le problème de la dissémination d'informations efficace en énergie dans un réseau de capteurs sans fil. Ce problème est central pour de nombreuses applications (*e.g.*, synchronisation, envoi de requêtes, configuration, etc.). Nous présentons les résultats d'une campagne de simulation visant à comparer plusieurs algorithmes représentatifs au sein d'un environnement réaliste. Les algorithmes sélectionnés utilisent entre autres la capacité des nœuds à réduire leur puissance de transmission radio afin de réduire leur consommation énergétique lors de l'envoi de messages (au détriment de la portée des transmissions).

La principale contribution de nos travaux est la mise en évidence de différences fondamentales entre les performances théoriques des algorithmes et les performances constatées dans un environnement réaliste, notamment en présence de collisions. Il s'avère que l'un des algorithmes offrant les meilleures performances est l'algorithme le plus simple, qui consiste à transmettre tout le temps à pleine puissance (inondation). Le choix de la couche MAC est également important. Par exemple, une couche MAC trop gourmande en énergie rend négligeable les gains possibles au niveau routage pour la consommation énergétique globale du capteur.

**Mots-clés :** Diffusion d'informations, réseaux de capteurs, économies d'énergie

---

## 1 Introduction et Modèle

Les réseaux de capteurs sans fil sont généralement composés de nœuds capteurs alimentés par des batteries, qui s'organisent et communiquent sans l'aide d'une infrastructure centralisée. En particulier, la transmission des messages est multi-sauts et le routage des messages se fait de manière locale. Pour être utile, le réseau doit avoir la plus grande durée de vie possible tout en offrant des performances satisfaisantes. Par exemple un ensemble de capteurs déployés dans une forêt afin d'y détecter d'éventuels départs de feu doit être réactif (les messages d'alerte doivent être reçus par la station de base rapidement après la détection d'un problème) et fiable (les messages d'alerte doivent être correctement reçus).

Dans ce papier, on s'intéresse à l'évaluation des performances de six protocoles de diffusion. Ces protocoles supposent que chaque nœud est capable de faire varier la puissance d'émission de sa radio (et donc son rayon de transmission) afin d'économiser de l'énergie lorsque la destination est proche. Parmi les protocoles existants, nous avons sélectionné un panel représentatif de l'état de l'art, classés suivant leur performance théorique croissante (le dernier étant un algorithme centralisé) :

- FLOOD : l'algorithme choisit toujours la puissance maximum.
- RBOP et LBOP : deux algorithmes distribués au fonctionnement similaire, basés sur des propriétés locales du réseau utilisant RNG (graphe des voisins relatifs) et LMST (arbre couvrant local de poids minimal).
- LBIP : une version distribuée de l'algorithme BIP (voir ci-après).
- DLBIP : une version dynamique de l'algorithme LBIP, censée augmenter la durée de vie globale du réseau.
- BIP : un algorithme centralisé offrant de très bonnes performances théoriques.

---

<sup>†</sup>Ce travail a été effectué dans le cadre du Labex SMART soutenu par les financements de l'état Français gérés par l'ANR sous le programme Investissements d'Avenir sous la référence ANR-11-IDEX-0004-02. Aussi, il est soutenu en partie par le LINCNS.

Dans les travaux précédents, les performances de ces protocoles ont été évaluées en utilisant un modèle énergétique idéal et dans un environnement sans interférence. De telles hypothèses sont irréalistes et ne permettent pas d'évaluer précisément la durée de vie associée à chaque protocole. Par manque de place une description détaillée des protocoles sélectionnés ainsi que des références supplémentaires sont disponibles dans l'article associé [BT16]. Dans cet article, nous menons une campagne de simulation "réaliste" (prenant en compte toutes les couches protocolaires) pour confronter la performance théorique à la réalité.

**Configuration des Simulations** Nous avons réalisé des simulations en utilisant le simulateur WSNNet [FCF07]. Chaque simulation contient 50 nœuds répartis aléatoirement dans un carré de côté compris entre 300 et 500 mètres. La pile réseau contient un des protocoles de test (sélectionné ci dessus) pour la couche routage, une couche MAC (2400MHz OQPSK 802.15.4 CSMA/CA unslotted ou ContikiMAC), une couche radio standard possédant une antenne omnidirectionnelle et une modulation OPQSK. On suppose que l'atténuation est logarithmique. Le Tableau 1 résume les propriétés des topologies générées pour la simulation (moyenne sur les 50 topologies générées pour chaque taille).

Taille	Densité	Diamètre	Connectivité
300	0.60	2.9	13.3
400	0.40	3.8	6.8
500	0.27	4.7	3.9
600	0.20	5.8	2.2
700	0.15	7.7	1.4
800	0.12	9.5	1.1

TABLE 1: Densité, diamètre, et connectivité moyens en fonction de la taille.

Radio Chipcon CC2420		CPU Texas Instruments MSP430 F1611	
Tx 0dB	17.4 mA	Run 8MHz 3V (avec lecture flash) Sleep voltate cut-off	4mA 2.6μA 2.7V
Tx -1dB	16.5 mA		
Tx -3dB	15.2 mA		
Tx -5dB	13.9 mA		
Tx -7dB	12.5 mA		
Tx -10dB	11.2 mA		
Tx -15dB	9.9 mA		
Tx -25dB	8.5 mA		
Rx	19.7mA		
Idle	365μA		
Sleep	1μA		
Volt. Regulator	20μA		

TABLE 2: Caractéristiques électriques de la TMote Sky

Le modèle énergétique utilisé est WiSeBat [BDBF<sup>+</sup>15] configuré avec les données d'un nœud TMote Sky dont les caractéristiques sont données dans le Tableau 2). Ce modèle a montré une excellente précision pour l'évaluation de la durée de vie réelle des capteurs.

## 2 Résultats et Discussion

Deux scénarios sont considérés : une diffusion est effectuée toutes les 10 secondes par (a) le nœud ayant l'identifiant 0 (cet identifiant ne varie pas au cours de la simulation), et (b) un nœud choisi aléatoirement.

**Diffusion depuis une Seule Source** Parmi les résultats observés, on se concentre sur le nombre de nœuds moyen ayant effectivement reçu les messages envoyés par le nœud 0, en fonction de la taille de la zone de déploiement. Ces résultats sont présentés Figure 1. Contrairement à ce que l'on attendait, peu de protocoles offrent de bonnes performances. De plus, les performance dépendent fortement de la couche MAC utilisée.

Avec ContikiMAC, BIP, DLBIP, et FLOOD offrent de bonnes performances quelle que soit la taille de la zone. LBIP et RBOP sont en dessous mais LBIP s'améliore lorsque la densité du graphe décroît.

Avec 802.15.4, FLOOD et DLBIP montrent des résultats similaires. Cependant BIP (optimum théorique) est un des pires protocoles, avec RBOP et LBOP. Les performances de ces derniers s'améliorent avec des densités plus faibles mais restent bien inférieures avec ce qu'on observe en utilisant ContikiMAC.

Dans les deux cas, l'augmentation des performances avec la baisse de la densité du réseau s'explique par une diminution du nombre de collisions.

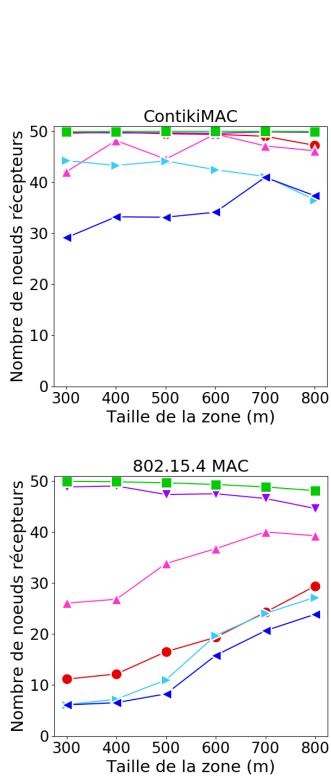


FIGURE 1: Nombre moyen de nœuds recevant la diffusion, en fonction de la taille de la zone

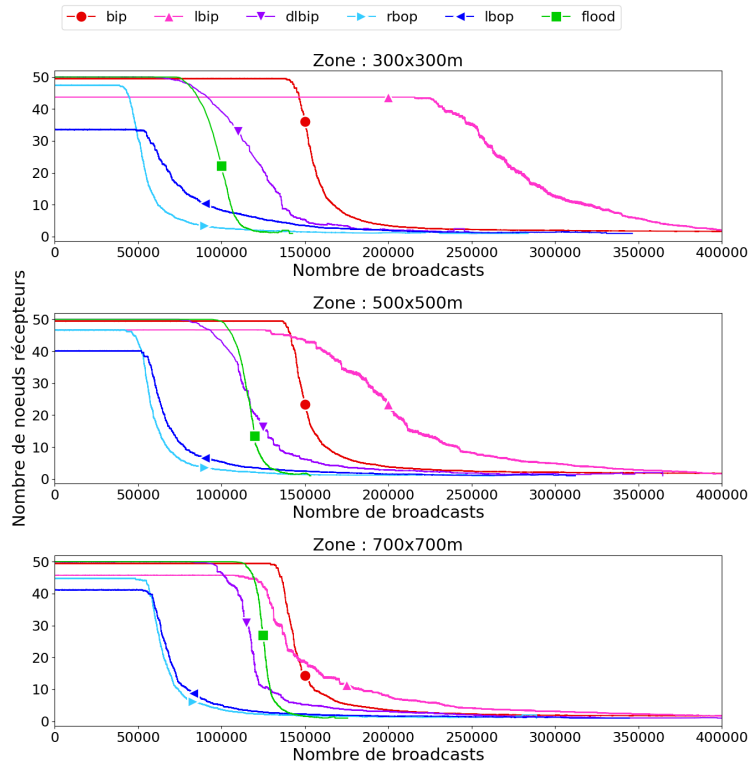


FIGURE 2: Nombre de nœuds recevant le message en fonction du temps, avec ContikiMAC.

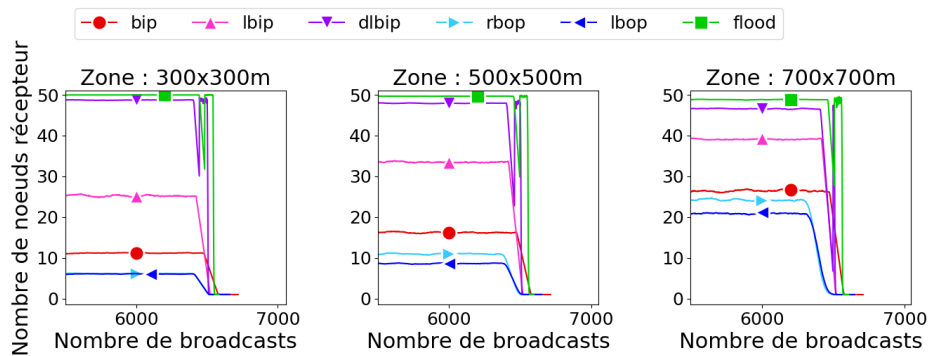


FIGURE 3: Nombre de nœuds recevant le message en fonction du temps, avec 802.15.4 MAC.

**Diffusion avec Sources Multiples** Parmi les résultats observés, on s'intéresse au nombre de nœuds qui reçoivent effectivement le message en fonction du temps, présenté Figure 2 et 3. Dans ces figures, l'axe des abscisses représente le nombre de diffusions effectuées, et l'axe des ordonnées le nombre de nœuds ayant reçu le message envoyé durant la diffusion.

Avec ContikiMAC, BIP est le protocole dont la diffusion est reçue par tous les nœuds pendant la plus grande durée. Ensuite FLOOD et DLBIP offrent des performances légèrement moins bonnes mais qui restent acceptables (FLOOD est légèrement meilleur dans des graphes moins denses). Il est intéressant de

voir que LBIP arrive à effectuer beaucoup plus de diffusions dans des graphes denses, mais en contrepartie environ 10% des nœuds ne reçoivent pas les messages. Finalement RBOP et LBOP sont largement en dessous des autres protocoles. On peut observer que dans des graphes peu denses, les performances de BIP, LBIP, DLBIP et FLOOD semblent converger vers environ 130000 diffusions.

Avec 802.15.4 MAC on observe que, pour chaque protocole, la mort du réseau apparaît brusquement. Aussi le nombre de diffusions effectuées est similaire pour tous les protocoles (autour de 6500 diffusions). Cela est dû au fait que la couche MAC 802.15.4 consomme la majorité de l'énergie, ce qui rend moins visibles les économies réalisées par les protocoles de diffusion. Le protocole FLOOD est le seul dont les diffusions sont reçues par tous les nœuds, quelle que soit la densité du graphe. DLBIP présente lui aussi de bonnes performances, et tous les autres protocoles sont loin derrière pour les critères considérés.

**Discussion** Nos résultats montrent que l'impact des collisions dues aux interférences est différent selon les protocoles de diffusion testés. L'impact négatif de ces collisions peut avoir plusieurs causes :

- Une cause directe *i.e.*, le protocole envoie peu de messages et chaque nœud ne possède qu'un seul voisin qui lui envoie ce message, augmentant ainsi le risque de perte en cas de collision. De plus, chaque perte de paquet risque d'isoler un sous-ensemble entier de nœuds de la source.
- Une cause indirecte *i.e.*, la manière dont le protocole sélectionne les nœuds qui retransmettent le message peut accentuer le nombre de collisions, particulièrement à cause du problème du terminal caché.

La première cause peut expliquer les bonnes performances du protocole FLOOD. En effet, FLOOD ne limite pas le nombre de nœuds qui retransmettent le message et ainsi augmente la probabilité qu'au moins un voisin de chaque nœud transmette sans collision. De plus, l'augmentation du nombre de transmissions, et donc d'interférences, ne semble pas impacter le protocole FLOOD. On peut remarquer qu'il y a de toute façon une limite pour la quantité d'interférences dans le réseau car la couche MAC retarde les transmissions lorsque le canal est occupé. Ainsi, l'augmentation de l'utilisation du canal (due à l'augmentation du nombre de transmissions) impacte le délai de transmission mais pas forcément la proportion de messages perdus. Si cette proportion se stabilise, augmenter le nombre de transmissions a pour effet d'augmenter la probabilité qu'au moins un message soit reçu sans collision.

Les performances remarquables du protocole FLOOD confirment l'utilité en pratique de la redondance, *sans que cela n'implique une consommation énergétique supérieure.*

### 3 Conclusion

Nous avons utilisé le modèle énergétique WiSeBat [BDBF<sup>+</sup>15] pour comparer les performances de six protocoles de diffusion représentatifs de la littérature. Nous avons montré que les performances obtenues dans un environnement réaliste ne sont pas celles attendues. De manière surprenante, la hiérarchie théorique entre les protocoles n'est plus respectée et varie en fonction de la couche MAC utilisée. Une observation notable concerne le protocole le plus simple, FLOOD, utilisé comme point de repère théorique le plus mauvais. En effet, malgré sa simplicité, FLOOD obtient de très bonnes performances en pratique dans tous les domaines.

### Références

- [BDBF<sup>+</sup>15] Quentin Bramas, Wilfried Dron, Mariem Ben Fadhl, Khalil Hachicha, Patrick Garda, and Sébastien Tixeuil. De la Survie Énergétique des Réseaux de Capteurs. In *ALGOTEL 2015 - 17èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications*, Beaune, France, June 2015.
- [BT16] Quentin Bramas and Sébastien Tixeuil. *Benchmarking Energy-Centric Broadcast Protocols in Wireless Sensor Networks*, pages 87–101. Springer International Publishing, Cham, 2016.
- [FCF07] Antoine Fraboulet, Guillaume Chelius, and Eric Fleury. Worldsens : development and prototyping tools for application specific wireless sensors networks. In *Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on*, pages 176–185. IEEE, 2007.