



**HAL**  
open science

# Réduction de la redondance de messages des capteurs dans un contexte Massive IoT

Gwen Maudet, Mireille Batton-Hubert, Patrick Maillé, Laurent Toutain

► **To cite this version:**

Gwen Maudet, Mireille Batton-Hubert, Patrick Maillé, Laurent Toutain. Réduction de la redondance de messages des capteurs dans un contexte Massive IoT. AlgoTel 2023 - 25èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2023, Cargese (Corse), France. pp.1-4. hal-04079906

**HAL Id: hal-04079906**

**<https://hal.science/hal-04079906>**

Submitted on 24 Apr 2023

**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.

# Réduction de la redondance de messages des capteurs dans un contexte Massive IoT

Gwen MAUDET<sup>1</sup> et Mireille Batton-Hubert<sup>2</sup> et Patrick Maille<sup>1</sup> et Laurent Toutain<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IMT Atlantique, IRISA, UMR CNRS 6074, F-35700, Rennes, France

<sup>2</sup>Mines Saint-Etienne, Univ Clermont Auvergne, UMR CNRS 6158, F-42023, Saint-Etienne, France

---

Dans les solutions actuelles de surveillance basées sur des capteurs, chaque application nécessite un déploiement spécifique et des efforts de configuration importants pour s'adapter aux changements dans le champ de capteurs. Dans cet article, nous proposons une solution générique qui repose sur un déploiement massif de capteurs alimentés par batterie. Plus précisément, nous présentons une solution de planification des émissions de capteurs pour garantir des émissions régulières de données de capteur dans le temps (à un taux choisi par l'utilisateur) tout en limitant les coûts de gestion engendrés par les arrivées et départs de capteurs. Nos objectifs comprennent la qualité de surveillance que nous évaluons à travers une métrique de "diversité" qui englobe le fait que la valeur de l'information s'épuise avec le temps, plus les coûts de gestion quantifiés par le nombre d'ordres envoyés aux capteurs. Nous comparons notre méthode à des méthodes d'autres solutions, et montrons que notre solution est davantage performante.

**Mots-clefs :** Massive IoT, Energy Efficiency, Redundancy avoidance, LPWANs

---

## 1 Introduction

Dans une approche classique de monitoring, quelques capteurs fiables sont placés à des emplacements pertinents pour fournir des informations pertinentes. Chaque solution est différente et peu adaptable dans le temps. En revanche, le Massive Internet of Things (mIoT) prend en compte une grande quantité de capteurs bon marché et autonomes en énergie sans informations préalables sur leur qualité ou leur position. Ce changement de paradigme change le jeu pour le développement de solutions de surveillance, car il nécessite un haut degré de flexibilité dans la gestion des capteurs [PH05]. Cela rend possible le développement de solutions polyvalentes indépendantes du développement physique.

Notre premier travail [MBHMT22] a proposé un cadre pour développer des politiques de surveillance respectant toutes ces exigences. La solution de gestion des capteurs possède une propriété fondamentale : la réception périodique stricte des données en provenance de chaque capteur. Des propriétés similaires sont présentes dans [YZC<sup>+</sup>03]. Nous souhaitons poursuivre ce travail en proposant une solution plus réaliste et applicable que [MBHMT22]. Ce travail peut également être considéré comme une adaptation de [YZC<sup>+</sup>03] à une méthode de gestion centralisée qui ne nécessite pas de fenêtre d'écoute du trafic, très énergivore.

Les principales contributions de ce papier sont (i) basées sur une représentation des capteurs comme des feuilles d'un arbre binaire presque complet, nous développons une fonction de mise à jour de la période permettant la réception homogène dans le temps des messages au taux cible souhaité tout en limitant le nombre d'ordres de modification de la période lors de l'arrivée et du départ des capteurs. (iii) une comparaison de notre solution à d'autres méthodes de gestion des capteurs existantes et la confirmation de sa pertinence dans un cadre posé, tel que celui prévu pour mIoT.

La version originale apparaîtra bientôt ici [MBHMT23], avec une version libre d'accès ici <https://imt-atlantique.hal.science/hal-03632557>.

## 2 Problématique et Modèle

Nous considérons des capteurs sans fil alimentés par pile, transmettant périodiquement des informations sur une quantité physique vers le système de surveillance. Après chaque transmission, le capteur ouvre une courte période d’écoute pour recevoir des informations de l’extérieur, que nous utilisons pour envoyer des ordres de modification de période de transmission. Dans ce papier, nous nous concentrons sur la définition de stratégies de gestion des capteurs, que nous caractérisons par une **fonction de mise à jour de la période**  $f$ , qui peut mettre à jour la période de transmission d’un capteur qui vient d’émettre.

Nous voulons particulièrement gérer la dynamicité de la flotte de capteurs. Lorsqu’un nouveau capteur émet pour la première fois, le système de surveillance le reconnaît et l’intègre à sa politique de gestion. De plus, le départ d’un capteur peut être causé par plusieurs raisons: (i) le capteur n’a plus d’énergie, (ii) il quitte physiquement l’environnement, ou ne décrit plus la quantité de manière pertinente (capteur qui serait identifié comme non pertinent).

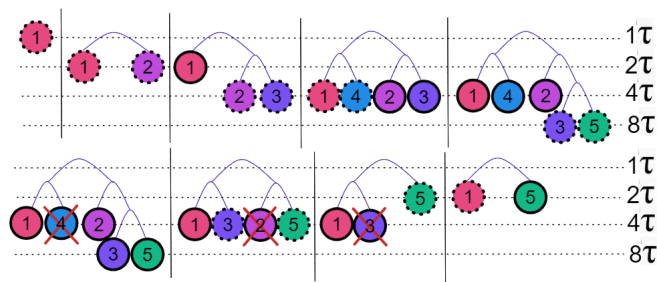
Pour caractériser la qualité des données, nous nous appuyons sur leur fraîcheur, décrit par une fonction décroissante en fonction de l’âge des données [BP04]. Nous utilisons en tant que métrique de performance la somme des valeurs de fraîcheur des dernières données de chaque capteur, que nous appelons **diversité**.

L’objectif pour l’utilisateur sera de trouver un compromis satisfaisant entre ces métriques, en garantissant une surveillance précise (haute diversité) tout en contrôlant les coûts de gestion (nombre de commandes de modification de période).

## 3 La méthode 2-Level Round-Robin

Dans cette section, nous présentons une solution de gestion des périodes d’émission des capteurs permettant de maintenir une période globale constante  $\tau$  de réceptions de données. Tous les capteurs émettent avec une période “similaire” (jusqu’à un facteur 2), cela ne nécessitant l’envoi que d’une seule ou deux ordres de modification de période pour chaque arrivée ou départ de capteur.

Pour garantir que les périodes d’émission de tous les capteurs ne diffèrent jamais de plus d’un facteur 2, nous représenterons les capteurs comme des feuilles d’un *arbre binaire équilibré complet* et imposerons qu’un capteur avec une profondeur  $d$  dans l’arbre ait une période d’émission définie à  $2^d \tau$ . La figure 1 illustre comment l’arbre évolue lorsque les capteurs entrent et quittent le système. Cette structure possède différentes propriétés qui sont décrites dans [MBHMT23].



**Fig. 1:** Évolution de l’arbre binaire de représentation de capteurs, lorsque des capteurs entrent ou sortent du système. Chaque capteur est représenté par un cercle coloré avec un identifiant, des lignes horizontales pointillées représentent les périodes d’émission des capteurs à ce niveau. Une ligne pointillée autour d’un capteur signifie que sa position (et sa hauteur) a été modifiée dans l’arbre (ce qui nécessite une modification de la période d’émission). La partie supérieure montre les arrivées successives de capteurs indexés de 1 à 5, tandis que la partie inférieure montre les départs successifs des capteurs 4, 2 et 3 (symbolisés par une croix).

## 4 Simulations

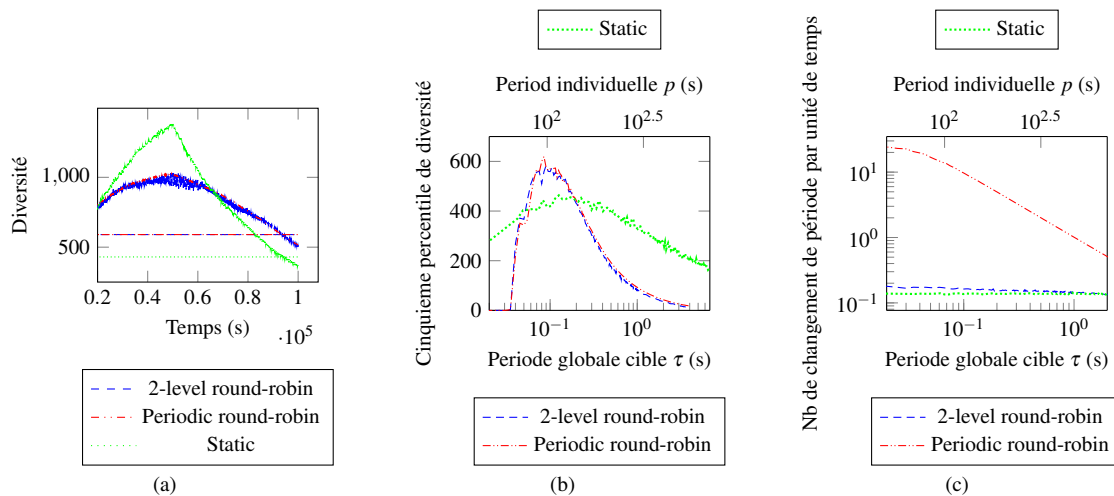
Dans cette section, nous comparons la méthode 2-level Round-robin à d’autres stratégies existantes, montrant qu’elle est la méthode la plus adaptée aux hypothèses et objectifs considérés.

Parametre	Signification	Valeur
	Période d'initialisation	20000s
	Durée de la première phase	50000s
	Durée de la seconde phase	50000s
$\lambda_1$	Taux d'arrivée de capteurs - première phase	$0.1s^{-1}$
$\lambda_2$	Taux d'arrivée de capteurs - seconde phase	$0.001s^{-1}$
$1/\gamma$	Nombre moyens de message de capteurs	1000 emissions
$\mu$	Taux de départ pour autre raison	$0.00002s^{-1}$
Fraicheur	valeur qui diminue en fonction de $x$	$e^{-x/T}$
$T$	Durée de pertinence d'une donnée	100s

**Tab. 1:** Paramètres de la simulation

Pour cette simulation, nous considérons un système initialement vide, avec des capteurs qui entrent selon une loi exponentielle. Nous supposons deux phases consécutives : dans la première, de nombreux capteurs entrent dans l'environnement, tandis que dans la seconde, les capteurs entrent de manière plus rare dans l'environnement. Leur nombre de messages suit une loi de poisson et leur temps de vie maximal qui suit une loi exponentielle. Nous commençons à observer l'environnement (c'est-à-dire à calculer les métriques) après un temps d'initialisation. Les résultats théoriques liés à ce type de scenario, dans le cadre stationnaire, sont développés dans [MBHMT23]. Les paramètres de la simulation sont donnés dans Table 1.

Nous comparons notre solution avec [MBHMT22] qui permet de recevoir des transmissions strictement périodiques avec une période  $\tau$ , grâce à un plan de planification round-robin synchronisé sur tous les capteurs actifs. Nous appelons cette méthode **Periodic round-robin**. En outre, nous proposons de comparer avec la méthode de gestion de capteur qui fixe la même (donnée) période d'émission  $p$  à tous les nouveaux capteurs arrivés. Nous appelons cette méthode **Static**. Pour toutes les méthodes, nous appliquons la fonction de mise à jour de la période après chaque réception de message de capteur, et nous évaluons les performances globales entre la fin de la période d'initialisation et la fin de la seconde phase.



**Fig. 2:** (a) : Comparaison de la diversité au fil du temps pour une simulation, avec une période globale  $\tau = 0.1s$  pour les méthodes round-robin et une période individuelle  $p = 150s$  pour la méthode static, et garantie de diversité (cinquième percentile) pour chaque méthode (lignes horizontales). (b) et (c) : Cinquième percentile de la diversité (b) et nombre de changements de période par unité de temps (c) pour les trois méthodes, par rapport à leur paramétrisation. Les paramètres pour les méthodes round-robin se trouvent sur l'axe des x en bas, et pour la méthode static sur l'axe des x en haut.

Les capteurs rentrent au fur et à mesure dans l'environnement, l'objectif est de conserver leur énergie

pour obtenir un nombre suffisant de capteurs, impliquant une diversité suffisante. La performance d'une méthode est donc évaluée par la garantie de diversité comme cinquième percentile de diversité, ainsi que le coût de gestion comme le nombre de messages d'ordre de changement de période envoyés aux capteurs.

Les résultats globaux de performance pour différents paramètres sont montrés dans la figure 2(b,c). Les meilleures méthodes selon les conditions de simulation sont les méthodes de round-robin, garantissant une meilleure qualité de surveillance pour  $\tau$  autour de 0.1s. La méthode statique performe moins bien avec une performance inférieure de 30% dans le meilleur des cas. Cela est dû au fait que la méthode statique ne s'adapte pas au nombre de capteurs présents, ce qui peut entraîner une surutilisation des capteurs lorsqu'ils sont nombreux au lieu de les économiser pour plus tard.

Bien que le round-robin périodique devrait entraîner une diversité plus stable grâce à des transmissions strictement périodiques, les deux méthodes de round-robin fournissent une diversité relativement similaire au fil du temps. La méthode 2-level round-robin surpasse periodic round-robin, en demandant 59 fois moins de changement de période pour  $\tau = 0.1s$ , la rendant plus adéquate dans un contexte massif.

## 5 Conclusions et perspectives

Cet article propose une stratégie d'émission de données pour les solutions de surveillance utilisant des capteurs miniaturisés alimentés par batterie et transmettant sur un réseau très contraint. Notre méthode garantit la qualité de la surveillance (en termes de métrique de diversité), avec un coût limité d'adaptation aux changements de champ de capteurs. Notre solution peut par exemple être utilisée pour surveiller une quantité physique moyenne avec un grand nombre d'objets IoT. Il est générique et facilement applicable aux LPWAN dans le contexte de l'Internet des objets, et valide la possibilité d'adopter ce paradigme pour les futures solutions de surveillance. Il reste beaucoup de travail à faire : (i) il pourrait être intéressant de ne pas toujours utiliser tous les capteurs présents, par exemple en éteignant certains en raison de leur position géographique ou de la qualité des données qu'ils renvoient. (ii) Pour l'instant, nous avons considéré que chaque message constitue une information atomique. Cependant, chaque message contient différentes informations, qui dépendent fortement du capteur. Intégrer ces considérations dans nos politiques de surveillance est également une prochaine étape.

## Remerciements

Ce travail a été financé par la Chaire ValaDoE.

## References

- [BP04] M. Bouzeghoub and V. Peralta. A framework for analysis of data freshness. In *International Workshop on Information Quality in Information Systems*, pages 59–67, 06 2004.
- [MBHMT22] G. Maudet, M. Batton-Hubert, P Maille, and L. Toutain. Emission scheduling strategies for massive-iot: implementation and performance optimization. In *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 2022.
- [MBHMT23] Gwen Maudet, Mireille Batton-Hubert, Patrick Maille, and Laurent Toutain. Energy Efficient Message Scheduling with Redundancy Control for Massive IoT Monitoring. In *WCNC 2023*, 2023.
- [PH05] D. Puccinelli and M. Haenggi. Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 5(3):19–31, 2005.
- [YZC<sup>+</sup>03] Fan Ye, G. Zhong, J. Cheng, Songwu Lu, and Lixia Zhang. PEAS: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks. In *23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, 2003. *Proceedings.*, pages 28–37, May 2003. ISSN: 1063-6927.