

LoRA™ Radio Testbed

Ibrahim Amadou & Brandon Foubert & Nathalie Mitton

Inria Lille – Nord Europe

firstname.lastname@inria.fr

August 2019

1 Experimental TESTBED

A typical LoRa-based network communication, which is defined in the LoRaWAN standard [1] by LoRa-Alliance, is based on a star-of-stars topology in which gateways relay messages between end-devices and the network core. In this work, we only focus on the device-to-device communication because the network infrastructure, such as gateway, has no influence on the device's wireless link characteristics. Two B-L072Z-LRWAN1 LoRA®/Sigfox™ Discovery kit devices are used during the experiment. This device contained an onboard based on Semtech SX1276 transceiver chip. We adapt an existing open source software module, called *SX1276 Generic PingPong*, to send a customized *Beacon*. The devices are respectively defined as transmitter (e.g., noted as **TX**), for the initiator of PingPong process also known as the *Ping* transmitter, and receiver (e.g., noted as **RX**) for the device that sends the response (i.e., *Pong message*) to the initiator *beacon*. Table 3 summarizes our experimental Setup. These Parameters are chosen regarding to a LoRaWAN specification for Europe [1, 2].



FIGURE 1 – LoRa transceiver B-L072Z-LRWAN1

Parameters	Values
Spreading Factor	[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]
Transmission power	+14dBm (+17/+20dBm)
Set of Frequencies (mHz) / Channel	(868.0, 0), (868.1, 1), (868.3, 3), (868.5, 5)
Bandwidth (kHz)	125 - 250 - 500
Coding Rate	[(1 : 4/5), (2 : 4/6), (3 : 4/7), (4 : 4/8)]

TABLE 1 – LoRa Radio Parameters for Europe

LoRaWAN Data Rates

The Table 2 summarizes the combination of the above parameters.

Data Rate	Modulation	SF	BW	Physique bit rate (bit/s)
0	LoRa	12	125	250
1	LoRa	11	125	440
2	LoRa	10	125	980
3	LoRa	9	125	1760
4	LoRa	8	125	3125
5	LoRa	7	125	5470
6	LoRa	7	250	11000
7	FSK 50 kbps			50000

TABLE 2 – Data rate

Modulation	SF	Bandwidth (BW)	Coding Rate	Transmission Power	Frequency
LoRa	7 - 12	125kHz & 250kHz	4/5	+14dBm	868.1 Mhz

TABLE 3 – The Experiment parameters

2 Scenarios

2.1 Peri-urbain areas between Building A & B

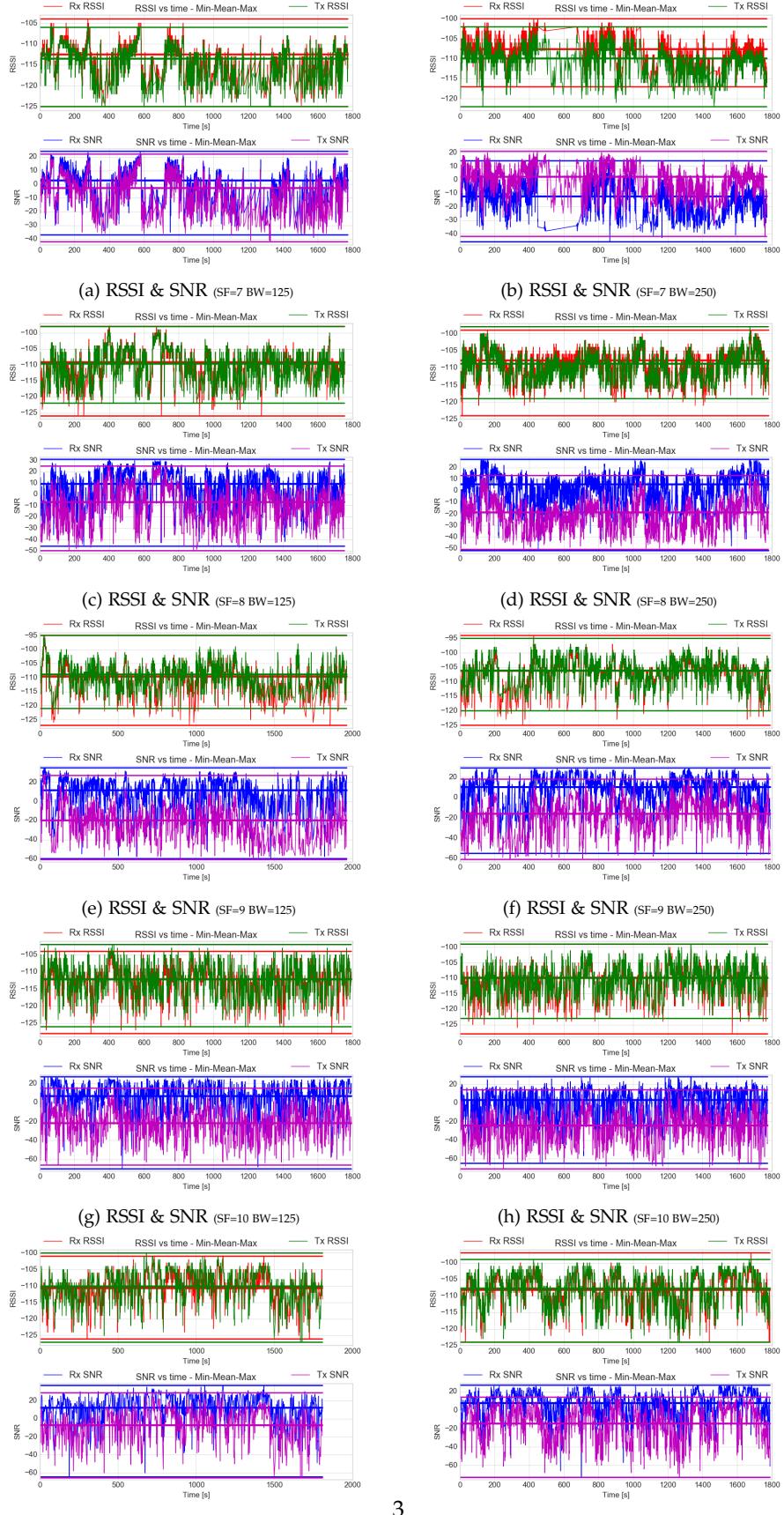


FIGURE 2 – Peri-urbain areas between Building A & B

2.1.1 Results Analysis

RSSI & SNR

Delivery Ratio



Spreading Factor	Bandwidth	Average		Variance		St. Deviation (SD)	
		Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)
7	125kHz	-113.52	-112.50	12.00	9.83	3.46	3.13
	250kHz	-109.91	-107.59	8.16	9.63	2.85	3.10
8	125kHz	-109.62	-109.14	22.19	16.83	4.71	4.10
	250kHz	-108.80	-107.82	12.46	9.81	3.53	3.13
9	125kHz	-108.90	-109.64	21.30	18.14	4.61	4.26
	250kHz	-106.10	-106.21	17.89	13.51	4.23	3.67
10	125kHz	-112.19	-112.08	24.62	15.75	4.96	3.96
	250kHz	-109.95	-109.80	20.29	18.00	4.50	4.24
11	125kHz	-110.12	-110.74	26.54	19.32	5.15	4.39
	250kHz	-107.75	-108.20	26.88	20.07	5.18	4.48

TABLE 4 – RSSI Statistics

Spreading Factor	Bandwidth	Average		Variance		St. Deviation (SD)	
		Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)
7	125kHz	-2.78	2.74	126.52	110.27	11.24	10.50
	250kHz	2.14	-12.38	74.39	93.24	8.62	9.65
8	125kHz	-6.89	9.21	210.53	168.19	14.50	12.96
	250kHz	-18.87	5.41	124.75	118.29	11.16	10.87
9	125kHz	-19.92	11.56	247.46	197.47	15.73	14.05
	250kHz	-16.07	10.19	206.28	149.15	14.36	12.21
10	125kHz	-21.85	6.64	244.95	217.75	15.65	14.75
	250kHz	-24.41	3.00	230.37	192.22	15.17	13.86
11	125kHz	-7.48	12.08	313.24	246.80	17.69	15.71
	250kHz	-14.63	7.60	309.81	204.56	17.60	14.30

TABLE 5 – SNR Statistics

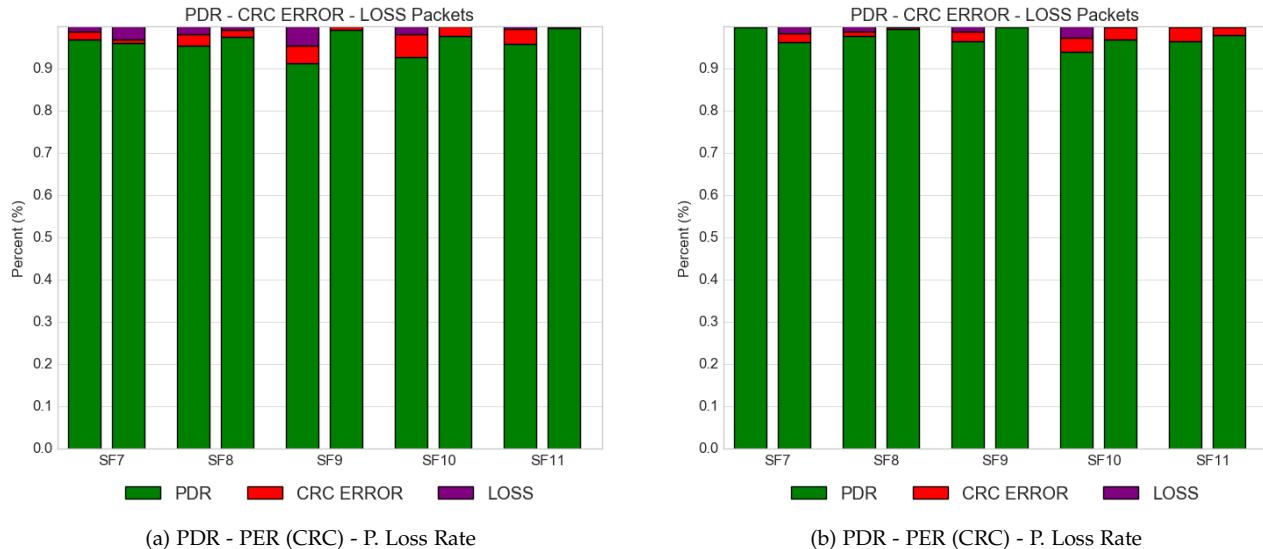


FIGURE 4 – Packet delivery ratio (PDR), Packet Error Rate (PER CRC) and Packet Loss rate

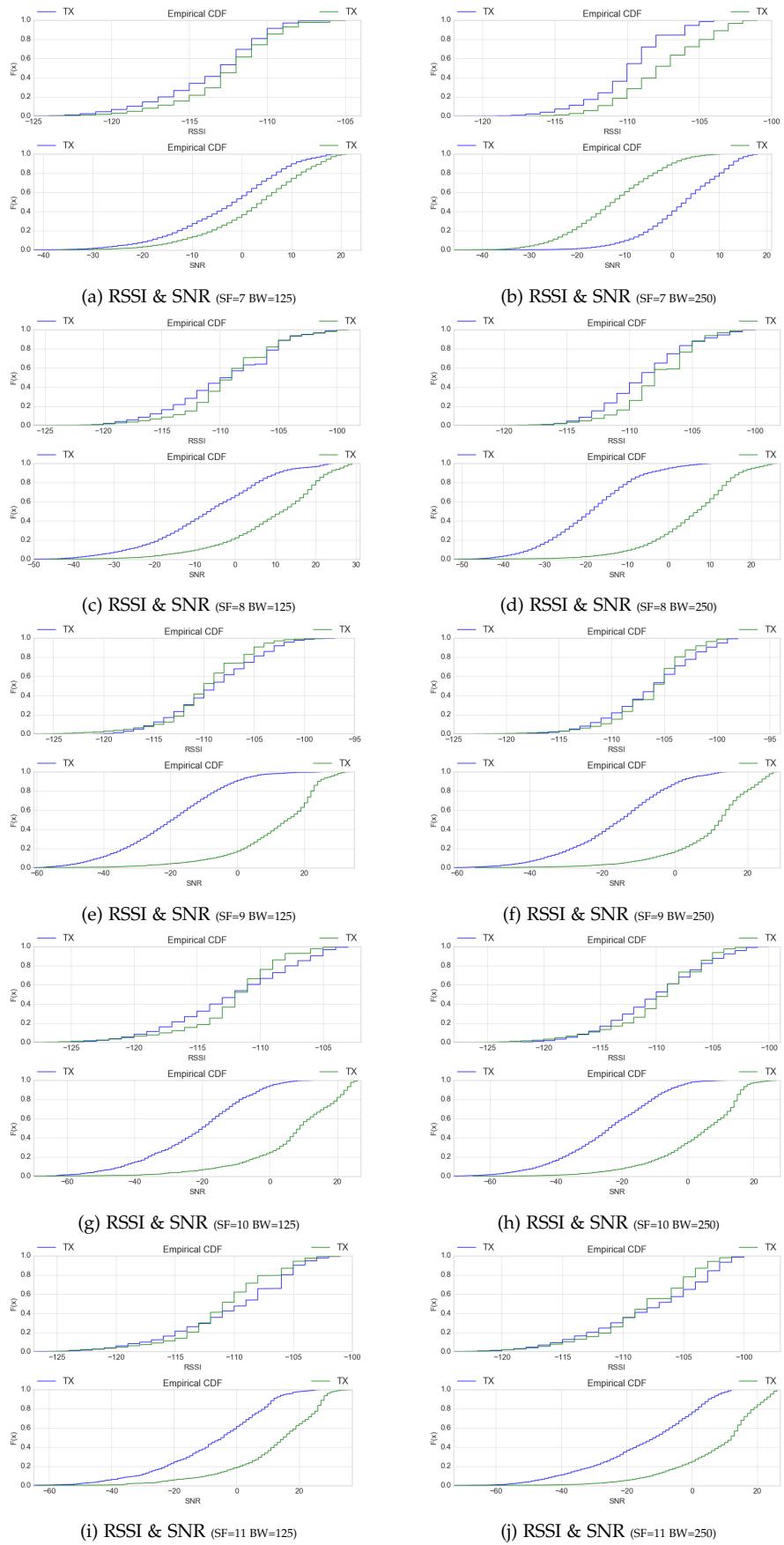


FIGURE 5 – RSSI & SNR Empirical CDF for the Transmitter and Receiver

2.2 Peri-urban area with mobile of receiver



FIGURE 6 – Packet delivery ratio (PDR), Packet Error Rate (PER CRC) and Packet Loss rate

2.2.1 results Analysis

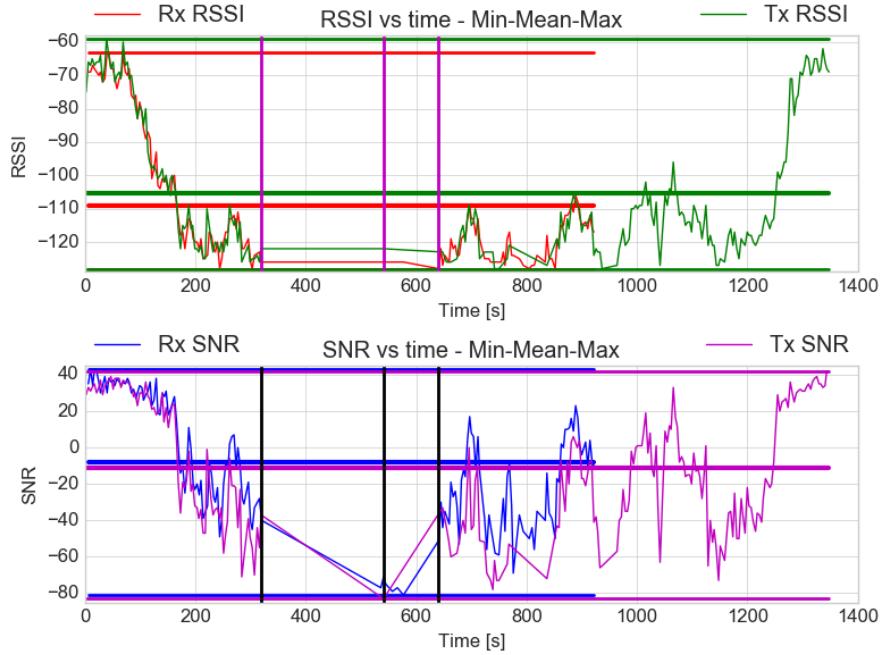


FIGURE 7 – RSSI & SNR over Time for both transmitter and Receiver (Mobile Scenario)

Spreading Factor	Average		Variance		St. Deviation (SD)		Recev. (RX)
	Bandwidth	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	
12	125kHz	-105.35	-108.97	412.05	389.89	20.29	19.74
	250kHz	-	-	-	-	-	-

TABLE 6 – RSSI Statistics

Spreading Factor	Average		Variance		St. Deviation (SD)		Recev. (RX)
	Bandwidth	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	
12	125kHz	-11.39	-8.26	1150.38	1078.06	33.91	32.83
	250kHz	-	-	-	-	-	-

TABLE 7 – SNR Statistics

2.3 High density urbain area

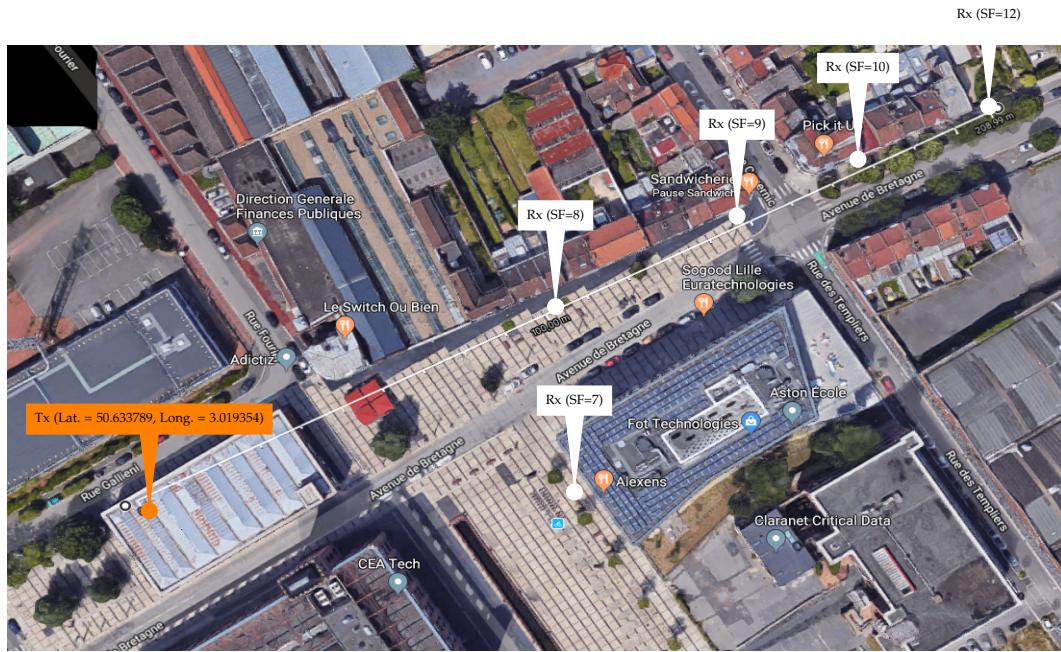


FIGURE 8 – High density urbain area

Spreading Factor	7	8	9	10	11	12
Max. Comm. Range (~m)	104.22	122.91	164.98	184.49	208.30	208.96

TABLE 8 – Communication Range versus Spreading Factor

2.3.1 results Analysis

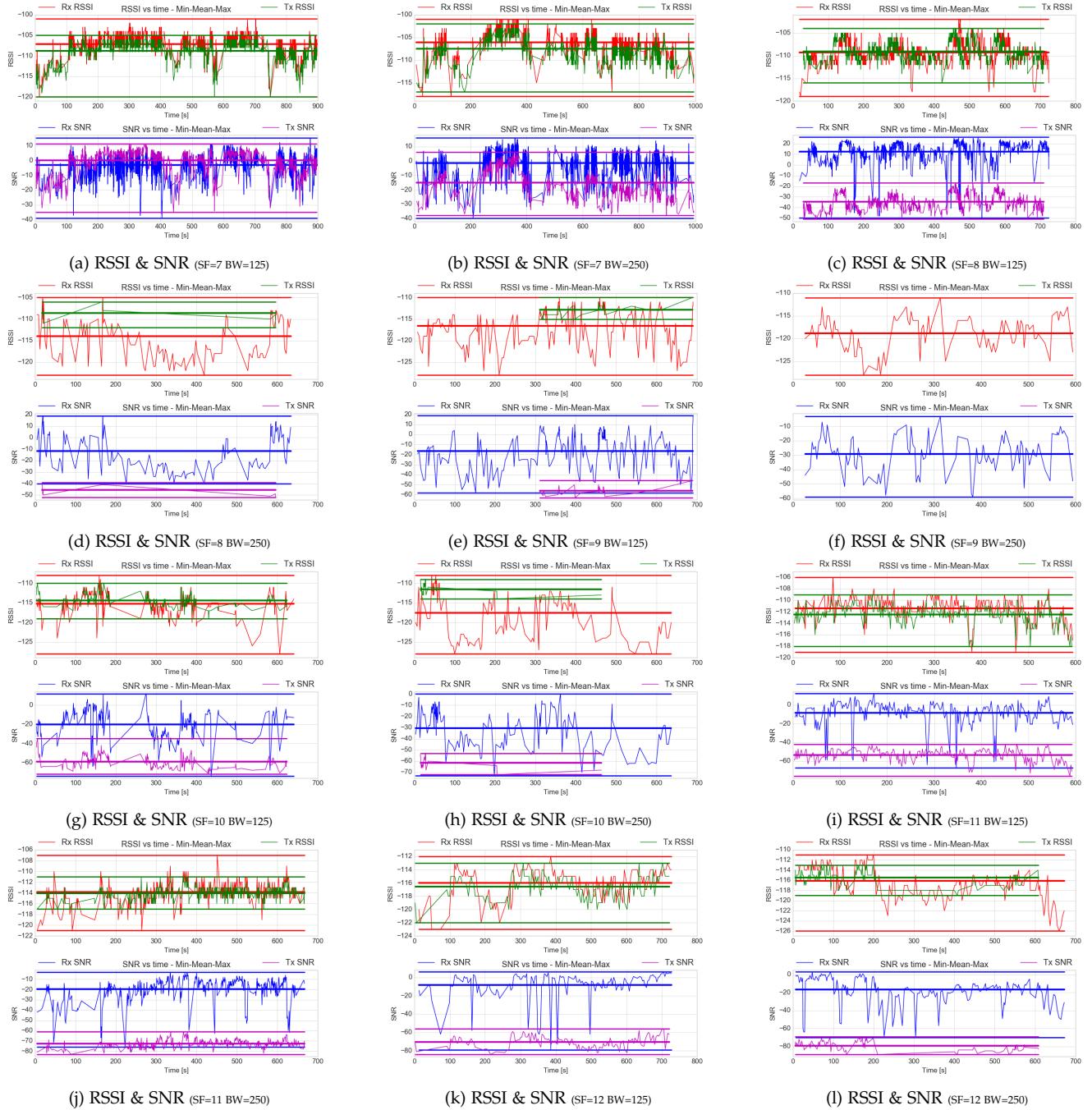


FIGURE 9 – RSSI & SNR over Time for the Transmitter and Receiver

Spreading Factor	Average		Variance		St. Deviation (SD)		Recev. (RX)
	Bandwidth	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	
7	125kHz	-108.77	-107.12	5.18	6.04	2.27	2.45
	250kHz	-107.46	-106.05	6.44	5.87	2.53	2.42
8	125kHz	-109.06	-109.28	4.41	4.85	2.10	2.20
	250kHz	-108.61	-114.01	2.69	23.44	1.64	4.84
9	125kHz	-112.84	-116.54	1.15	19.10	1.07	4.37
	250kHz	0.0	-118.88	0.0	12.38	0.0	3.51
10	125kHz	-114.40	-115.28	2.97	8.36	1.72	2.89
	250kHz	-111.5	-117.54	1.93	31.72	1.39	5.63
11	125kHz	-112.48	-111.42	2.82	4.17	1.67	2.04
	250kHz	-114.02	-113.84	1.38	3.94	1.17	1.98
12	125kHz	-116.58	-115.98	2.78	5.00	1.66	2.23
	250kHz	-115.48	-116.11	2.05	9.06	1.43	3.01

TABLE 9 – RSSI Statistics

Spreading Factor	Average		Variance		St. Deviation (SD)		Recev. (RX)
	Bandwidth	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	Recev. (RX)	Trans. (TX)	
7	125kHz	0.034	-3.11	45.30	50.91	6.73	7.13
	250kHz	-15.09	-1.42	87.64	67.06	9.36	8.18
8	125kHz	-34.59	12.46	49.88	116.64	7.06	10.80
	250kHz	-45.69	-11.67	17.75	281.34	4.21	16.77
9	125kHz	-55.94	-16.73	13.74	325.33	3.70	18.03
	250kHz	0.0	-29.23	0.0	154.01	0.0	12.41
10	125kHz	-58.95	-20.15	44.75	229.85	6.68	15.16
	250kHz	-61.59	-30.47	19.80	285.80	4.45	16.90
11	125kHz	-53.62	-8.42	39.56	159.51	6.28	12.62
	250kHz	-72.64	-19.59	15.76	140.02	3.97	11.83
12	125kHz	-70.39	-8.40	38.61	230.24	6.21	15.17
	250kHz	-79.13	-16.44	24.82	215.41	4.98	14.67

TABLE 10 – SNR Statistics

Packet Delivery Ratio

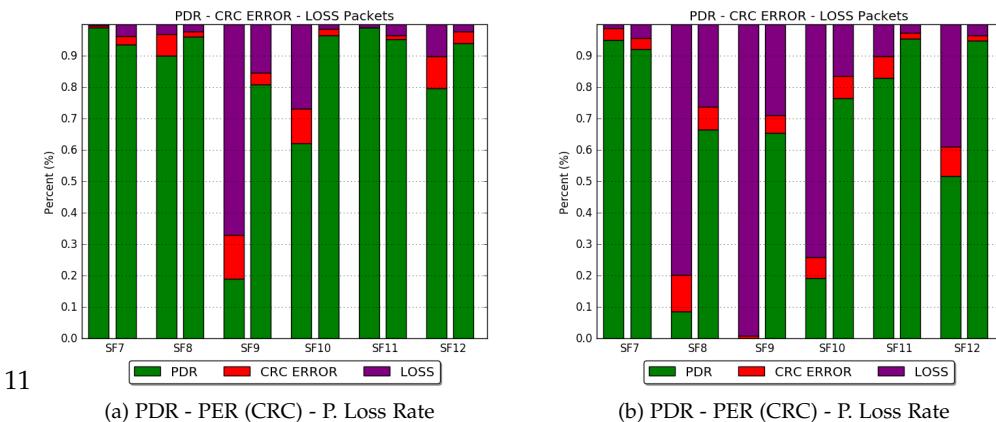


FIGURE 10 – Packet delivery ratio (PDR), Packet Error Rate (PER CRC) and Packet Loss rate

3 Conclusion Remarks

Cette section resume les conclusions de l'ensemble des résultats présentés dans cette étude. Dans l'objectif primaire du projet, cette étude avait pour but d'explorer la faisabilité un système de localisation *outdoor* à partir de la technologie LoRATM tout en tenant compte des contraintes du projet dont l'une d'elles est l'exploitation, uniquement, des postes sources¹. Bien qu'ayant jamais fait cas de cette contrainte précédemment, nous nous sommes implicitement toujours servis de cette dernière. Pour réaliser cet objectif, nous allons dans un premier temps étudier les caractéristiques des signaux ; afin de mesurer la pénétration des signaux dans différents milieus de propagation, la stabilité des propriétés des signaux, et leur robustesse ; qui sont des facteurs déterminants pour tout système de géolocalisation par radio fréquence. En plus ces aspects, nous allons également mesurer la capacité de réception des messages échangés (i.e. Paquet) et la portée radio, ces dernières métriques sont aussi déterminantes que les premières. En outre, pour géo-localiser d'un objet, il faut être en mesure de recevoir des balises en provenance d'ancre avec un seuil raisonnablement supérieur ou égal à 80% au vu des contraintes de *duty cycle* [3] de la bande de fréquence.

Pour réaliser ces études, nous avons opté pour trois scénarios distincts, dont deux se sont faits en milieu péri-urbain et un dernier en milieu urbain dense. Ce dernier scénario reflète au mieux les types d'environnement visés dans une ville (e.g. comme Lille), où la densité des postes sources est un peu plus élevée qu'en milieu rural. Par conséquent, la portée entre deux postes sources est plus courte et tournerait aux alentours de 1.45km à 2km.

Si dans les deux premiers scénarios, on observe un signal radio stable, robustesse et semblable entre les deux cartes LoRA qui communiquent avec un taux de réception des paquets plus ou moins supérieur à 80%, dans le troisième scénario ces propriétés ne s'observent réellement pas. En outre, on observe que dans ce scénario la distance maximale atteignable entre les deux cartes ne dépasse guère, environ, 210m contrairement au second scénario, où la mobilité de la seconde carte a été introduite, qui nous permet d'atteindre une portée de 1.12km. Au regard des contraintes du projet exposées, ci-dessus, même si nous disposons d'une passerelle émettant à sa puissance maximale autorisée par la législation européenne, l'objectif d'avoir une couverture radio connexe est difficilement réalisable uniquement avec les emplacements des postes sources disponibles. Bien qu'il est important de noter que la position (i.e. La hauteur et Intérieur/extérieur du bâtiment) de la carte a une grande influence sur la portée radio de couverture donc la probabilité de réception des paquets. Ceci a été observé sur des tests qui ne sont pas répertoriés dans cette étude. Malgré cela, le rallongement de la portée radio de communication ne dépassera pas tout au plus quatre (voire 5 fois) fois la valeur actuelle [4, 5]. La principale limitation de la technologie LoRA est sa capacité de pénétration qui est fortement restreinte en milieu urbain alors qu'en environnement libre de propagation elle peut dépasser toutes les attentes [6].

En combinant ces données avec ceux de la littérature et les contraintes du projets, on peut conclure qu'il sera très difficile à ce stade de pouvoir exploiter cette technologie pour réaliser un système de géolocalisation précis. En outre, vu la largeur de la bande passante de 125kHz en tenant en compte de la capacité d'un récepteur à recevoir un signal avec des composantes à trajets multiples et à pouvoir différencier entre deux longueurs de chemin différentes est proportionnelle à c/BW (Avec c : la vitesse de la lumière) ou ~2.4km, il est certain que les précisions, qui seront obtenues, seront mille fois (voire deux milles) supérieur à celles visées dans le projet. Par conséquent, plus on augmentera BW plus précise sera la localisation. D'où la nécessité d'explorer plutôt des technologies ayant des largeurs de bande avoisinant des dizaines de mégahertz. De ce fait, nous suggérons une ré-orientation de la solution vers l'utilisation d'une technologie *Ultra-WideBand* (UWB) qui a l'avantage de fournir une garantie sur la précision de localisation plutôt que la technologie LoRATM. En plus, pour se rapprocher de la précision de l'UWB, LoRA exploite plutôt un système collaboratif de localisation qui recourt à des entrées provenant de multiples technologies et sources de données (voir Semtech Collos service : Collaborative location service [7]).

1. Données confidentielles

Références

- [1] L. Specification. Lora alliance - lorawan specification. LoRa Alliance, Inc - Specification.
- [2] D. Bargen. (2017) Lorawan data rates. [Online]. Available : <https://blog.dbrgn.ch/2017/6/23/lorawan-data-rates/>
- [3] *Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 1 : Technical characteristics and methods of measurement*, ETSI EUROPEAN STANDARD, Sophia Antipolis - FRANCE, May 2016. [Online]. Available : https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022001/03.01.00_20/en_30022001v030100a.pdf
- [4] Z. Li, T. Nguyen, Q. Lampin, I. Sivignon, and S. Zozor, "Ensuring k-coverage in low-power wide area networks for internet of things," in *2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Jan 2017, pp. 26–30.
- [5] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands : the rising stars in the iot and smart city scenarios," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, October 2016.
- [6] T. Telkamp and L. Slats. Ground breaking world record! lorawan packet received at 702 km (436 miles) distance. [Online]. Available : <https://www.thethingsnetwork.org/article/ground-breaking-world-record-lorawan-packet-received-at-702-km-436-miles-distance>
- [7] Semtech. (2018) Collos : Collaborative location service. Semtech. [Online]. Available : <http://preview.collos.org/>
- [8] T. T. NETWORK. (2015) Location by triangulation : Application development. The Things Network Forum. [Online]. Available : <https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/location-by-triangulation/435/3>
- [9] B. R. CTO and F. of LinkLabs. (2016) Lora localization. Link-Labs. [Online]. Available : <https://www.link-labs.com/blog/lora-localization>
- [10] M. Cattani, C. A. Boano, and K. Römer, "An experimental evaluation of the reliability of lora long-range low-power wireless communication," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [11] C. A. Boano, M. Cattani, and K. Römer, "Impact of temperature variations on the reliability of lora - an experimental evaluation," in *SENSORNETS*, 2018.
- [12] A. Riegsecker, "Measuring environmental effects on lora radios in cold weather using 915 mhz," M.S. thesis, Purdue University, Purdue University, West Lafayette, Indiana, May 2018.
- [13] *LoRaTM Modulation Basics*, Semtech Corporation, Camarillo, Californie, USA, May 2015. [Online]. Available : <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>

A Peri-urban areas between Building A & B

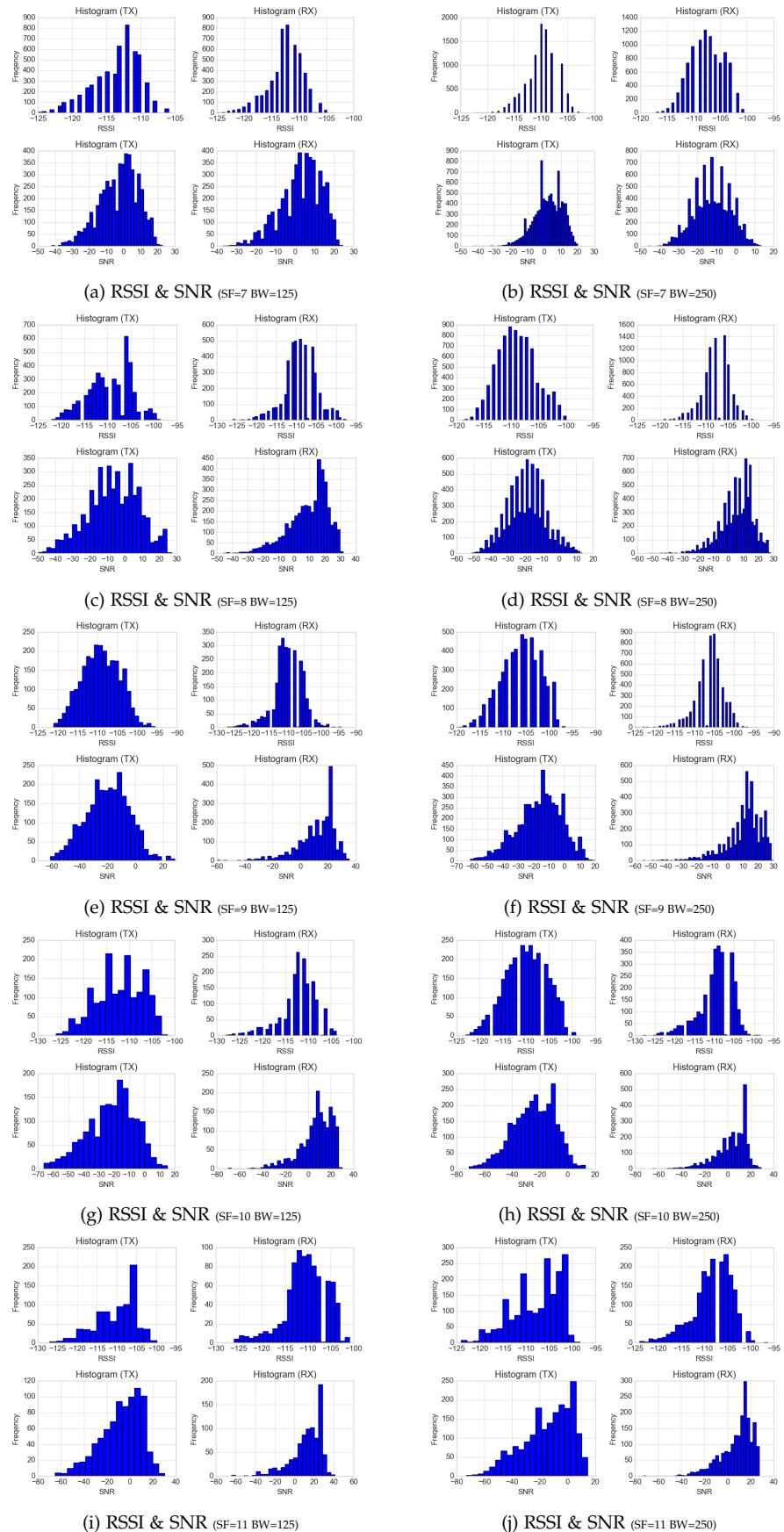


FIGURE 11 – Histogram of RSSI & SNR at the Transmitter and Receiver

B Peri-urban area with mobile of receiver

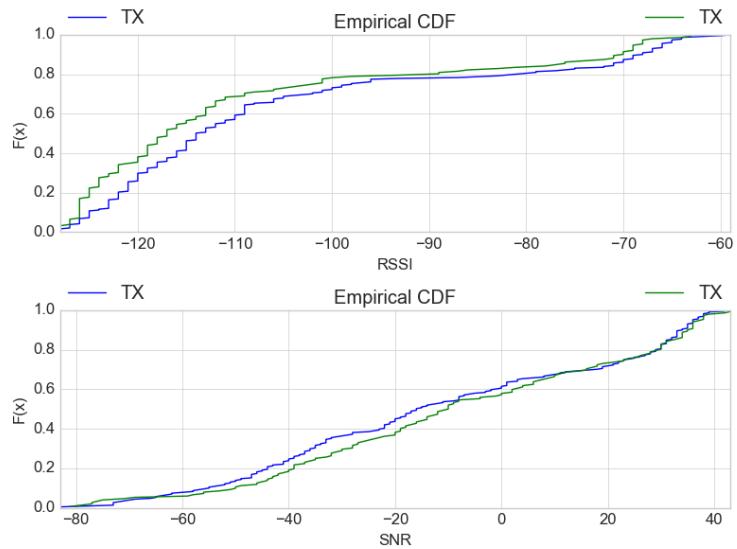


FIGURE 12 – Empirical CDF of RSSI & SNR at the Transmitter and Receiver

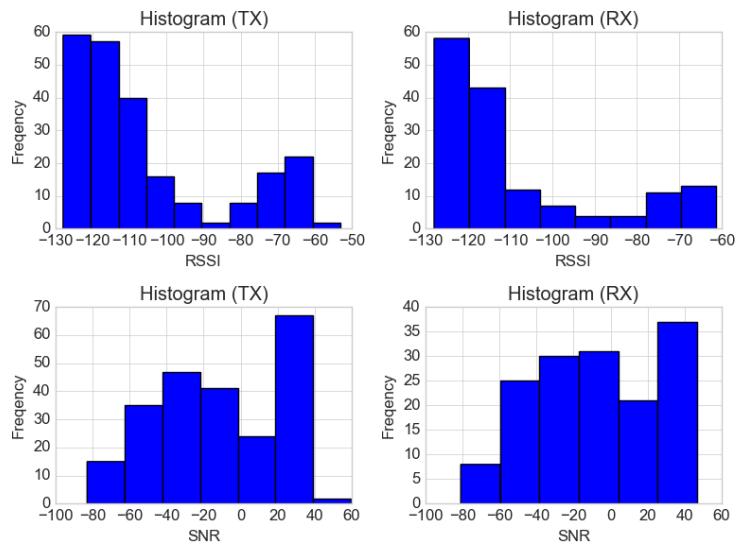


FIGURE 13 – Histogram of RSSI & SNR at the Transmitter and Receiver

C High density urbain area

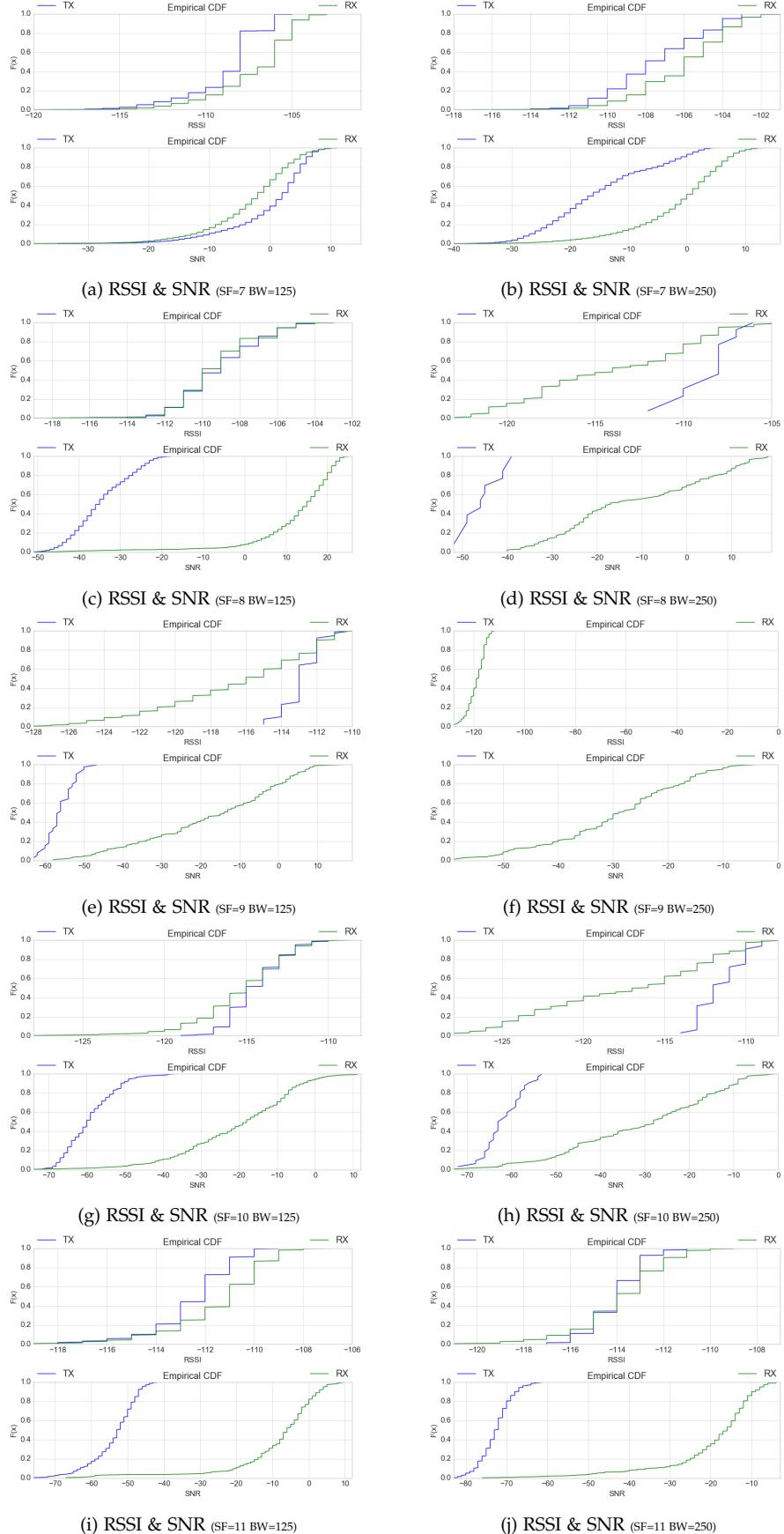


FIGURE 14 – Empirical CDF of RSSI & SNR at the Transmitter and Receiver

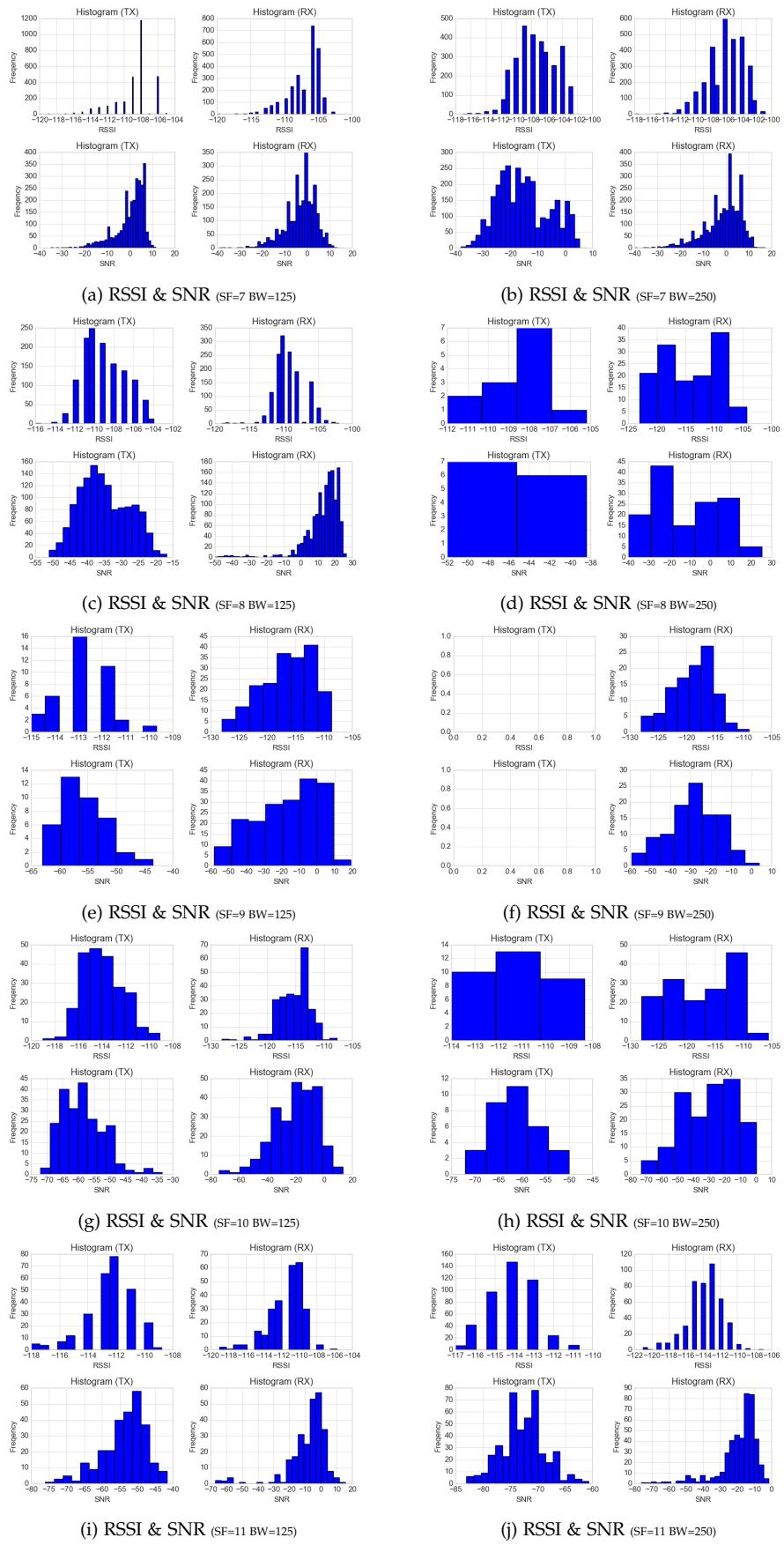


FIGURE 15 – Histogram of RSSI & SNR at the Transmitter and Receiver