

Rapport de RLD

LoRa Transmission Parameter Selection

Martin Bor, Utz Roedig

Introduction	2
Le Papier Scientifique	2
Les différents paramètres	2
Expérimentations	2
Résultats du papier	3
Notre projet	4
Notre objectif	4
Conditions expérimentales	4
Notre méthodologie	5
Code de l'émetteur	5
Code du récepteur	5
Consommation d'énergie et Time On Air	5
Résultats	6
Exploitation et conclusion	8

Introduction

Dans le cadre d'un projet d'expérimentations en cours de Réseau Longue Distance sur la technologie LoRa nous avons eu pour objectif d'étudier un papier de l'état de l'art concernant cette technologie et de vérifier par nous-mêmes les résultats décrits en produisant nos propres expériences. Pour ce projet, nous nous sommes intéressés à l'étude "LoRa Transmission Parameter Selection" car il concerne les fondamentaux d'une transmission LoRa, à savoir: les différentes variables à paramétrer sur les devices responsables de la transmission.

Le Papier Scientifique

Les auteurs de ce papier, Bor et Roedig, ont étudié l'effet des paramètres de transmission régissant une transmission LoRa. Ils ont cherché, plus précisément, à montrer l'impact de ces paramètres sur la qualité du lien et la consommation d'énergie. Le but est donc d'optimiser les paramètres pour pouvoir transmettre au mieux tout en consommant le moins d'énergie possible pour augmenter la durée de vie de l'émetteur.

Ils ont alors mené des expérimentations pour évaluer l'influence de toutes les combinaisons de paramètres sur la transmission. Puis ils ont essayé de trouver un moyen pour automatiser une solution qui permet de minimiser le coût en énergie mais maximiser le taux de réception.

Les différents paramètres

Ils ont donc identifié cinq différents paramètres pouvant impacter la transmission :

- Le premier paramètre est la puissance d'envoi. Cette puissance est entre -4 dBm et 20 dBm.
- La fréquence de la porteuse est entre 137 MHz et 1020 MHz par pas de 61 Hz.
- Le facteur d'étalement correspond au rapport du symbol rate par le chip rate. Il varie entre 6 et 12. Ces facteurs sont orthogonaux, cela permet alors de séparer les réseaux.
- La bande passante est soit de 500 kHz, de 250 kHz ou de 125 kHz. Plus la bande passante est grande, plus le débit sera important et le temps dans l'air sera faible, et inversement.
- Le dernier paramètre, le taux de codage est égal soit à 4/5, à 4/6, à 4/7 ou 4/8. D'ailleurs plus le taux est élevé, plus on aura une meilleure protection contre les interférences. Toutefois, le temps dans l'air sera également plus important.

Expérimentations

Les deux auteurs ont cherché à montrer l'influence des paramètres précédents sur la qualité du lien. Ils voulaient trouver le paramétrage optimal pour avoir la meilleure le taux de paquets reçus et la consommation d'énergie plus faible. Ils ont donc voulu tester les combinaisons possibles soit 1152 combinaisons.

Auteurs : ARLANDA Rémi, POLIDO Victor

Deux modules NetBlocks XRange SX1272 LoRa RF ont été utilisé durant ces expérimentations. Ils étaient placés au sein du même bâtiment mais à différents étages et séparés par 50 m. Un des modules jouait le rôle de récepteur et l'autre celui d'émetteur. Pour chaque combinaison l'émetteur envoyait 255 paquets. Le Packet Reception Rate (PRR) était ensuite calculé pour mesurer la qualité du lien.

Résultats du papier

Tout d'abord, ils ont reçu une grande majorité de leurs paquets plus de 90% des paquets envoyés ont été reçus. Dans ce papier, les auteurs ont utilisé une heatmap pour présenter leurs résultats :

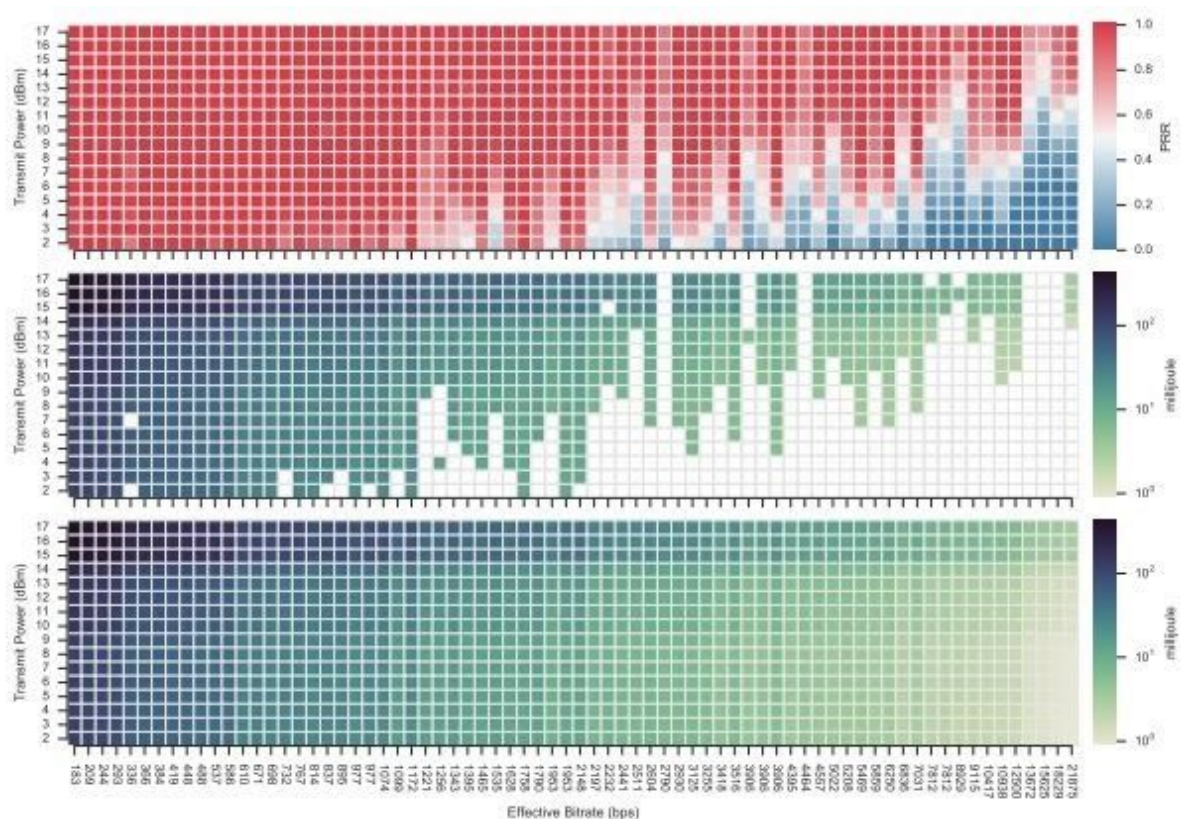


Figure 1 : Heatmaps de la puissance d'envoi et du bitrate en fonction du PRR (celle en haut), en fonction de la consommation d'énergie (en bas). Celle du milieu montre la consommation d'énergie avec un paramétrage où le PRR est inférieur à 0.9.

On peut donc voir sur la map du haut la puissance d'envoi en fonction du bitrate, et pour chaque combinaison le PRR correspondant. Pour un bitrate élevé et une puissance faible, on peut remarquer qu'il y a un très mauvais PRR. Et au contraire, dans le coin en haut à gauche, il y a des PRR élevés pour un bitrate faible mais une puissance élevée.

On peut ensuite voir sur la map du bas la puissance d'envoi en fonction du bitrate, et pour chaque combinaison la consommation d'énergie correspondante. En bas à droite, on peut voir que la consommation est très faible mais comme on l'a vu juste avant le PRR est faible. Et dans le coin en haut à gauche, ce sont les combinaisons qui ont les plus consommations les plus élevées.

Auteurs : ARLANDA Rémi, POLIDO Victor

La heatmap du milieu permet alors de faire un compromis entre le PRR et la consommation. Ils ont sélectionné toutes les combinaisons ayant un PRR supérieur à 0.9. On peut ainsi visualiser les consommations d'énergie pour les combinaisons ayant un PRR acceptable. Cela permet donc d'avoir la combinaison la plus optimale possible.

Ils ont donc pu voir que le choix du paramétrage idéal peut permettre de réduire la consommation d'énergie et ainsi rallonger la durée de vie. Ils se sont également aperçus que le paramétrage optimal est variable dans le temps. Il faut donc le changer au fur et à mesure pour toujours garder le meilleur compromis entre la qualité de la transmission et la consommation d'énergie.

Notre projet

Notre objectif

Pour notre projet personnel, nous avons eu pour objectif de reproduire une expérience semblable de transmission avec un émetteur et un récepteur placés à courte distance l'un de l'autre. Cela a été fait dans le but de trouver la meilleure configuration en tant que compromis entre consommation d'énergie et fiabilité de la liaison et de comparer ce résultat à celui du papier décrit ci-dessus.

Le projet ayant été réalisé en temps limité, nous avons au départ décidé de nous concentrer sur les combinaisons de deux paramètres : la puissance de transmission (TX Power) ainsi que le facteur d'étalement (SF) qui constituaient selon nous les deux facteurs ayant le plus d'impact sur le compromis précité. Lors de notre première salve d'expérimentations avec ces paramètres, nous avons fait face à un problème: au changement de puissance entre certaines combinaisons, le récepteur ne captait plus rien. Après quelques recherches et discussions avec notre professeur, nous en avons conclu qu'il s'agissait d'un problème bas-niveau qui était inintéressant et impossible à régler en un temps raisonnable. Nous avons donc décidé de nous intéresser à une autre combinaison de paramètres : le facteur d'étalement (SF) et le Taux de Codage (CR).

Conditions expérimentales

Pour réaliser nos expérimentations, nous avons utilisé deux shields Arduino avec des modules LoRa. On avait donc un émetteur et un récepteur qui étaient placés dans deux résidences de l'INSA différentes (les bâtiments E et I). Ils étaient donc à une distance d'environ 80 m l'un de l'autre avec des obstacles comme des murs entre les deux. On a également réalisé les mesures durant un après-midi. On s'était dit qu'en journée, il y aurait d'autres devices qui émettent dans la ville et ainsi que l'on obtiendrait des résultats plus représentatifs de la réalité d'une communication LoRa. De plus, pour avoir les meilleurs résultats possibles, nous avons fait attention à ne pas modifier l'emplacement des modules et à ne pas avoir d'objets métalliques autour pouvant causer des interférences.

Notre méthodologie

Code de l'émetteur

Le code de l'émetteur est composé de trois boucles imbriquées : une qui parcourt l'ensemble des SF, la deuxième qui parcourt l'ensemble des Coding Rate et enfin une dernière boucle qui permet d'envoyer un nombre de paquets fixé pour chaque combinaison. Pour notre expérience, nous avons fixé ce nombre de paquets à 100 et tous les autres paramètres sont fixés et ne varient pas au cours de l'expérience: la puissance de transmission à 7 dBm, la fréquence de la porteuse à 868 MHz (Europe) et la largeur de la bande de fréquence à 500 kHz. Chaque paquet transmis est ensuite composé de la combinaison (SF;CR) qui régit la transmission en cours. Enfin, à chaque alternance de SF, l'émetteur doit alerter le récepteur qu'il va passer au SF suivant afin que ce dernier se cale sur ce nouveau SF; les SF étant orthogonaux entre eux. Nous avons donc implémenté l'envoi de ce message d'alerte appelé "changement" dans le code qui se répète pendant 10 secondes entre chaque changement de SF.

Code du récepteur

Le code du récepteur permet de recevoir les paquets envoyés par l'émetteur et de les traiter. Pour chaque paquet nous allons regarder le SF et le CR envoyés, et modifier au besoin le paramétrage du récepteur. Et on se sert de ces valeurs pour garder nos valeurs en mémoire. En effet, on utilise une librairie pour se servir d'un dictionnaire. La clé est la combinaison du SF et du CR tandis que la valeur correspond au nombre de fois qu'on a reçu un paquet avec ce paramétrage. Cette valeur est donc incrémentée à chaque nouvelle réception.

Consommation d'énergie et Time On Air

Comme on n'a pas pu mesurer la consommation énergétique à chaque envoi, on a décidé de calculer le Time On Air. C'est un des facteurs principaux de la consommation d'énergie. Effectivement plus le Time On Air est élevé, plus la consommation sera importante. On est donc allé chercher dans la datasheet les formules pour le calculer :

- Le temps du payload :

$$T_{payload} = n_{payload} \times T_s$$

$$n_{payload} = 8 + \max\left(\left\lceil \frac{(8PL - 4SF + 28 + 16CRC - 20IH)}{4(SF - 2DE)} \right\rceil (CR + 4), 0\right)$$

avec

- Le temps du préambule :

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4,25)T_{sym}$$

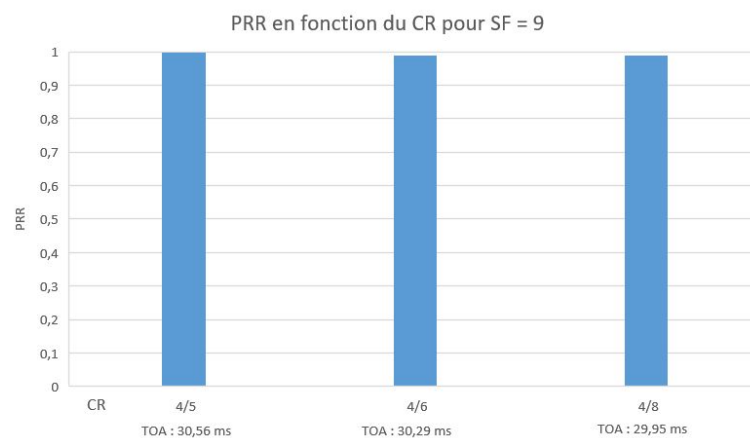
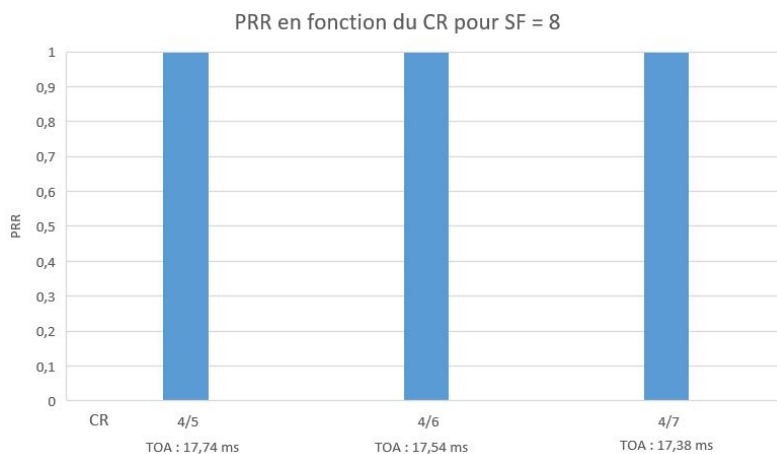
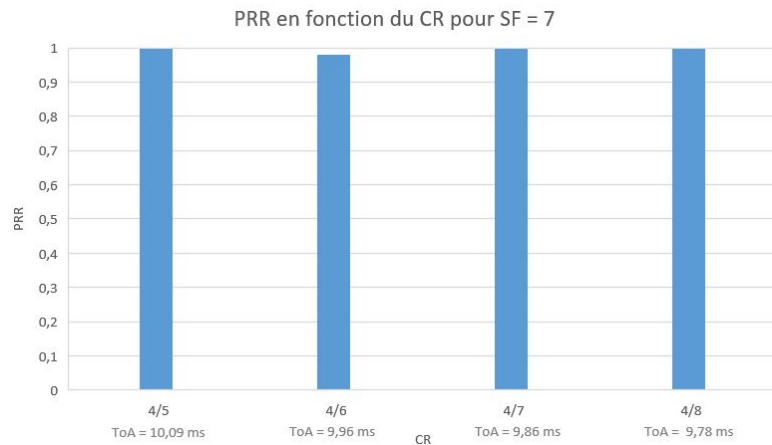
- Le temps dans l'air :

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload}$$

On a alors utilisé les valeurs se trouvant dans les registres des modules pour le mesurer selon les différents SF et le CR utilisés.

Résultats

Nous avons établi un diagramme pour chaque SF testé, il se compose du Packet Reception Rate en fonction des différents Coding Rate. En dessous de chaque Coding Rate, on retrouve le Time On Air associé au message :



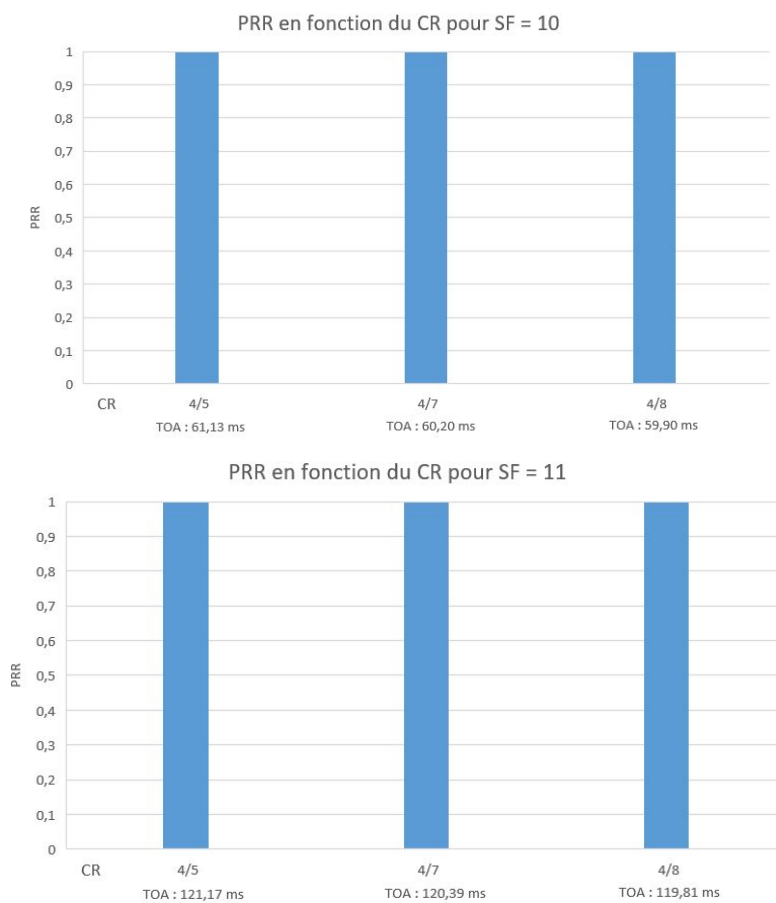


Figure 2 : Diagrammes du PRR en fonction du CR pour chaque SF testé

Il y a plusieurs remarques à faire sur nos résultats.

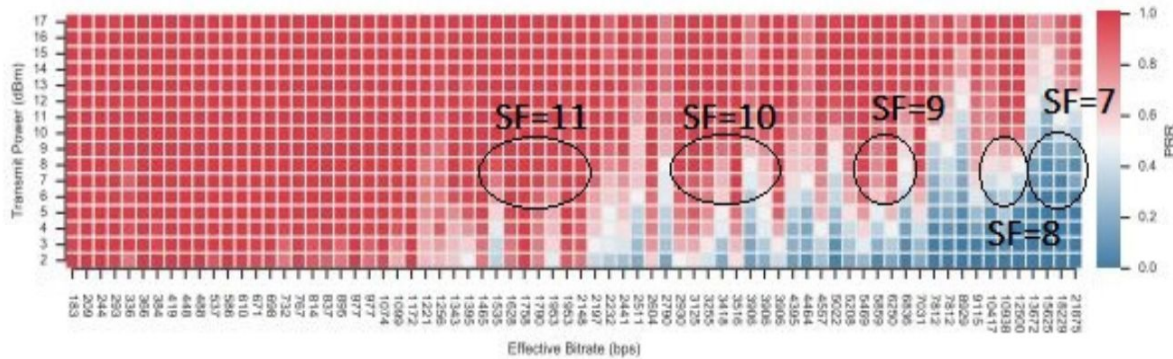
Tout d’abord, nous avons eu des difficultés à capter les messages pour certaines combinaisons de CR et de SF, comme pour le problème du changement de puissance d’émission, nous n’avons pas trouvé d’explication rationnelle à ce défaut. Nous avons donc décidé de ne représenter que les données exploitables sur nos différents graphiques.

Ensuite nous remarquons que toutes nos données ont été reçues à 100% par le récepteur, et ce, quelle que soit la combinaison (SF; CR) utilisée.

Exploitation et conclusion

Nous pouvons déduire plusieurs informations de ces résultats.

La première est que le setup de notre expérience n’est pas approprié puisque même la transmission ayant le plus petit coût en énergie est parfaitement reçue par le récepteur. Il faudrait reproduire l’expérience dans des plus “mauvaises” conditions de transmission pour établir à partir de quelle quantité de ressources allouées à la communication (temps, énergie...) cette dernière est acceptable et le meilleur compromis est trouvé.



La deuxième information que nous en avons déduite découle de la comparaison avec les résultats du papier. Pour cette comparaison, nous avons retracé sur la heatmap présentée par le papier les conditions de nos propres expérimentations, matérialisées par des cercles.

Sur cette heatmap, la couleur rouge représente des transmissions très bien reçues par le récepteur ($PRR > 90\%$) tandis que les carrés bleus représentent des transmissions mal reçues ($PRR < 40\%$). Nos résultats divergent donc de ceux du papier dans le sens où dans les SF 7, 8, 9 et 10 nos paquets sont parfaitement reçus par le récepteur ce qui n'est pas le cas du tout dans le papier étudié où la distance émetteur-récepteur est pourtant semblable à la nôtre. Nous en avons conclu que la différence qui impliquait cette rupture dans les résultats provenait des conditions de Line of Sight. En effet, notre expérience s'est déroulée plus ou moins dans des conditions de LoS avec peu d'obstacles séparant nos dispositifs. Dans le cas du papier, l'émetteur se situait à un certain étage d'un bâtiment tandis que le récepteur était dans une pièce de type sous-sol, ce qui rend la liaison beaucoup moins robuste et explique ces résultats.

En définitive, nous avons relevé bon nombre d'améliorations à mettre en oeuvre sur notre expérience pour qu'elle soit plus concluante: des conditions expérimentales moins "favorables" pour la transmission, une mesure directe de la consommation d'énergie, un nombre plus important de paquets transmis pour chaque combinaison testée et enfin un nombre de paramètres, composant les combinaisons, plus important. Cependant, notre expérience a permis de mettre en exergue l'influence importante du paramètre de Line of Sight sur les transmissions qui change drastiquement la fiabilité de la liaison. De plus, nous avons pu mettre en oeuvre dans le cadre de ce projet, une démarche expérimentale valide qui peut être réutilisée avec les améliorations que nous préconisons afin d'obtenir des résultats plus concluants.