



**HAL**  
open science

## LoRaWAN : efficace et pas cher, c'est le relayage que je préfère

Edouard Lumet, Antonin Le Floch, Rahim Kacimi, Mathieu Lihoreau,  
André-Luc Beylot

### ► To cite this version:

Edouard Lumet, Antonin Le Floch, Rahim Kacimi, Mathieu Lihoreau, André-Luc Beylot. LoRaWAN : efficace et pas cher, c'est le relayage que je préfère. 7ème Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication (CORES 2022), May 2022, Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France. hal-03657600

**HAL Id: hal-03657600**

**<https://hal.science/hal-03657600v1>**

Submitted on 3 May 2022

**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.

# LoRaWAN : efficace et pas cher, c'est le relayage que je préfère

Edouard Lumet<sup>1</sup>† et Antonin Le Floch<sup>1</sup> et Rahim Kacimi<sup>1</sup> et Mathieu Lihoreau<sup>2</sup> et André-Luc Beylot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRIT, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UT3, Toulouse, France.

<sup>2</sup>CRCA, Centre de biologie intégrative (CBI), CNRS, Toulouse, France.

---

La modulation LoRa est réputée pour sa robustesse et sa portée étendue. Pourtant, elle ne permet pas de bénéficier d'une couverture complète de qualité, en particulier dans les zones urbaines denses ou au sein des bâtiments. L'objectif de cet article vise la mise en place d'un relais dans un réseau LoRaWAN permettant d'outrepasser ces limites de façon transparente tout en améliorant le taux de délivrance et la consommation d'énergie. Des expérimentations en vraie grandeur ont été mises en œuvre sur de nombreux scénarios. Du fait de la croissance exponentielle du temps de transmission en fonction du Spreading Factor (SF), l'utilisation d'un relais devient judicieuse. Sur ces expérimentations, nous mettons en évidence la faisabilité de la proposition et estimons le taux de délivrance et le débit. Les traces collectées sont injectées dans un simulateur pour étudier la consommation énergétique correspondante. Tous ces résultats mettent en exergue l'amélioration apportée par le relayage, en particulier en l'absence de visibilité directe (NLoS).

**Mots-clefs** : LoRaWAN, Relayage, Expérimentations, Efficacité énergétique

---

## 1 Introduction

De manière générale, une simple passerelle LoRa permet d'établir un réseau dont la portée peut atteindre quelques kilomètres en employant les meilleurs paramètres de modulation en termes de débit. Cependant, le modèle de propagation sur lequel repose cette idée est souvent fonction du logarithme de la distance à la passerelle. Or, de même que présenté dans l'article [DPT20], nos expérimentations montrent que ce modèle est imprécis dans des scénarios réalistes en environnements contraints. Les villes denses où les obstacles sont nombreux en sont un exemple, où l'on se confronte alors à des effets de masque. Par conséquent, des solutions doivent être proposées pour étendre la portée. Une approche naïve serait d'augmenter le facteur d'étalement (SF ou *Spreading Factor*), néanmoins cela augmenterait la consommation énergétique et cela ne garantit pas un taux de délivrance suffisant. Une autre solution est l'ajout de passerelles dans le réseau afin d'étendre la portée des faibles SF ainsi que la portée globale. Une autre piste consiste en l'attribution du rôle de relais à certains nœuds du réseau, ce qui semble plus simple et moins coûteux en termes d'implantation puisque cela ne requiert pas de connexion stable à des réseaux de collecte et d'alimentation électrique.

Notre objectif est donc de pallier les diminutions importantes et inattendues du taux de délivrance dans des environnements contraints, même dans le cas où la distance à la passerelle est faible. Le relayage dans les réseaux LoRa semble alors être une solution prometteuse afin d'améliorer la qualité de la liaison [DP19], même si les expérimentations présentes dans la littérature sont limitées au regard des cas d'utilisation. L'article [FHNC20] omet par exemple le problème de la consommation énergétique. Il en va de même concernant l'article [BSB19] où les auteurs ont recours à un relais alimenté électriquement de façon permanente.

---

†Contact : edouard.lumet@irit.fr, ce papier a été accepté et présenté à la conférence ACM MSWIM'21

## 2 Expérimentations

Afin d’identifier les configurations dans lesquelles le relayage améliore la couverture ou le débit par rapport à une communication directe comparable, les expérimentations se déroulent en deux étapes. Dans un premier temps, des mesures sont effectuées en SF7 sur un unique saut afin d’étudier la couverture et observer d’éventuels emplacements propices à la mise en place d’un relais. Ensuite, le relais est ajouté dans le réseau et des mesures sont à nouveau réalisées. Lors du relayage, seul le SF7 est employé sur chacun des sauts du fait de l’objectif d’amélioration conjointe du débit et de la consommation énergétique par la solution.

Pour étayer la comparaison, le taux de délivrance est également mesuré pour des communications directes en SF8 et SF12. En effet, la mesure en SF8 permet de savoir si le relayage offre de meilleures performances à temps de transmission et consommation énergétique équivalents. La robustesse du SF12 conduit souvent à de forts taux de délivrance. Ce cadre nous permettra (cf. 2.1) d’établir les performances du relayage en termes de qualité de la liaison, de couverture réseau et de consommation énergétique.

### 2.1 Cas d’étude

Les expérimentations ont lieu dans le centre ville de Toulouse (cf. figure 1). Il s’agit d’une zone dense où les bâtiments sont de hauteur moyenne mais les rues généralement étroites. Cette topographie présente un attrait pour le relayage avec l’effet d’ombre et pour tirer profit des rues de type *street canyon*, à tendance rectilignes, larges et profondes. En effet, elles favorisent la propagation du signal mais sont sujettes aux effets d’ombre et de chemins multiples. Plaçons tout d’abord un relais en *P7*, qui est l’entrée d’une large rue permettant de bénéficier de conditions en ligne de vue. Ensuite, nous mettrons un relais en *P8* car le taux de délivrance y est supérieur en SF7 et qu’il est dans l’alignement de deux places dont l’une a fait l’objet d’une étude préliminaire révélant un taux de délivrance extrêmement bas.

### 2.2 Prototype

Notre prototype est constitué d’une passerelle Mikrotik wAP LoRa8 équipée d’une antenne omnidirectionnelle de gain 6, *5dBi*, d’une carte Raspberry Pi 3B+ et de deux cartes Pycom équipées de modules LoPy4. La programmation sur les cartes Pycom est effectuée en MicroPython. Il consomme peu de mémoire mais ses fonctions sont limitées. C’est pourquoi l’implantation expérimentale du relayage inclut un saut en LoRa et un saut en LoRaWAN. En effet, les fonctions de chiffrement nécessaires à LoRaWAN ne sont pas disponibles sur les cartes Pycom.

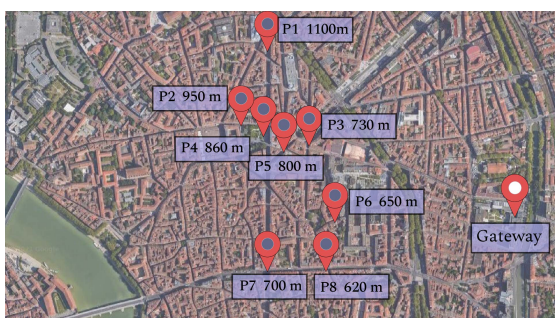
## 3 Résultats

### 3.1 Fiabilité

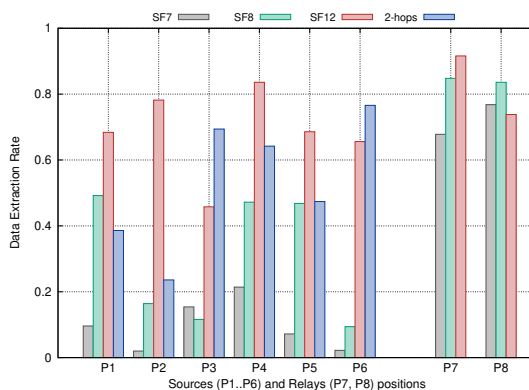
Le débit est une métrique pertinente pour mesurer la fiabilité de la transmission puisqu’il est fondé sur le taux de délivrance et sur le débit binaire. Il est étroitement lié à la consommation énergétique, notamment si l’on considère les retransmissions potentielles. D’autres métriques telles que le rapport signal à bruit (SNR) ou la puissance en réception (RSSI) sont, en revanche, peu pertinentes. En effet, nous avons observé que même si les valeurs de RSSI et de SNR sont respectivement au-delà des seuils de réception et décodage, la communication peut présenter un faible taux de délivrance et un faible débit. La variation du SNR ne permet pas de caractériser avec précision la qualité du lien, du fait de son instabilité.

La figure 2 montre une communication peu fiable concernant les six premiers emplacements de mesure. Le taux de délivrance maximal atteint aux sources *P1* à *P6* est de l’ordre de 20% tandis que pour la majeure partie il se situe en deçà de 10%. Cette première observation a mené à l’intuition d’un débit faible en SF8 et d’un avantage significatif apporté par le relayage. Par ailleurs, la comparaison des résultats en un saut SF8 ou deux sauts SF7 montre une amélioration nette du taux de délivrance pour les sources *P2*, *P3*, *P4* et *P6*. Le relayage permet un taux de délivrance

jusqu'à 8 fois supérieur ; il en est de même pour le débit. *P6* est un exemple intéressant pour le relayage en raison de la topographie du lieu. En effet, il est situé sur une place entourée de bâtiments relativement hauts, affectant grandement les conditions de propagation comme l'on pourrait trouver dans le cas de bennes publiques connectées. On observe une amélioration significative du taux de délivrance et par conséquent du débit en relayant via le nœud installé en *P8* tel que discuté dans la section 2.1. On observe des résultats similaires à proximité, concernant la source *P3*. Quant à la source *P1*, la distance au relais *P7* est très élevée au regard du faible gain des antennes des terminaux. En effet, le relais a les mêmes spécifications techniques qu'un terminal. On observe alors un taux de délivrance inférieur en relayage par rapport à une communication directe en SF8.



**Figure 1** : Centre-ville de Toulouse, IRIT-ENSEEIH, en zone urbaine dense.



**Figure 2** : Taux de délivrance en communications directes et relayées. Relais en *P7* et *P8*. *P8* relaie *P6* et *P3*, *P7* relaie les autres sources.

### 3.2 Consommation énergétique

Le débit et la consommation énergétique au niveau du terminal sont liés si l'on considère le taux de délivrance ainsi que les retransmissions nécessaires, à raison d'une par trame non reçue, au niveau applicatif. Ainsi, on calcule les temps de transmission cumulés des transmissions et retransmissions éventuelles, d'après les SF et taux de délivrance obtenus lors de nos campagnes de mesure. La table 1 présente ces temps en LoRa et LoRaWAN en fonction du SF. Étant donné les valeurs fixes de la largeur de bande, du taux de codage et de la taille de charge utile, il dépend alors uniquement du SF. Enfin, la consommation énergétique d'un terminal étant fortement liée à son activité radio, nous avons donc choisi, outre le taux de délivrance, le temps de transmission comme métrique.

Ne pouvant pas mesurer précisément les faibles niveaux de consommation instantanée des cartes Pycom, nous avons mis en place des simulations d'après les spécifications LoPy4 à l'aide du simulateur *LoRaSim*. Les données collectées lors des expérimentations sur le terrain constituent notre jeu de données. Dans le but de réduire l'intervalle de confiance, 500000 trames sont simulées pour chaque source.

Dans le cas du relayage, les taux de délivrance du terminal et du relais doivent être inclus dans le calcul, de même que l'énergie consommée par le relais pour écouter le canal. Il est à noter que le relais n'écoute pas continuellement grâce à un mécanisme de synchronisation développé pour notre

SF	LoRa airtime	LoRaWAN airtime
7	29	52
8	58	93
9	116	186
10	232	330
11	463	660
12	926	1319

**Table 1** : Temps de transmission mesurés en LoRa et LoRaWAN, en ms, en fonction du SF avec  $BW = 125kHz$ ,  $CR = 4/5$ , charge utile = 10

solution. L'énergie totale nécessaire à une communication se résume par la somme des envois, des retransmissions éventuelles ainsi que des coûts de relayage.

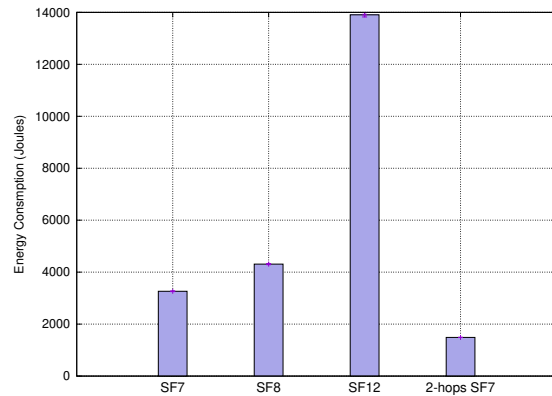
La figure 3 présente la consommation énergétique simulée de la source *P6* de notre scénario expérimental. Il s'agit d'un exemple idéal où le relayage accroît fortement le taux de délivrance. Les résultats montrent des économies d'énergie elles aussi significatives : 50% et 34% par rapport à la communication directe en SF7 et SF8.

## 4 Conclusion

En résumé, le relayage améliore significativement la consommation énergétique et le débit, démontrant sa pertinence. En effet, cinq des six sources étudiées en environnement urbain ont bénéficié d'une amélioration sensible des performances. Dans un cas le relayage a même amélioré ce taux par rapport à une communication directe en SF12, ce qui est une performance notable au vu de la consommation énergétique particulièrement élevée en SF12.

Du fait de la forte croissance du temps de transmission en fonction du SF (cf. table 1), l'utilisation du canal est moins importante en limitant les SF élevés. Il existe une relation linéaire entre la consommation énergétique et l'utilisation du canal, toutes deux étant fonction du temps de transmission. Ainsi, les rapports présentés dans la section 3.2 entre les communications directes et relayées sont transposables à l'utilisation du canal.

Nos résultats sont très encourageants mais il est nécessaire de compléter l'évaluation de performance avant de déployer à plus large échelle le relayage dans les réseaux LoRaWAN privés et opérés. Cette évaluation peut être réalisée à l'aide d'expérimentations incluant des scénarios et des environnements encore plus diversifiés (nous n'avons extrait qu'une partie des résultats que nous avons obtenus), en ajoutant un mécanisme de partage entre relais ou encore en prouvant que limiter les SF élevés réduit les interférences et les collisions, notamment en relayant avec des SF faibles tels que le SF7.



**Figure 3** : Consommation énergétique de la source *P6* (cf. fig. 1), en joules

## Références

- [BSB19] S. S. Borkotoky, U. Schilcher, and C. Bettstetter. Cooperative Relaying in LoRa Sensor Networks. In *2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 1–5, December 2019. ISSN : 2576-6813.
- [DP19] M. Diop and C. Pham. Increased flexibility in long-range IoT deployments with transparent and light-weight 2-hop LoRa approach. In *2019 Wireless Days (WD)*, pages 1–6, April 2019. ISSN : 2156-972X.
- [DPT20] Ousmane Dieng, Congduc Pham, and Ousmane Thiare. Comparing and Adapting Propagation Models for LoRa Networks. In *2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pages 1–7, October 2020. ISSN : 2160-4894.
- [FHNC20] Olivier Flauzac, Joffrey Herard, Florent Nolot, and Philippe Cola. A Low Power LoRa-LoRaWan Relay Function with a Single Input, Single Output Device. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks on Proceedings of the 2020 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, EWSN '20, pages 283–288, USA, February 2020. Junction Publishing.