

Rapport BE Dimensionnement d'interface radio LORA

Evan Tissot, Alexandre Tanem, Lisa-Marie Mandouj, Lucas Radureau

Ce rapport présente nos résultats obtenus suite à nos travaux de dimensionnement d'interface radio LORA dans le cadre de la quatrième année d'ingénieur spécialité Systèmes Communiquant à l'INSA Toulouse.

I. INTRODUCTION

Notre travail s'est déroulé en 2 parties distinctes. La première était une étude théorique du principe de fonctionnement de LoRa et ses réglementations. La seconde partie était une étude pratique consistant principalement en la caractérisation d'un module radio et à l'estimation des paramètres d'installation à choisir pour respecter le cahier des charges d'une étude de cas donnée.

L'organisation de ce rapport suit cette logique.

II. PRÉSENTATION DE L'INTERFACE RADIO LORA

A. Description de l'interface radio

LoRaWAN est un protocole de télécommunication radio utilisé dans l'internet des objets (IOT). Il permet la connexion bas débit d'objets à faible consommation électrique communiquant selon la technologie LoRa.

Les objets sont connectés à l'Internet via des gateways LoRa.

Les principales performances attendues pour un réseau LoRa sont une autonomie des noeuds de plusieurs années, une très longue portée (jusqu'à 15 km), des débits faibles et un nombre important de noeuds.

Les fréquences utilisées par LoRa sont aux alentours de 868 Mhz en Europe.

En modifiant des paramètres tels que le Spreading Factor, la Bande Passante, le taux de code et la taille du header des paquets, il est possible de modifier le débit, la portée et la consommation du réseau LoRa.

Les interférences évoluent également en fonction de ses paramètres et donc les probabilités de collision aussi.

B. Fonctionnement général

La modulation utilisée est la modulation LoRa, qui est à étalement de spectre de type Chirp Spread Spectrum (CSS). L'avantage de ce type de modulation est qu'il permet de transmettre du signal en dessous du seuil de bruit et d'être capable de le récupérer correctement en réception. Cela permet notamment d'augmenter la portée du réseau et améliorer l'immunité aux effets de propagation multi-path et à l'effet Doppler.

Le Spreading Factor, la Bande Passante du signal chirp utilisée et le coding rate permettent de modifier la modulation.

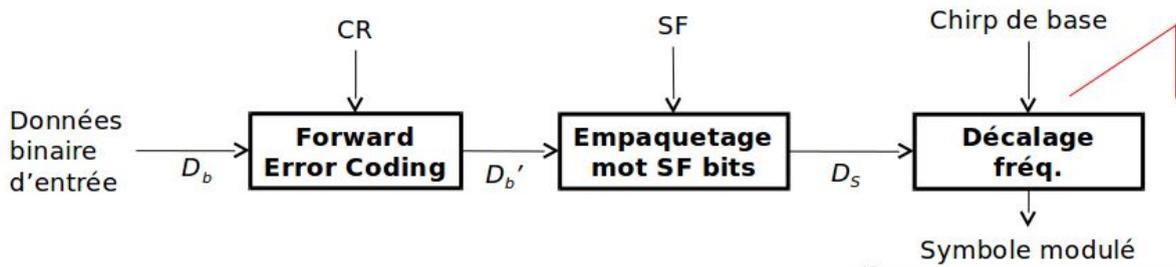


Figure 0 - Illustration du fonctionnement de la modulation Lora - Source : alexandre-boyer.fr

Par exemple, en augmentant le SF on améliore la portée du signal émis. En augmentant le CR on ajoute de la robustesse au signal face aux erreurs.

Il est donc plus logique de paramétrer les noeuds les plus éloignés de la gateway avec un SF plus élevé que ceux proches de la gateway.

Deux noeuds peuvent communiquer avec le gateway en même temps à la même fréquence à condition qu'ils utilisent un SF différent. IL faut cependant tenir compte de la réjection d'interférence co-canal.

Pour augmenter la capacité du réseau on peut bien sûr augmenter le nombre de gateway, ou bien augmenter le nombre de bande de fréquence sur lequel on émet.

La limitation de la capacité du réseau se trouve dans les interférences.

III. CAS D'ÉTUDE

Le projet étudié est le développement d'une solution de stationnement intelligent sur le campus de Ranguel basé sur un réseau LoRa.

Les parkings du campus sont équipés de nœuds LoRa détectant la présence de véhicule et transmettant l'état de la place (libre ou occupé) à une ou des stations de base.

La station de base se charge ensuite de transmettre les données reçus à un serveur via une connexion IP.

A. Paramètres par défaut du réseau LoRa étudié

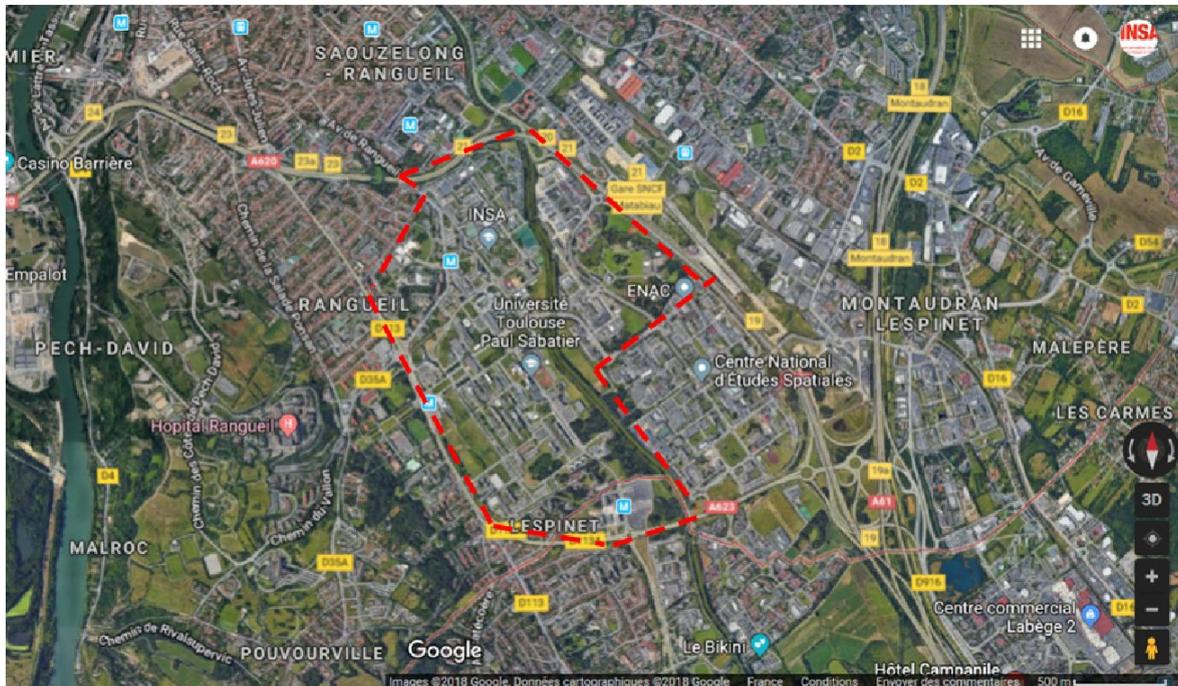


Figure 1 -Aire de service

L'aire de la surface de service est de 2.92 km carrés.

On considère 4000 places de parking dans l'aire avec un taux de rotation de 4 véhicules par place et par jour.

Initialement, il y a une seule gateway placée sur le toit du GEI à l'INSA qui émet toutes les 5 secondes un message en mode broadcast de 12 octets.

Les objectifs de couverture et d'interférences intra-systèmes sont les suivants:

- 100% de couverture dans la zone avec 90% de probabilité.
- Risque de collision inférieur à 10%.

B. Présentation du module radio LoRa et de la gateway

Le transceiver radio LoRa est le modèle *SX1272* développé par *Semtech* qui peut opérer sur la bande 860-1000 MHz en modulation LoRa, avec une sensibilité de -137dBm.

La gateway est paramétrée de la manière suivante :

Fcentrale = 868.1 MHz
BP = 125 kHz
SF=12
CR=%

C. Présentation du matériel de mesure sur terrain

Le transceiver radio SX1272 est dans notre cas monté dans un module radio élémentaire Libelium comprenant notamment le transceiver, un oscillateur à quartz, un réseau d'adaptation de la sortie RF et des connecteurs pour le monter sur un Raspberry Pi ou une carte Arduino.

Nous disposons également d'un module GPS Adafruit nous permettant de récupérer les coordonnées GPS de là où nous sommes de façon à situer sur un plan chaque mesure que nous prenons.

Nous utilisons une carte Arduino Mega 2560 que nous interconnectons avec les 2 modules via une carte d'interconnexion.

Le programme Arduino que nous avons fait nous permet de récupérer constamment chaque paquet LoRa émis par la gateway et d'envoyer au PC via le port série les informations suivantes :

- RSSI_packet
- SNR
- Code du paquet (Valide ou non)
- Coordonnées GPS (Latitude-Longitude-Altitude)

IV. RÉSULTATS DES MESURES SUR TERRAIN

Cette partie présente les résultats de mesure de portée radio de la station de base dans l'aire de service avec le matériel de mesure présenté précédemment.

A. Présentation des résultats de mesure

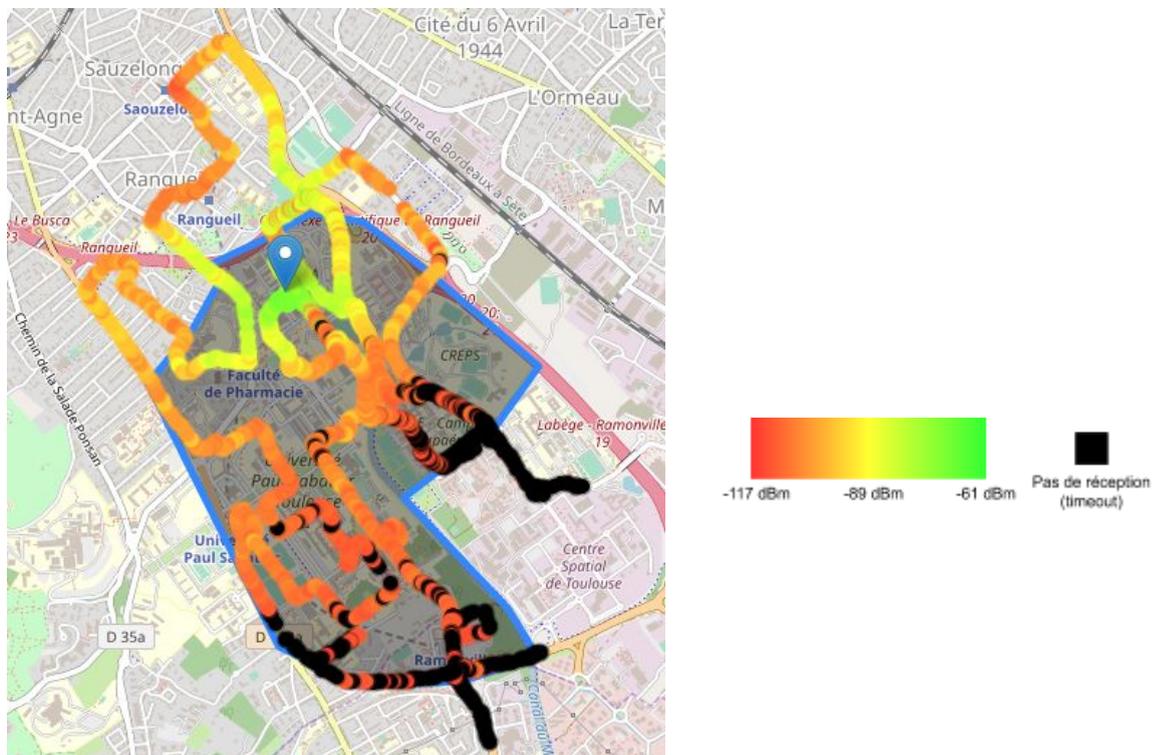


Figure 2 - Carte présentant les mesures réalisées du RSSI_packet reçu

L'ensemble des mesures que nous avons obtenu ont été placées sur une carte (cf figure 2). Nous avons choisi de représenter le RSSI_PACKET reçu car c'est une mesure qui fixe la portée d'émission d'un signal. Sans grande surprise, le RSSI PACKET est maximal lorsque l'on se trouve proche du GEI et il décroît progressivement lorsqu'on s'éloigne. On peut remarquer qu'à distance égale, la valeur n'est pas forcément la même. Par exemple, le RSSI packet est bien supérieur à Saouzelong que vers le sud du Creps alors que les deux zones sont plus ou moins à même distance du GEI. Cette différence peut notamment s'expliquer par les caractéristiques de l'environnement (bâtiments, activités...).

Sur notre carte, on peut remarquer des points noirs qui correspondent à des paquets non reçus. Ils sont majoritairement situés aux bords de la zone délimitée et représentent l'extrême limite de notre portée.

A partir des points collectés, nous avons choisi de tracer l'évolution du RSSI_packet en fonction de la

distance (Figure 3). On observe une tendance générale de la forme $1/x$. Plus on s'éloigne, plus le RSSI décroît jusqu'à tendre vers la limite de la sensibilité de notre récepteur (-137 dBm).

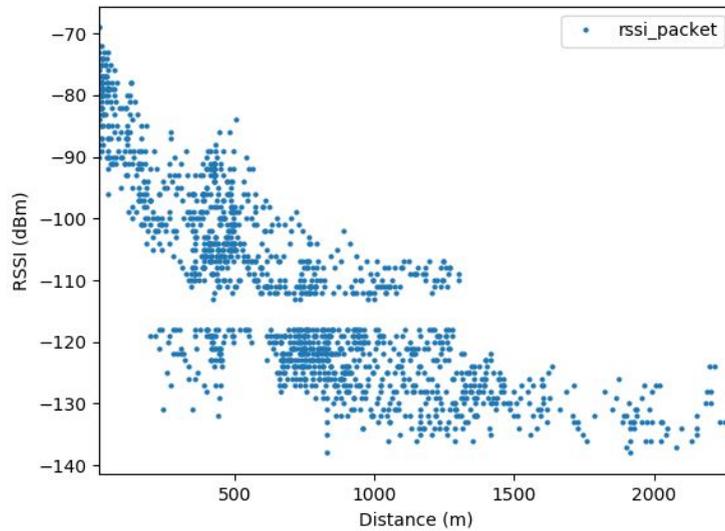


Figure 3 - Graphique d'évolution de la valeur du RSSI_packet en fonction de la distance de l'antenne

On peut utiliser une échelle logarithmique afin d'obtenir une représentation linéaire du rssi_packet en fonction du log de la distance (Figure 4). On remarque en réalité deux parties linéaires, la première de 0 à 200m et la seconde de 200m à 2000m. Les droites de régression linéaire ont été tracées en rouge et leurs équations sont données ci-dessous. Ceci constitue notre modèle de propagation.

$$y1 = -17.6 * \log(x) - 67.2 \text{ // Droite de régression linéaire de 0 à 200m}$$

$$y2 = -41.2 * \log(x) - 16.4 \text{ // Droite de régression linéaire de 200 à 2000m}$$

Cette représentation mathématique nous permet de pouvoir prédire quelle sera la valeur du rssi_packet pour une distance donnée. On peut remarquer que nous avons tracé le RSSI en dB afin de s'affranchir de la puissance d'émission de l'antenne ce qui nous permet d'offrir une modélisation générale.

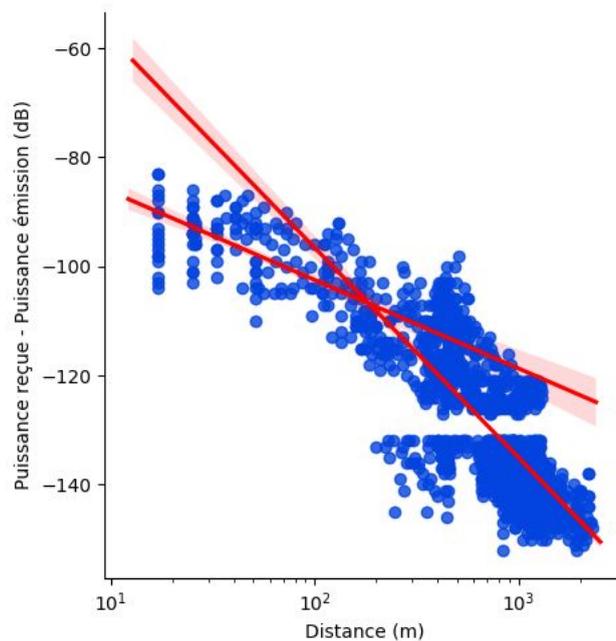
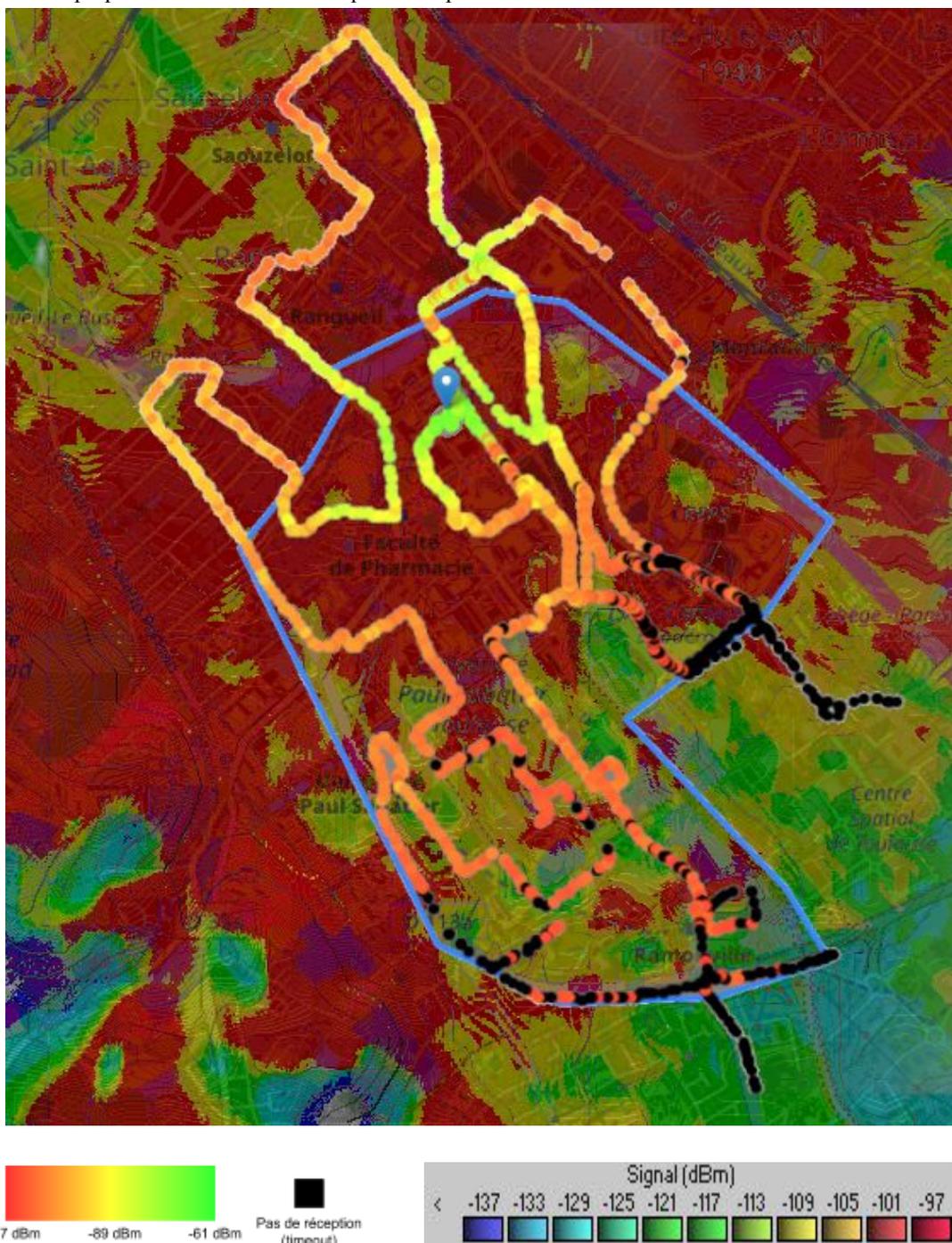


Figure 4 - Graphique d'évolution de la valeur du RSSI_packet en fonction de la distance de l'antenne et la droite de régression linéaire.

B. Comparaison avec l'étude théorique

Nous avons mené une étude théorique de la puissance reçu sur le logiciel Radio Mobile. La carte suivante présente la superposition de l'étude théorique et des points de mesures.



Échelle des points de mesure

Échelle du modèle théorique (fond de carte)

Figure 5 : Comparaison des points de mesures avec l'étude théorique

Nous constatons une différence importante entre les échelles. Par exemple sur le fond de carte la zone rouge correspond à une puissance de -97 dBm alors que sur les points de mesures les points correspondants (du vert au jaune) ont une valeur de puissance d'environ -90dBm à -61dBm.

En revanche, même si les deux échelles sont "décalées", on remarque dans la zone rouge la quasi totalité des paquets est reçu et dès que l'on sort de cette zone la réception est plus hasardeuse. Cette observation pourrait

nous permettre d'extrapoler pour les zones Nord-Est et Sud-Ouest de la carte pour lesquelles aucun point de mesure n'a été effectué.

V. CHOIX DE DIMENSIONNEMENT DU FUTUR RÉSEAU LoRA

D'après le cahier des charges, nous devons avoir une probabilité de collision inférieure à 10%. Pour calculer cette probabilité, nous utilisons la loi de Poisson puisqu'il s'agit de la loi mathématique qui permet au mieux de modéliser l'arrivée d'un événement sur un intervalle de temps fixe.

Nous rappelons la loi de Poisson : $\forall k \in \mathbb{N}, P(X=k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$

Il y a collision si il y a l'arrivée d'au moins un événement qui correspond à l'émission d'un signal pendant un intervalle de 2 TOA (Time On Air en ms). Ainsi, pour respecter le cahier des charges il faut que $P(X \geq 1) < 10\%$.

$$\Rightarrow 1 - P(X=0) < 10\%$$

$$\Rightarrow 1 - e^{-\lambda} < 0,1$$

Nous devons ensuite trouver le paramètre de cette loi : λ . Nous savons qu'il y a 4000 places de parking et qu'on estime le taux de rotation à 4 véhicules par place. Pour chaque rotation il faut deux messages (un pour dire que la place est libre et un pour dire qu'elle est occupée). En un jour (86400 secondes), $2*4*4000=32000$ messages sont envoyés. Or λ correspond au nombre de messages envoyés sur une période de 2 TOA. Par un simple produit en croix, on trouve $\lambda = \frac{32000*2*TOA}{86400000}$. Ici, nous considérons que tous les noeuds envoient les messages avec le même SF.

Afin de trouver la valeur de TOA, nous avons utilisé un calculateur, ceci est une valeur théorique.

	SF	7	8	9	10	11	12
	TOA (ms)	65,79	111,1	201,73	403,46	724,99	1449,98
1 BF	λ	0,049	0,082	0,149	0,299	0,537	1,074
	proba collision	0,048	0,079	0,139	0,258	0,416	0,658
2 BF	λ	0,024	0,041	0,075	0,149	0,269	0,537
	proba collision	0,024	0,040	0,072	0,139	0,235	0,416
3 BF	λ	0,016	0,027	0,050	0,100	0,179	0,358
	proba collision	0,016	0,027	0,049	0,095	0,164	0,301
4 BF	λ	0,012	0,021	0,037	0,075	0,134	0,269
	proba collision	0,012	0,020	0,037	0,072	0,126	0,235
5 BF	λ	0,010	0,016	0,028	0,052	0,083	0,215
	proba collision	0,009	0,016	0,027	0,050	0,080	0,193

Figure 6 - Probabilité de collision en fonction du nombre de bandes de fréquence

Ces valeurs confirment le fait que plus le SF est important plus la probabilité de collisions augmente. En effet, il faudrait pouvoir avoir 5 bandes de fréquence différentes pour un noeud ayant un SF à 11 et 11 bandes de fréquence pour un SF de 12 pour respecter le cahier des charges. Ceci en considérant qu'il n'y a pas d'interférences entre les messages envoyés sur des bandes de fréquence différentes.

Nous pourrions aussi augmenter le nombre d'antennes pour réduire le nombre de collisions. Cependant il n'est pas possible de considérer qu'il n'y aurait pas d'interférence entre deux zones et cela représenterait un coût financier important.

Dans la configuration actuelle (SF=12 et 1 BF) la probabilité de collision est de 65 % ce qui n'est pas acceptable.

Pour mieux couvrir la zone, nous avons pensé à diverses solutions :

Du côté émetteur :

- Replacer l'antenne plus près du centre de la zone par exemple vers la bibliothèque de Paul Sabatier.
- Placer l'antenne encore plus en hauteur car certains bâtiments sont situés plus hauts que l'antenne. Par exemple l'antenne, placée actuellement sur le toit du GEI n'est pas en visibilité direct avec le sud de la zone à couvrir à cause du bâtiment du GM.
- Utiliser une antenne ayant un meilleur gain.
- Placer une 2ème antenne plus proche de Ramonville et l'ENAC où la réception est actuellement impossible à certains endroits.

Du côté récepteur :

- Utiliser un récepteur plus sensible.

Pour pallier les problèmes de collision :

- Choisir pour chaque noeud un SF cohérent avec la distance séparant le noeud de la gateway et selon les SF déjà utilisés par les noeuds proches.

Nous avons cherché à découper la zone en plusieurs secteurs qui occupent un même SF. Pour savoir quel SF nous pouvons distribuer à un secteur, il est nécessaire de connaître la probabilité que la valeur du rssi_packet soit supérieur au minimum imposé par le SF choisi.

A partir des résultats expérimentaux, nous avons calculé une loi normale pour chaque ensemble de valeurs par palier de 200 mètres. Nous obtenons le graphique ci-dessous. Les probabilités associées sont également disponibles dans les tableaux ci-dessous.

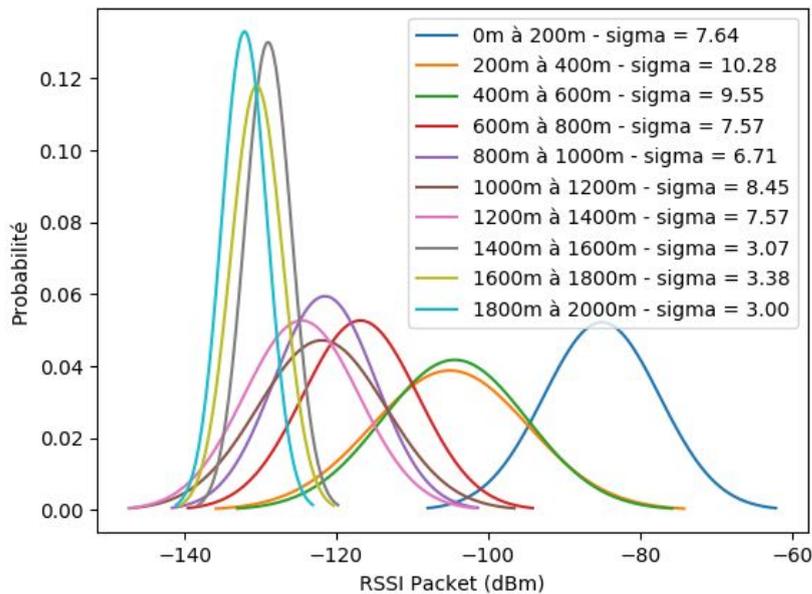


Figure 7 - Distribution statistique du RSSI_Packet pour différents paliers de 200 mètres

	0-200m	200-400m	400-600m	600-800m	800-1000m
p(RSSI < -137)	~0%	~0%	~0%	0.4%	1%

p(RSSI < -134.5)	~0%	~0%	~0%	1%	2.6%
p(RSSI < -132)	~0%	0.4%	0.1%	2%	5%
p(RSSI < -129)	~0%	1%	0.5%	5%	13%
p(RSSI < -126)	~0%	2%	1%	11%	25%
p(RSSI < -123)	~0%	4%	2%	20%	41%

	1000-1200m	1200-1400m	1400-1600m	1600-1800m	1800-2000m
p(RSSI < -137)	4%	5%	0.4%	3%	5%
p(RSSI < -134.5)	6,8%	9,5%	3,6%	12%	21%
p(RSSI < -132)	12%	16%	16%	32%	51%
p(RSSI < -129)	20%	28%	50%	67%	84%
p(RSSI < -126)	31%	42%	83%	90%	97%
p(RSSI < -123)	44%	58%	97%	98%	99%

A l'aide de ces chiffres, nous avons identifié trois secteurs. Le premier secteur de 0 à 600 mètres peut fonctionner avec le SF=10 car en moyenne, la probabilité que le RSSI soit inférieur à -132dBm est quasi-nulle.

Un deuxième secteur de 600 mètres à 1000 mètres fonctionnant avec le SF = 11. Idem, la probabilité que le RSSI_packet soit inférieur au seuil imposé par le SF est assez faible. Et un dernier secteur de 1000 mètres à 2000 mètres fonctionnant avec un SF = 12.

Notre zone peut donc être découpée en trois secteurs (représentés sur la figure 7, intersection entre la zone foncée et le cercle). Le premier et le second secteur ont une superficie d'environ 0,75 km². Le troisième secteur a une superficie de 1,1km².

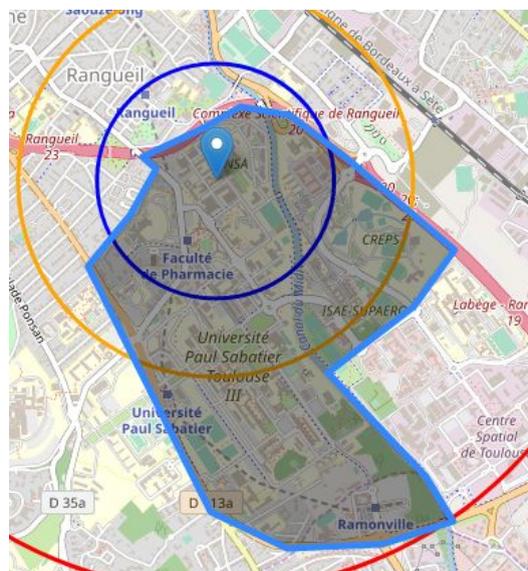


Figure 7 - Découpe de la zone en 3 secteurs

Si on suppose que les places sont réparties équitablement sur l'ensemble de la zone. Le secteur 1 et le secteur 2 couvrent chacun environ 1200 places. Le secteur 3 couvre 1700 places. A partir de ce moment, il est possible de calculer la probabilité de collision dans chaque secteur comme fait précédemment dans le début de la partie

VI. CONCLUSION

Ce projet nous a permis de faire face à une problématique concrète qui consistait à déterminer si une zone pouvait être entièrement couverte avec un minimum de perte à l'aide d'un système d'émission donné. Nous avons dû travailler sur la conception d'un appareil de mesure et mettre au point une stratégie pour la campagne de mesure. Les résultats ont par la suite été analysés et exploités pour répondre à la problématique.

Globalement, les paquets peuvent être réceptionnés n'importe où dans la zone (hormis aux extrêmes limites). La puissance du signal reçue varie principalement en fonction de la distance de l'antenne émettrice et à partir des mesures nous avons mis en place un modèle de propagation. En parallèle, une analyse théorique a été menée afin de déterminer la probabilité de collision des messages pour différents scénarios (SF, plusieurs bande de fréquence). Il a été montré que le mode actuel (SF = 12, 1 bande de fréquence) ne permettait pas de répondre au cahier des charges car la probabilité de collision est trop importante. Nous avons proposé différentes solutions : remplacement de l'antenne émettrice, utilisation d'un récepteur plus sensible, utilisation d'un SF différent en fonction de la distance. Pour cette dernière solution, une étude à partir des résultats expérimentaux a été réalisée et des correspondances entre SF et distance ont été proposées.