



(NKE BOB-Movee)

LOT 1 : Vérification de la Chaîne Radio LoRa

LOT 2 : Vérification des performances de l'antenne

23/10/2024

Company Confidential

Copyright CGWI 2024

Historique :

Version	Date	Auteur	Notes	Status
0.1	27.01.2021	CLM	Création du document	
0.2	23.08.2021	CLM	Correction identification X14 et X17	
0.3	24.08.2021	CLM	Identification consigne de puissance §7	

Propriétaire :	CG
Livré :	

Table des matières

- 1 RÉFÉRENCES..... 4**
- 2 GÉNÉRAL..... 5**
- 3 MÉTHODOLOGIE 5**
- 4 MÉTHODES DE MESURES 6**
 - 4.1 PUISSANCE CONDUITE..... 6
 - 4.2 ADAPTATION DE L’ANTENNE, PARAMÈTRES S11 (DB) 6
 - 4.3 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT..... 8
- 5 MATÉRIEL UTILISÉ 9**
- 6 SCHÉMAS ACTUEL BOB V1.2 10**
 - 6.1 SCHÉMA 10
 - 6.2 SOFT DE TEST 11
- 7 MESURES DE LA PUISSANCE CONDUITE 14**
 - 7.1 MOVEE @868MHZ..... 15
 - 7.1.1 Puissance conduite en modulé 15
 - 7.1.2 Bilan..... 18
 - 7.2 BOB @ 915MHZ..... 19
 - 7.2.1 Puissance conduite en modulé 19
 - 7.2.2 Puissance conduite en non modulé 20
 - 7.2.3 Bilan..... 20
 - 7.3 CONCLUSION 21
- 8 RESPECT DU NIVEAU DES HARMONIQUES (868MHZ)..... 22**
 - 8.1 FRÉQUENCE 868.1 MHZ 23
 - 8.2 FRÉQUENCE 868.5 MHZ 28
 - 8.3 FRÉQUENCE 869.525 MHZ 32
 - 8.4 CONCLUSION SUR LES MESURES D’HARMONIQUES 35
- 9 RESPECT DU NIVEAU DES HARMONIQUES (915MHZ)..... 36**
 - 9.1 FRÉQUENCE 915 MHZ 37
 - 9.2 CONCLUSION SUR LES MESURES D’HARMONIQUES 39
- 10 MESURES DE LA SENSIBILITÉ EN RÉCEPTION 40**
- 11 MESURES DE L’IMPÉDANCE DE L’ANTENNE..... 41**
 - 11.1 MESURE À RÉCEPTION 42
 - 11.1.1 *Mesure en configuration 868MHz* 42
 - 11.1.2 *Mesure en configuration 915MHz* 43
 - 11.1.3 *Conclusion* 43
 - 11.2 ADAPTATION À 868MHZ..... 44
 - 11.3 ADAPTATION À 915MHZ..... 45
- 12 DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT, CHAMBRE ANÉCHOÏQUE 46**
 - 12.1 MESURE DE DIAGRAMME EN CHAMBRE ANÉCHOÏQUE : 868MHZ 48
 - 12.1.1 *Position 1* 48
 - 12.1.2 *Position 2* 49
 - 12.1.3 *Position 3* 50
 - 12.1.4 *Bilan et Analyse*..... 51
 - 12.2 MESURE DE DIAGRAMME EN CHAMBRE ANÉCHOÏQUE : 915MHZ 52
 - 12.2.1 *Position 1* 52
 - 12.2.2 *Position 2* 53
 - 12.2.3 *Position 3* 54

12.2.4	<i>Bilan et Analyse</i>	55
13	ADAPTATION DE L'ANTENNE	56

1 RÉFÉRENCES

[1] : Schéma, P160041001-L

[2] : DATASHEET - SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver, REV 4

[3] : AN1200.26 LoRa™ and FCC Part 15.247:Measurement Guidance, §2.1

[4] :EOLRD19010_BOM_BOB_US_ProtoV2_200316_DZ.xlsx

[5] :EOLRD19010_MOVEE_EU_ProtoV2_200316_DZ.xlsx

2 GÉNÉRAL

Ce document présente les prestations proposées, pour l'analyse et l'optimisation des performances radio de la conception des produits BOB et MOVEE.

3 MÉTHODOLOGIE

- Vérification des performances en conduit (Mesure au pied de l'antenne, à l'analyseur de spectre)
- Vérification de l'impédance de l'antenne (mesure de l'adaptation de l'antenne à l'analyseur de réseau).
- Optimisation de l'adaptation d'antenne
- Analyse du diagramme de rayonnement en Chambre anéchoïque, 3 positions, polarisation V&H.

4 MÉTHODES DE MESURES

4.1 PUISSANCE CONDUITE

La mesure de la puissance conduite (dBm) est réalisée à l'analyseur de spectre.

Le transceiver est connecté à l'analyseur via un câble coaxial, dont une extrémité, l'âme, est directement soudée sur la ligne RF du front end (à l'emplacement souhaité pour la mesure), et l'autre extrémité est connectée par SMA à l'analyseur de spectre.

La mesure est effectuée en « Max Hold » avec le marqueur en « Peak ».

4.2 ADAPTATION DE L'ANTENNE, PARAMÈTRES S11 (DB)

Les antennes sont adaptées à l'analyseur de réseau vectoriel.

L'antenne est connectée à l'analyseur via un câble coaxial, dont une extrémité, l'âme est directement soudée sur le point chaud de l'antenne, à sa base, et l'autre extrémité est connectée par SMA à l'analyseur.

Sur l'analyseur de réseau vectoriel sont affichés le coefficient de réflexion de l'antenne (paramètre S11) ainsi que l'abaque de Smith, qui permet de visualiser l'impédance complexe de l'antenne.

L'objectif étant d'obtenir une adaptation de l'antenne à 50 ohms (point central de l'abaque de Smith) à la fréquence de résonance souhaitée, avec un S11 < -10 dB :



Exemple de mesure de paramètre S11

Nota :

VSWR est l'abréviation de Voltage Standing Waves Ratio (Taux d'onde stationnaire de tension) et est également appelé taux d'onde stationnaire (TOS). VSWR est une fonction du coefficient de réflexion, qui décrit la puissance réfléchiée par l'antenne. Le VSWR est défini par la formule suivante :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Le VSWR est toujours un nombre réel et positif pour les antennes. Plus le VSWR est petit, plus l'antenne est adaptée à la ligne de transmission (impédance de 50 ohms) et plus la puissance est fournie à l'antenne. Le VSWR minimum est de 1,0. Dans ce cas, aucune puissance n'est réfléchiée par l'antenne (la totalité de la puissance lui est transmise).

Le coefficient de réflexion, également appelé S11, représente la puissance qui est réfléchiée par l'antenne.

Si S11 = 0 dB, alors toute la puissance est réfléchiée par l'antenne

Si S11 = -10 dB, cela signifie que 90 % de la puissance est transmise à l'antenne

Généralement, il est recherché un S11 < -10 dB, soit un VSWR < 2 (90 % de la puissance est transmise à l'antenne).

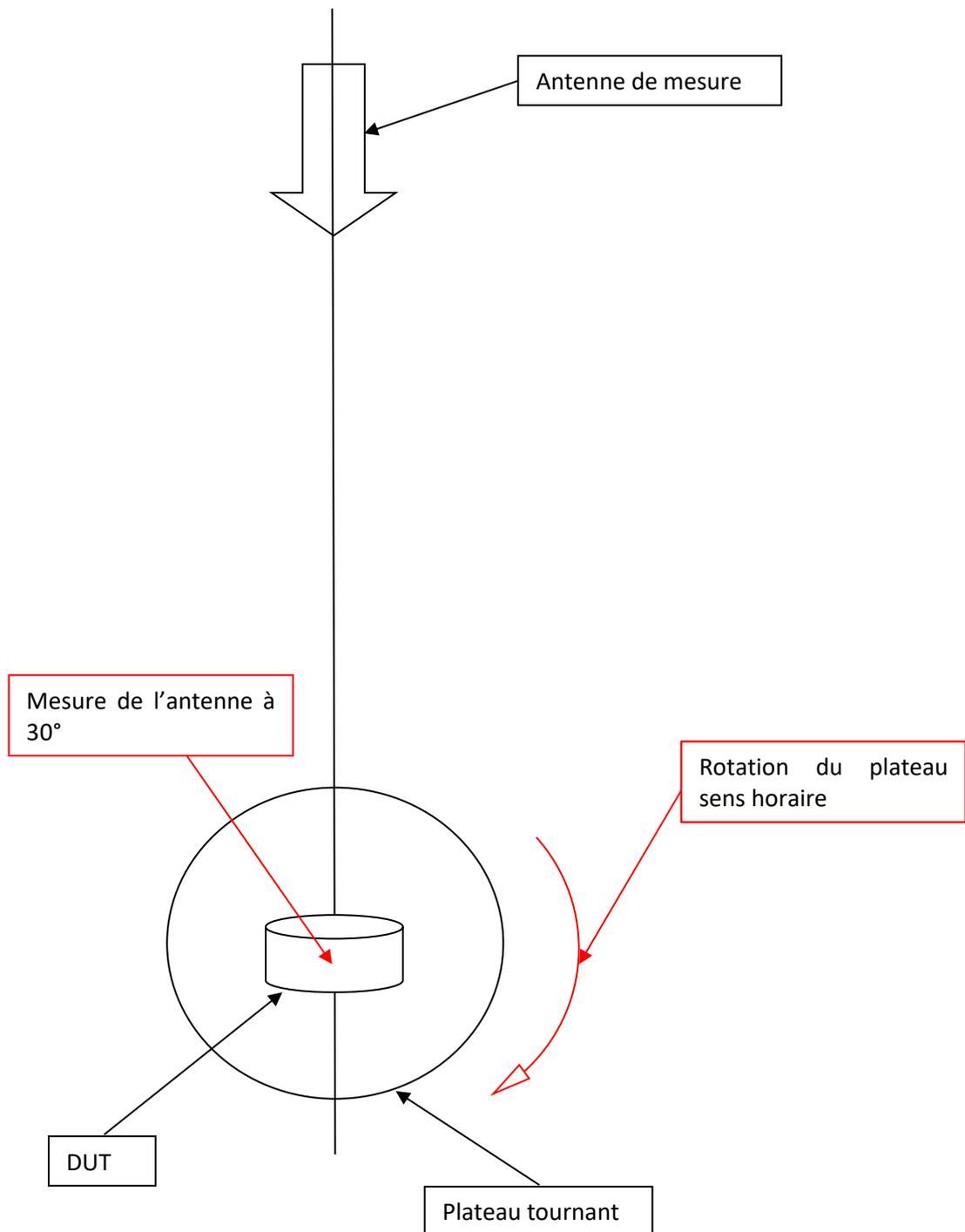
Lorsque le S11 est jugé satisfaisant, il faut procéder à la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne pour évaluer l'énergie rayonnée.

(Le paramètre S21 n'est utilisé que pour mesurer le couplage entre antennes. La deuxième antenne étant le port 2.)

4.3 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT

Le DUT est placé en face de l'antenne sur un plateau tournant dans le sens horaire.

Lorsque le plateau tourne de 30° , du point de vue de l'antenne le produit a subi une rotation de -30° dans le sens trigonométrique, comme expliqué ci-dessous :



Les relevés peuvent être exploités soit en puissance rayonnée (dBm) soit en gain d'antenne (dBi). La mesure est effectuée en « Max Hold » avec le marqueur en « Peak ».

5 MATÉRIEL UTILISÉ

Analyseur de spectre :

- Rohde & Schwarz FSV 1-300490927, 10Hz-13.6GHz

Analyseur de réseau vectoriel & kit de calibration :

- Rohde & Schwarz ZVC 1106.9020.60, 20KHz-8GHz
- Rohde & Schwarz ZV-Z23 1085.7247.02, PC 3.5 mm

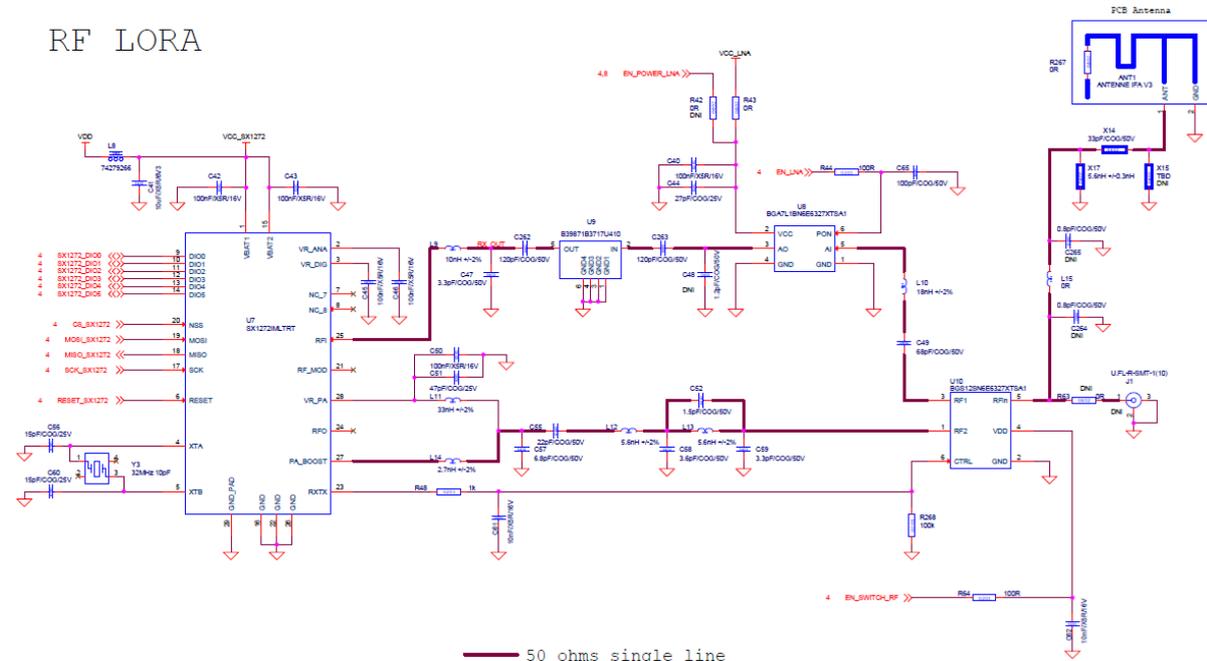
Multimètre :

- Keysight 34461A + BENCHVUE

6 SCHÉMAS ACTUEL BOB V1.2

6.1 SCHÉMA

Ci-dessous le schéma de la partie radio de la version 1.2 (document « P160041001-K »)



Composants équipés sur la chaîne RF, sortie PA_BOOST :

- C50= 100 nF
- C51= 47 pF
- L11= 33 nH
- L14= 2.7 nH
- C57= 6.8 pF
- C55= 22 pF
- L12= 5.6 nH
- C58= EU : 3.6 pF / US : 8.2pF
- C59= 3.3 pF
- L13= 5.6 nH
- C52 = 1.5 pF
- U10= Switch RF BGS12SN6E6327XTSA1

- L15= EU : 0R / US : 1.9nH
- C264= EU : NC / US : 0.8 pF
- C265= EU : NC / US : 0.8 pF

- X14= EU : 33pF / US : 15pF
- X17= EU : 5.6nH / US : 5.1nH
- X15= NC

6.2 SOFT DE TEST

868MHz :

Le soft utilisé lors des essais est le « BOB_SW_Test_RADIO_TX_SF12_v1.6 » :

Le fonctionnement est le suivant (informations issues du document « MEM-Tests radio Movee- 16-0279-D.pdf » :

« *Produit en rayonné (RED TX SF7 et SF12) (SN 0002793 et SN 0002794) :*

(Produit éteint).

1^{er} appui bouton : **démarrage**, initialisation des périphériques (clignotement de la led verte)

- Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.

2^{ème} appui bouton : **Émission permanente modulée sur la fréquence 868,1 MHz** : La LED est BLEUE

3^{ème} appui bouton : **Émission permanente modulée sur la fréquence 868,5 MHz** : La LED est BLEUE

4^{ème} appui bouton : **Émission cyclique modulée sur la fréquence 868,1 MHz** : La LED est BLEUE lors de l'émission, éteinte sinon

5^{ème} appui bouton : **Émission cyclique modulée sur la fréquence 868,5 MHz** : La LED est BLEUE lors de l'émission, éteinte sinon

6^{ème} appui bouton : **Émission cyclique modulée sur la fréquence 869,525 MHz** : La LED est ORANGE lors de l'émission, éteinte sinon

7^{ème} appui bouton : **Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,1 MHz** : La LED est VERTE

8^{ème} appui bouton : **Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,3 MHz** : La LED est VERTE

9^{ème} appui bouton : **Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,5 MHz** : La LED est VERTE

10^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,1 MHz** : La LED est BLANCHE

11^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,5 MHz** : La LED est BLANCHE

12^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 869,525 MHz** : La LED est BLANCHE

13^{ème} appui bouton : **Extinction de la carte** : LED rouge

Test sensibilité à 868 MHz

1 produit Rx avec connecteur SMA monté

1 produit Tx

Produit en réception en émission conduite (connecteur SMA) pour les tests de blocking/sensibilité :
(Produit éteint).

- 1er appui bouton : **démarrage initialisation des périphériques (clignotement de la led verte) Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.**

- 2ème appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,1 MHz en SF7 : La LED est BLEUE**

- 3ème appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,1 MHz en SF12 : La LED est VERTE**

- 4ème appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,5 MHz en SF7 : La LED est CYAN**

- 5ème appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 868,5 MHz en SF12 : La LED est VIOLETTE**

- 6ème appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 869,525 MHz en SF12 : La LED est JAUNE - 7ème appui bouton : Extinction de la carte (LED rouge)**

NOTE : Chaque bonne réception de la trame sera visible via un clignotement de la LED VERTE.

Produit en émission rayonné pour les tests de blocking/sensibilité :

(Produit éteint).

- **1er appui bouton : démarrage initialisation des périphériques (clignotement de la led verte) Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.**

- 2ème appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 868,1 MHz en SF7 : La LED est BLEUE**

- 3ème appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 868,1 MHz en SF12 : La LED est VERTE**

- 4ème appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 868,5 MHz en SF7 : La LED est CYAN**

- 5ème appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 868,5 MHz en SF12 : La LED est VIOLETTE**

- 6ème appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 869,525 MHz en SF12 : La LED est JAUNE - 7ème appui bouton : Extinction de la carte (LED rouge)**

915MHz :

Le soft utilisé lors des essais est le « BOB_SW_Test_RADIO_TX_915_14dBm_olg » :

(Produit éteint).

1^{er} appui bouton : **démarrage**, initialisation des périphériques (clignotement de la led verte)

- Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.

2^{ème} appui bouton : **Émission permanente modulée sur la fréquence 915 MHz** : La LED est BLEUE

3^{ème} appui bouton : **Émission cyclique modulée sur la fréquence 915 MHz** : La LED est BLEUE lors de

4^{ème} appui bouton : **Émission permanente non modulée sur la fréquence 915 MHz** : La LED est VERTE

5^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz** : La LED est BLANCHE

6^{ème} appui bouton : **Extinction de la carte** : LED rouge

Test sensibilité à 868 MHz

1 produit Rx avec connecteur SMA monté

1 produit Tx

Produit en réception en émission conduite (connecteur SMA) pour les tests de blocking/sensibilité :

(Produit éteint).

- 1^{er} appui bouton : **démarrage initialisation des périphériques (clignotement de la led verte) Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.**

- 2^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz en SF7** : La LED est BLEUE

- 3^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est VERTE

- 4^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz en SF7** : La LED est CYAN

- 5^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est VIOLETTE

- 6^{ème} appui bouton : **Réception permanente sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est JAUNE -

7^{ème} appui bouton : Extinction de la carte (LED rouge)

NOTE : Chaque bonne réception de la trame sera visible via un clignotement de la LED VERTE.

Produit en émission rayonné pour les tests de blocking/sensibilité :

(Produit éteint).

- 1^{er} appui bouton : **démarrage initialisation des périphériques (clignotement de la led verte) Après quelques secondes, le produit est en veille et le LoRa également (pas de Rx/Tx) : toutes les LEDs sont éteintes.**

- 2^{ème} appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 915 MHz en SF7** : La LED est BLEUE

- 3^{ème} appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est VERTE

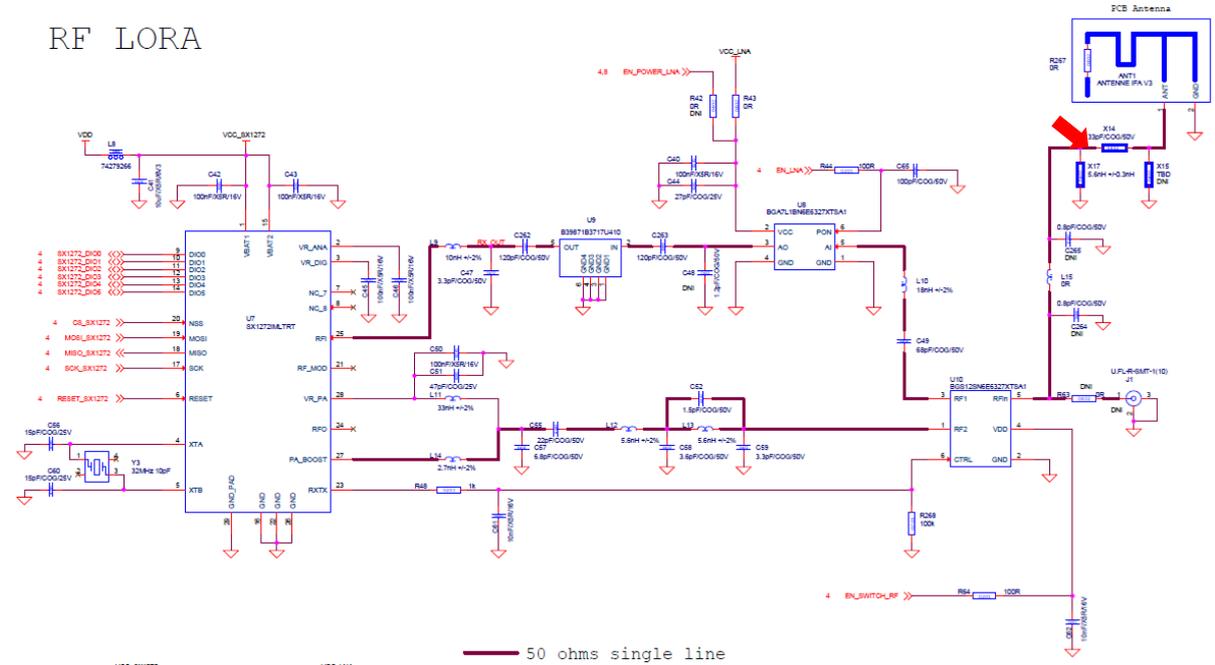
- 4^{ème} appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 915 MHz en SF7** : La LED est CYAN

- 5^{ème} appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est VIOLETTE

- 6^{ème} appui bouton : **Emission d'une trame connue sur la fréquence 915 MHz en SF12** : La LED est JAUNE - 7^{ème} appui bouton : **Extinction de la carte (LED rouge)**

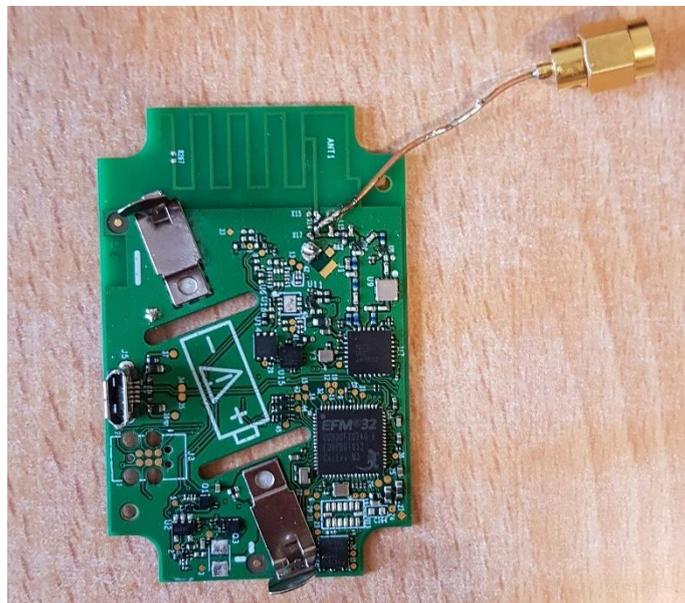
7 MESURES DE LA PUISSANCE CONDUITE

La mesure de la puissance conduite est effectuée en amont du circuit d'adaptation (d'un point de vue transceiver), sur le pad de X14:



Nota 1 : le produit est alimenté sur pile

Nota 2 : R63 est non équipée



7.1 MOVEE @868MHZ

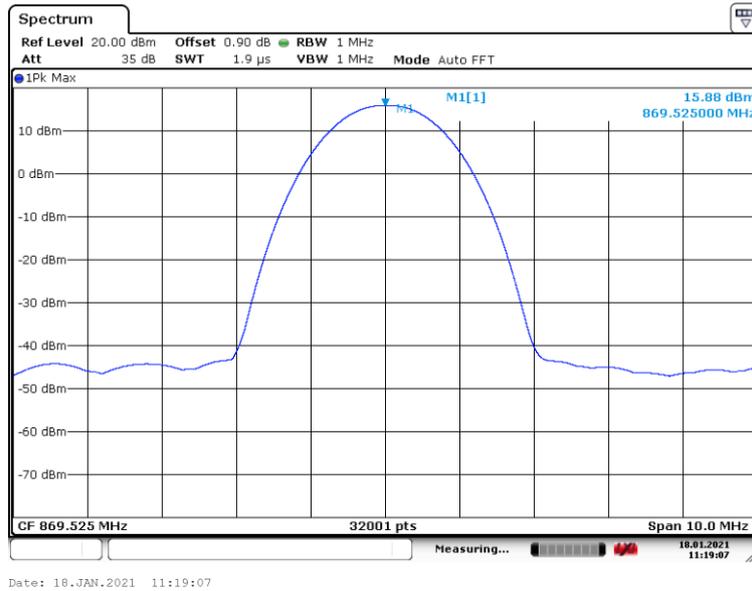
Consigne de puissance modulée : 14dBm

Consigne de puissance non modulée : 20dBm

La consigne de puissance est fixée par la configuration du logiciel chargé.

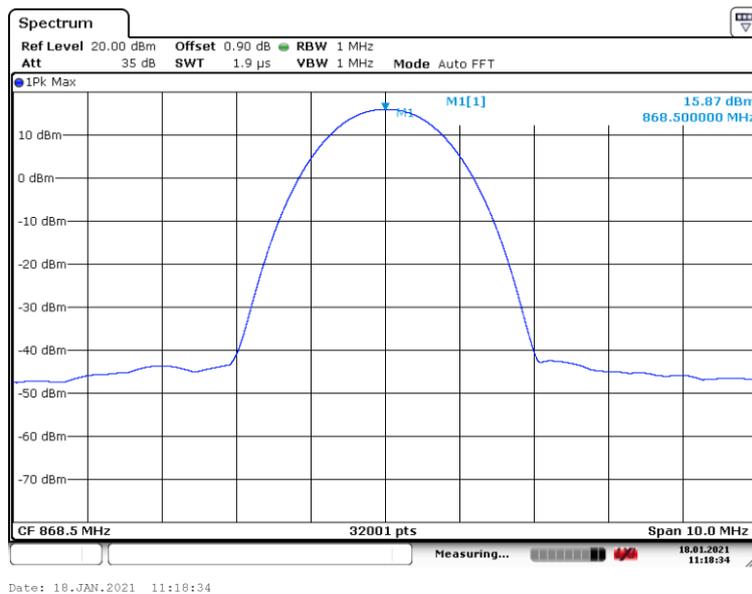
7.1.1 Puissance conduite en modulé

Fréquence 868.1 MHz (4^{ème} appui bouton : Émission cyclique modulée sur la fréquence 868,1 MHz : La LED est BLEUE) :



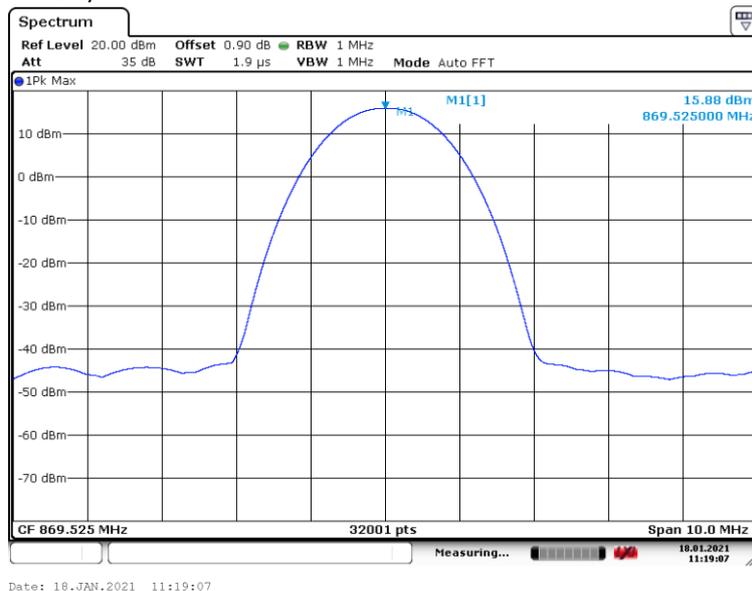
Puissance conduite = 15.88 dBm

Fréquence 868.5 MHz (5^{ème} appui bouton : Émission cyclique modulée sur la fréquence 868,5 MHz : La LED est BLEUE) :



Puissance conduite = 15.87 dBm

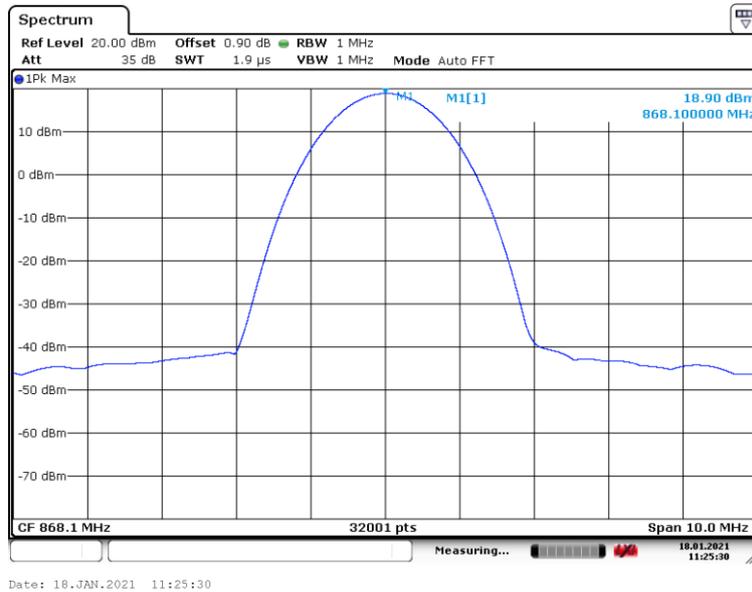
Fréquence 869.525 MHz (6^{ème} appui bouton : Émission cyclique modulée sur la fréquence 869,525 MHz : La LED est ORANGE) :



Puissance conduite = 15.88 dBm

Puissance conduite en non modulé

Fréquence 868.1 MHz (7^{ème} appui bouton : Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,1 MHz : La LED est VERTE) :



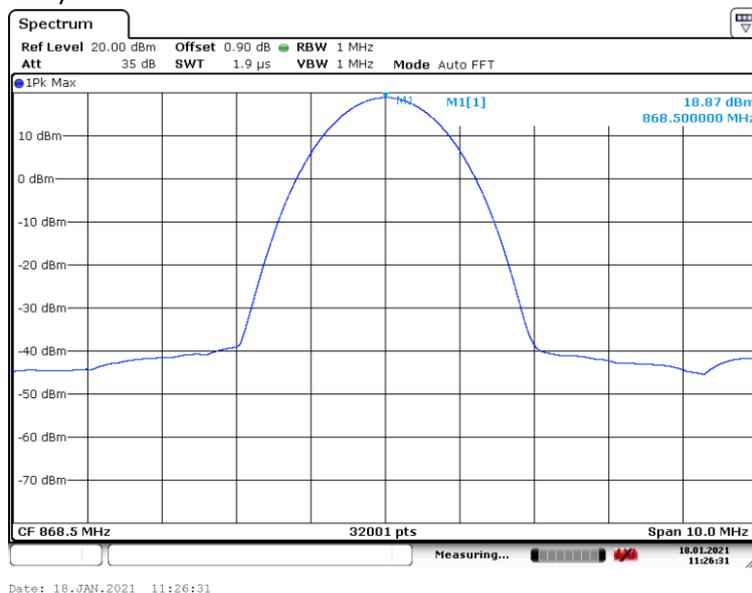
Puissance conduite = 18.90 dBm

Fréquence 868.3 MHz (8^{ème} appui bouton : Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,3 MHz : La LED est VERTE) :



Puissance conduite = 18.88 dBm

Fréquence 868.5 MHz (9^{ème} appui bouton : Émission permanente non modulée sur la fréquence 868,5 MHz : La LED est VERTE) :



Puissance conduite = 18.87 dBm

7.1.2 Bilan

	Fréquence (MHz)	Puissance (dBm)
Modulé	868.1	15.88
	868.5	15.87
	869.525	15.88
Non modulé	868.1	18.90
	868.3	18.88
	868.5	18.87

7.2 BOB @ 915MHz

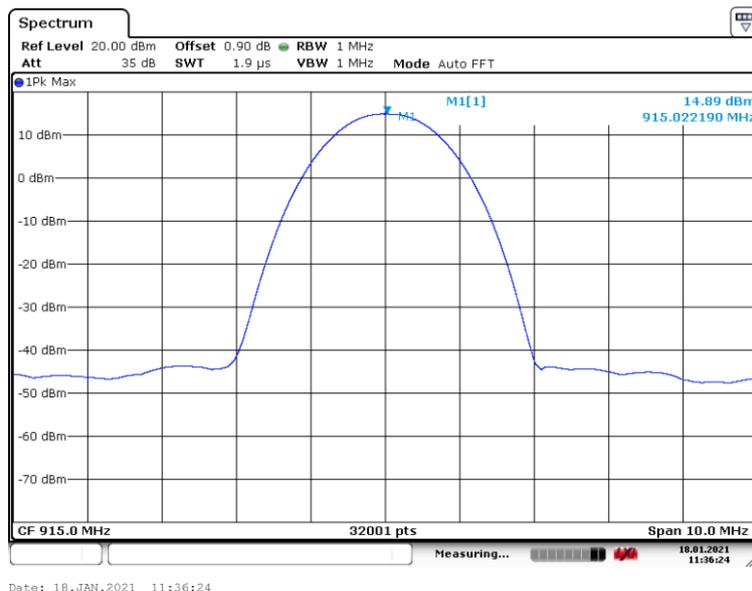
Consigne de puissance modulée : 14dBm

Consigne de puissance non modulée : 20dBm

La consigne de puissance est fixée par la configuration du logiciel chargé.

7.2.1 Puissance conduite en modulé

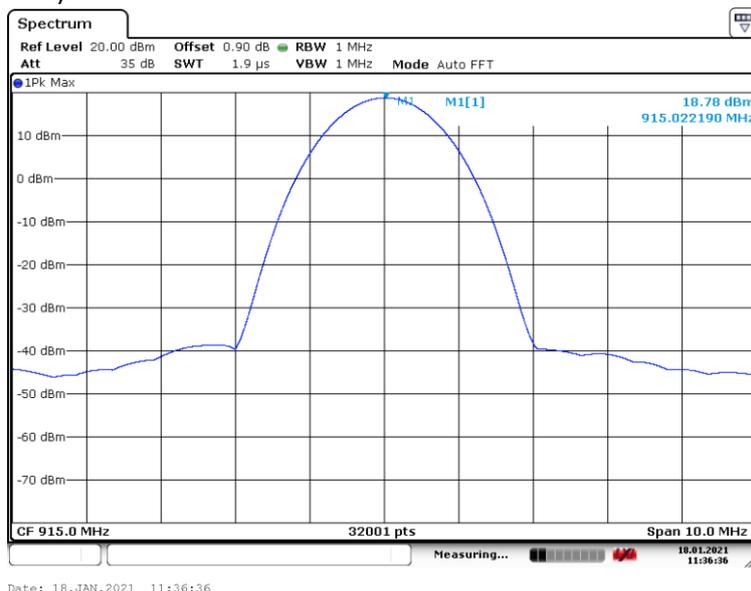
Fréquence 915 MHz (3^{eme} appui bouton : Émission cyclique modulée sur la fréquence 915 MHz : La LED est BLEUE) :



Puissance conduite = 14.89dBm

7.2.2 Puissance conduite en non modulé

Fréquence 915 MHz (4^{ème} appui bouton : Émission permanente non modulée sur la fréquence 915 MHz : La LED est VERTE) :



Puissance conduite = 18.78 dBm

7.2.3 Bilan

	Fréquence (MHz)	Puissance (dBm)
Modulé	915	14.89
Non modulé	915	18.78

7.3 CONCLUSION

	Fréquence (MHz)	Puissance (dBm) V1.2
Modulé	868.1	15.88
	868.5	15.87
	869.525	15.88
	915	14.89
Non modulé	868.1	18.90
	868.3	18.88
	868.5	18.87
	915	18.78

- Pour le fonctionnement à 868MHz : on mesure une puissance d'émission en modulé supérieure à celle de la consigne(14dBm), donc la chaine est correctement optimisée.
- Pour le fonctionnement à 915MHz : on mesure une puissance d'émission en modulé supérieure à celle de la consigne(14dBm), donc la chaine est correctement optimisée.

8 RESPECT DU NIVEAU DES HARMONIQUES (868MHz)

Afin de valider la configuration de la chaîne radio il faut vérifier la conformité à la norme ETSI EN 300 220-1 [1] et [2], des mesures de puissance des harmoniques ont été réalisées conformément au tableau ci-dessous (bande d'émission 863 MHz - 870 MHz) :

Table 19: Spurious domain emission limits

Frequency	47 MHz to 74 MHz 87,5 MHz to 118 MHz 174 MHz to 230 MHz 470 MHz to 790 MHz	Other frequencies below 1 000 MHz	Frequencies above 1 000 MHz
State			
TX mode	-54 dBm	-36 dBm	-30 dBm
RX and all other modes	-57 dBm	-57 dBm	-47 dBm

Table 20: Parameters for TX Spurious Radiations Measurement

Operating Mode	Frequency Range	RBW _{REF} (see note 2)
Transmit mode	$9 \text{ kHz} \leq f < 150 \text{ kHz}$	1 kHz
	$150 \text{ kHz} \leq f < 30 \text{ MHz}$	10 kHz
	$30 \text{ MHz} \leq f < f_c - m$	100 kHz
	$f_c - m \leq f < f_c - n$	10 kHz
	$f_c - n \leq f < f_c - p$	1 kHz
	$f_c + p < f \leq f_c + n$	1 kHz
	$f_c + n < f \leq f_c + m$	10 kHz
	$f_c + m < f \leq 1 \text{ GHz}$	100 kHz
	$1 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$	1 MHz

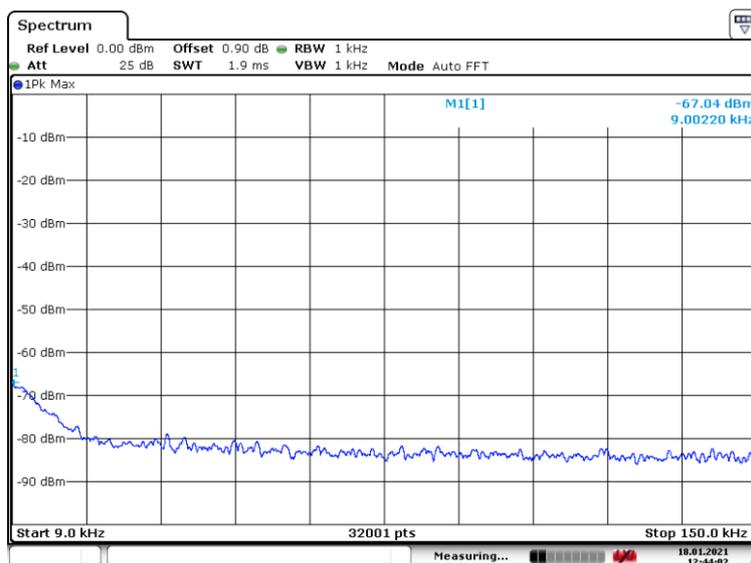
NOTE 1: f is the measurement frequency.
 f_c is the Operating Frequency.
m is 10 x OCW or 500 kHz, whichever is the greater.
n is 4 x OCW or 100 kHz, whichever is the greater.
p is 2,5 x OCW.

NOTE 2: If the value of RBW used for measurement is different from RBW_{REF}, use bandwidth correction from clause 4.3.10.1.

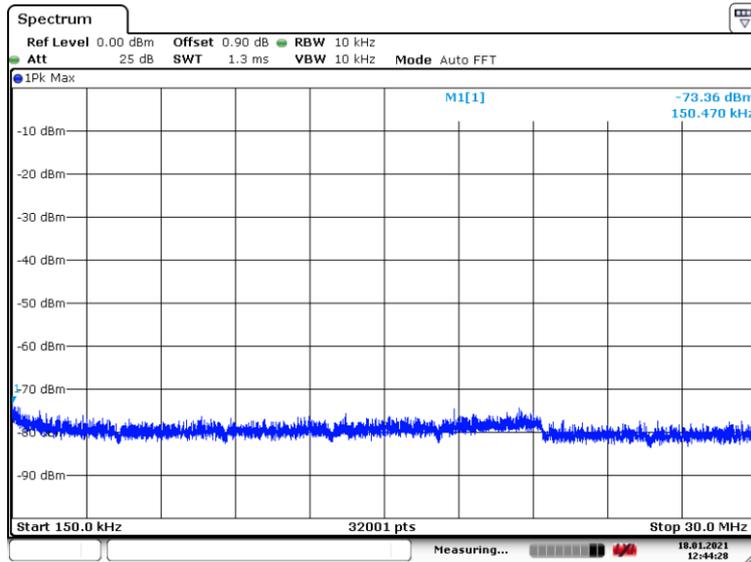
Value	Notes
Operational Frequency bands	Band K : 863-865 MHz, OC = 3 MHz Band M : 868-868.6 MHz, OC = 0.6 MHz Band R : 869.7-870 MHz, OC = 0.3 MHz
Nominal Operating Frequency	Low : 863.1 MHz, High : 869.9 MHz, Lorawan
Operating Channel Width(s) - OCW	OCW = 200 KHz

8.1 FRÉQUENCE 868.1 MHz

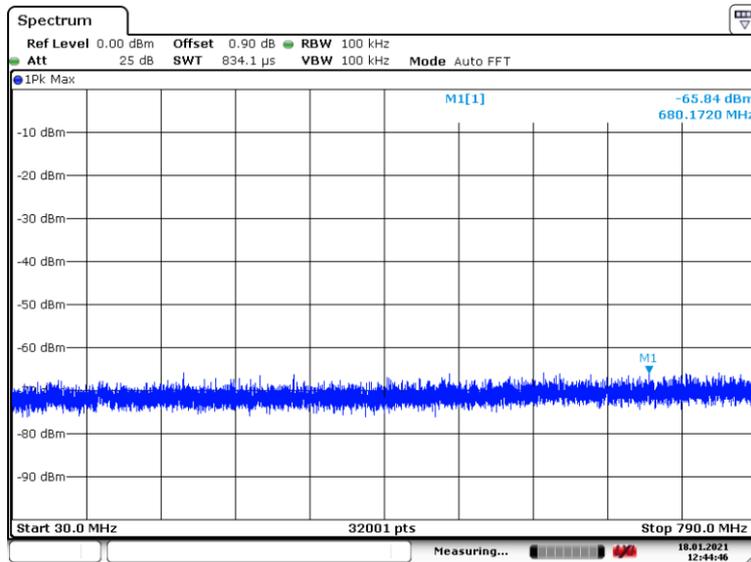
Fréquence (MHz)	868.1									
Bande de fréquence contrôlée	9 KHz	150 KHz	30 MHz	790 MHz	866.1 MHz	867.3 MHz	868.6 MHz	868.9 MHz	870.1 MHz	1 GHz
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150 KHz	30 MHz	790 MHz	866.1 MHz	867.3 MHz	867.6 MHz	868.9 MHz	870.1 MHz	1 GHz	6 GHz
Puissance max autorisée (dBm)	-54	-54	-54	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-30
BW (KHz)	1 KHz	10 KHz	100 KHz	100 KHz	10 KHz	1 KHz	1 KHz	10 KHz	100 KHz	1 MHz
Puissance mesurée (dBm)	-67.04	-73.36	-65.84	-54.11	-57.77	-61.97	-62.55	-56.59	-55.20	-49.49
Résultat	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS



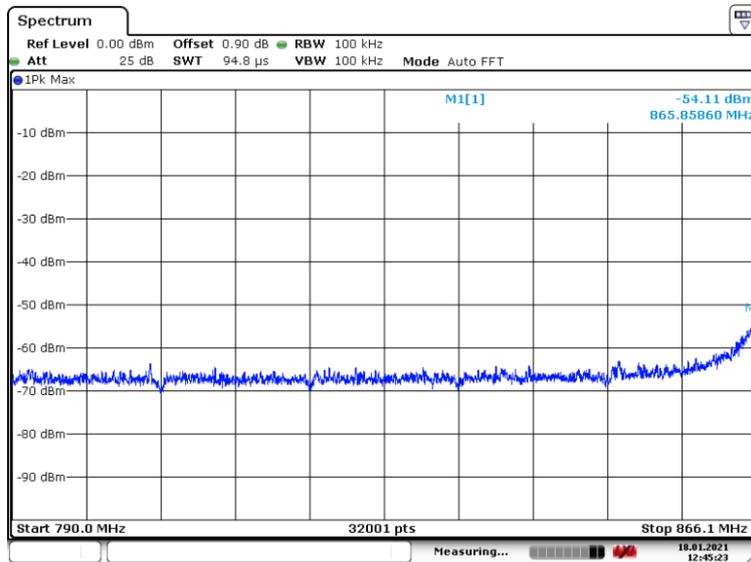
Date: 18. JAN. 2021 12:44:02



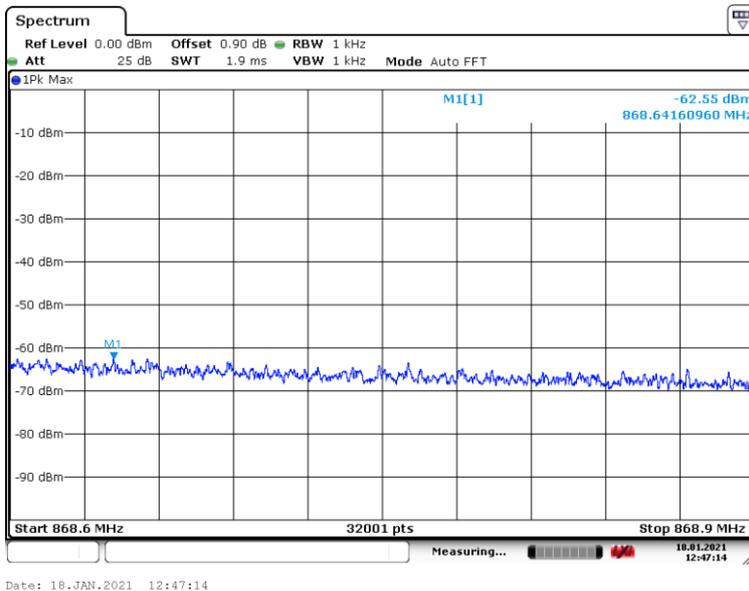
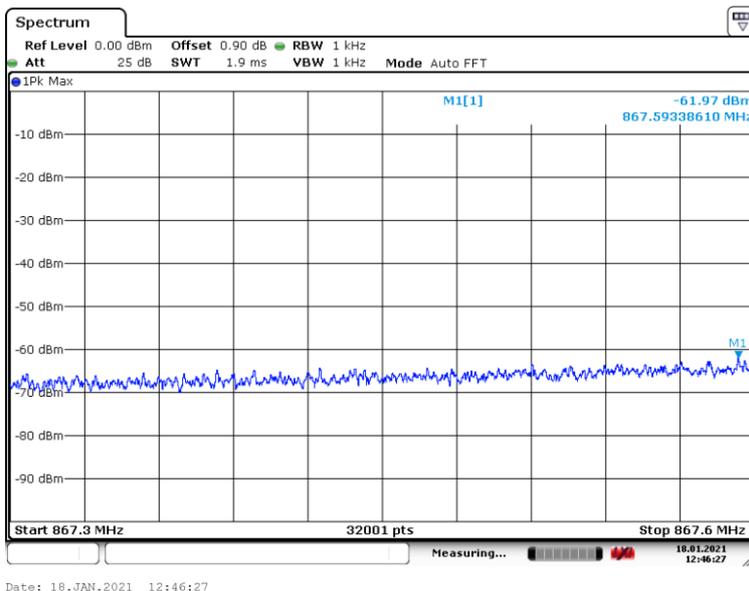
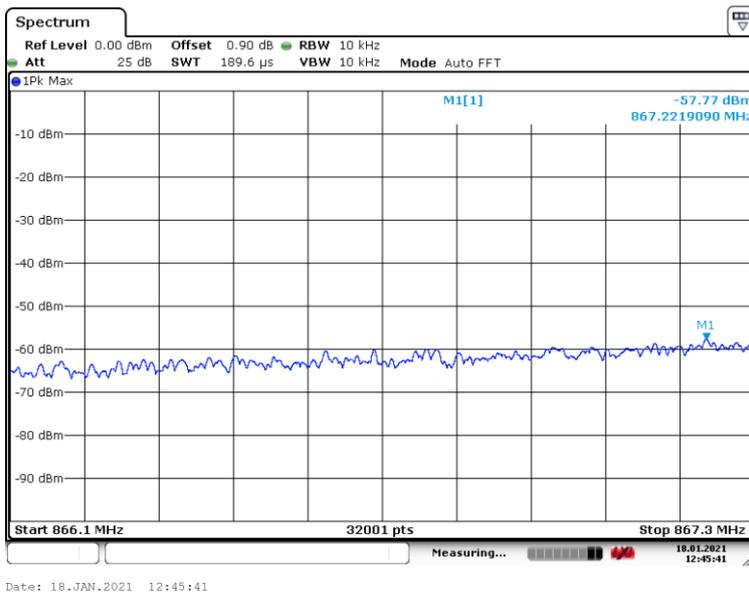
Date: 18.JAN.2021 12:44:28

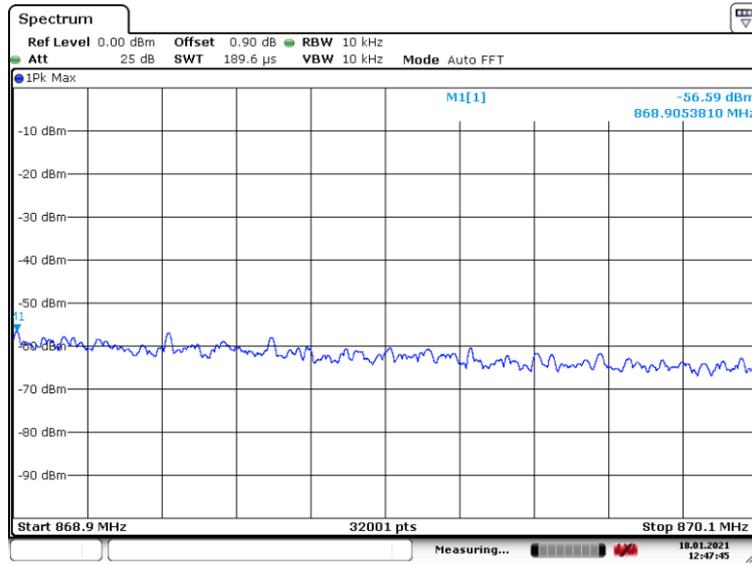


Date: 18.JAN.2021 12:44:45

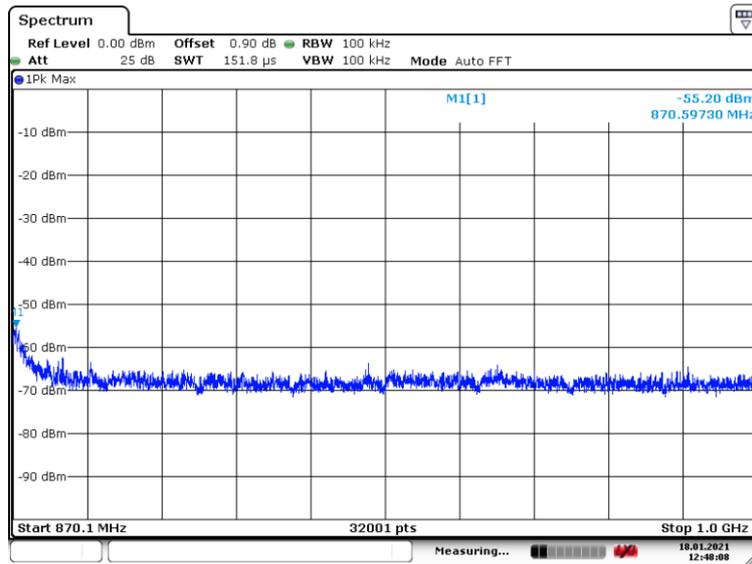


Date: 18.JAN.2021 12:45:23

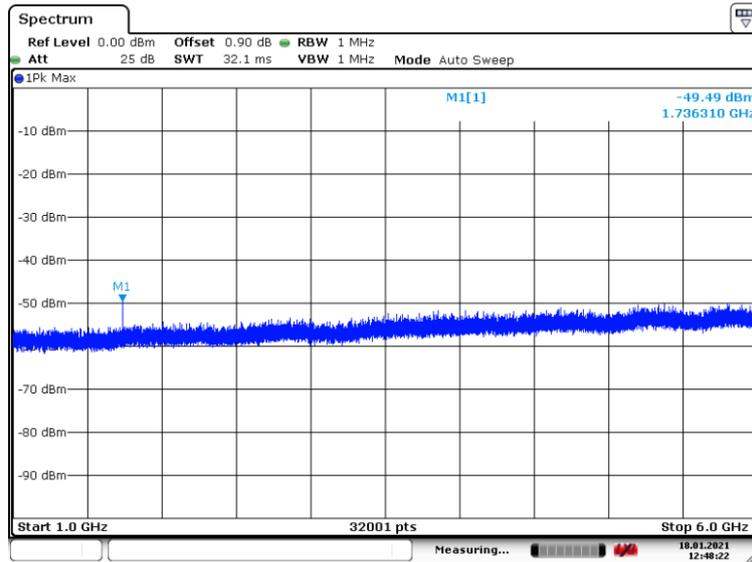




Date: 18.JAN.2021 12:47:45



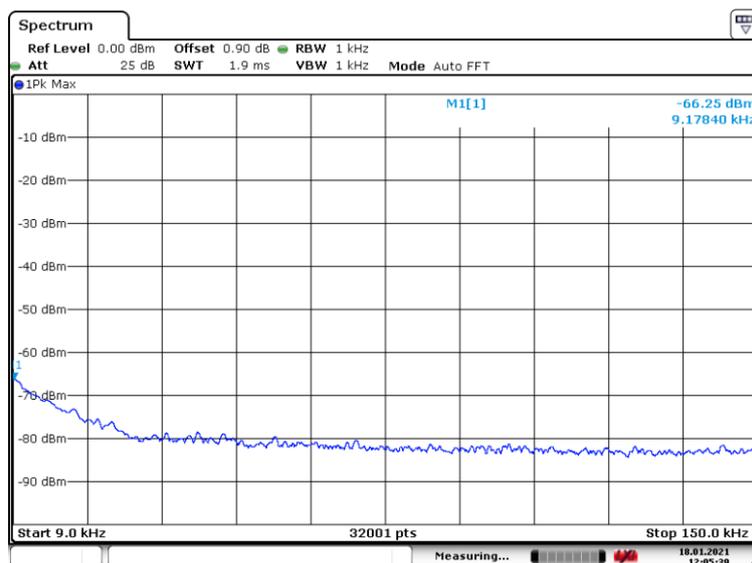
Date: 18.JAN.2021 12:48:08



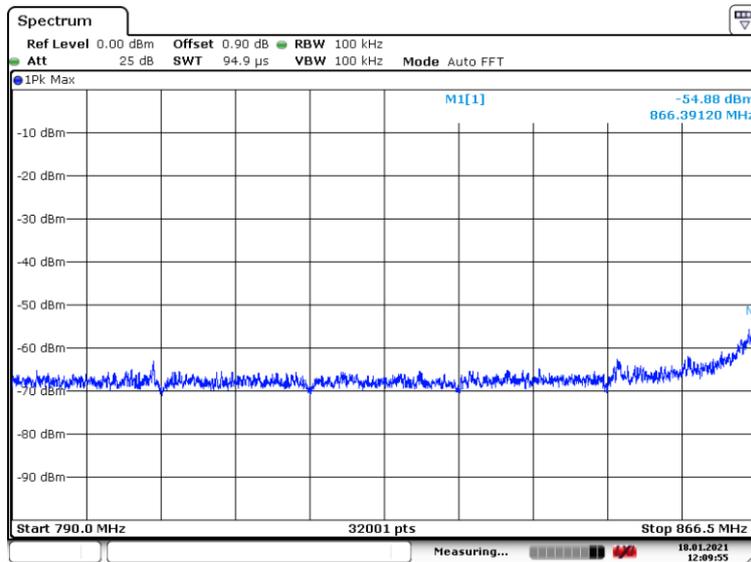
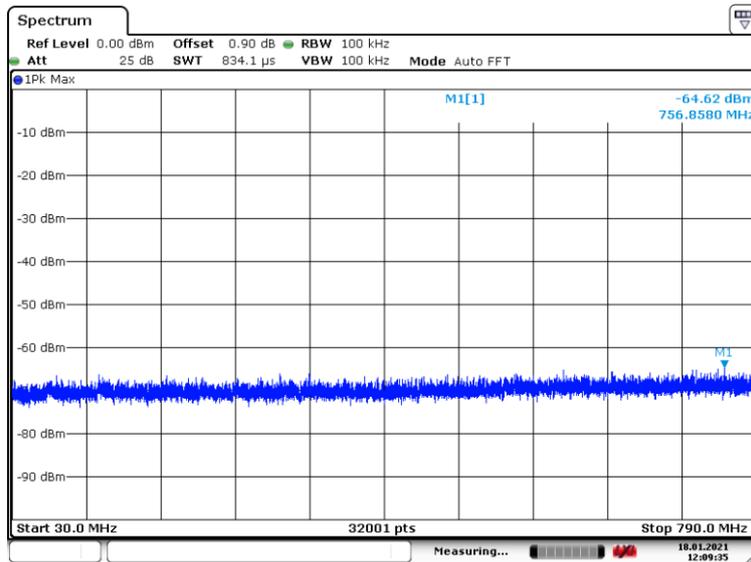
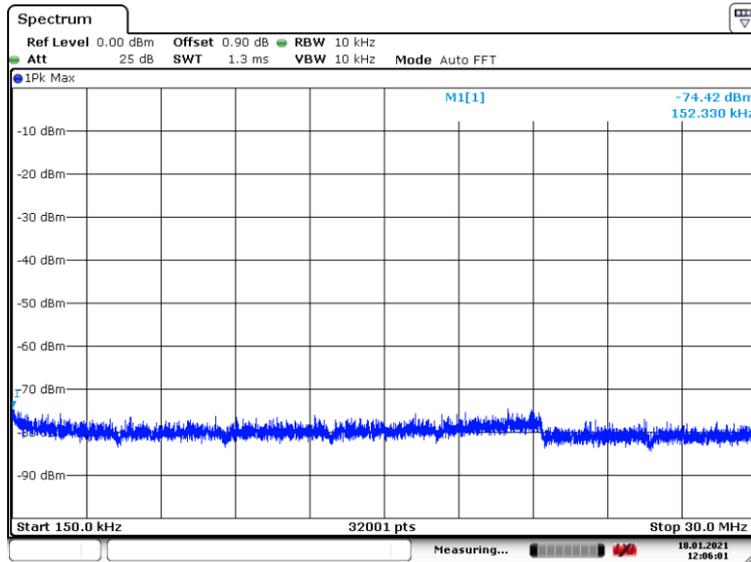
Date: 18.JAN.2021 12:48:22

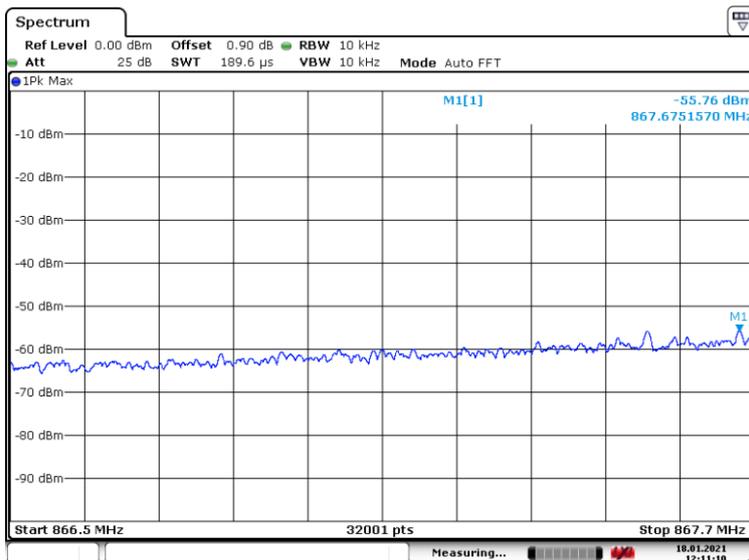
8.2 FRÉQUENCE 868.5 MHz

Fréquence (MHz)	868.5									
Bande de fréquence contrôlée	9 KHz	150 KHz	30 MHz	790 MHz	866.5 MHz	867.7 MHz	870 MHz	869.3 MHz	870.5 MHz	1 GHz
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150 KHz	30 MHz	790 MHz	866.5 MHz	867.7 MHz	868 MHz	869.3 MHz	870.5 MHz	1 GHz	6 GHz
Puissance max autorisée (dBm)	-54	-54	-54	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-30
BW (KHz)	1 KHz	10 KHz	100 KHz	100 KHz	10 KHz	1 KHz	1 KHz	10 KHz	100 KHz	1 MHz
Puissance mesurée (dBm)	-66.25	-74.42	-64.62	-54.88	-55.76	-62.14	-61.91	-48.59	-55.53	-49.37
Résultat	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

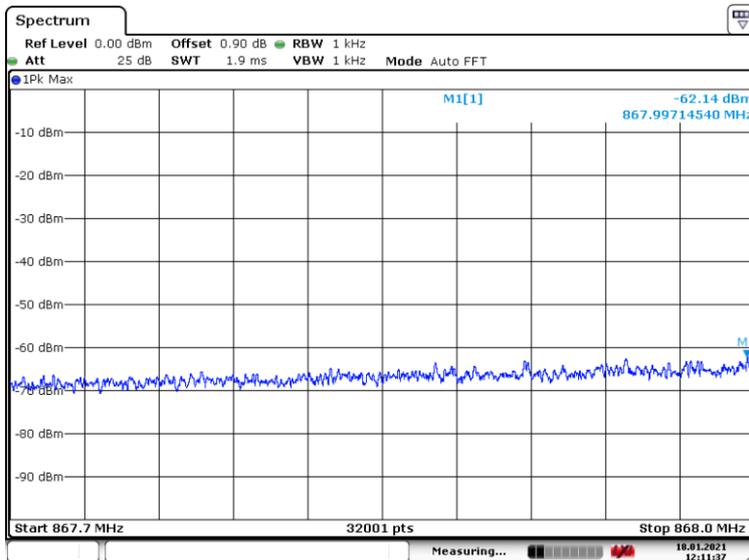


Date: 18.JAN.2021 12:05:39

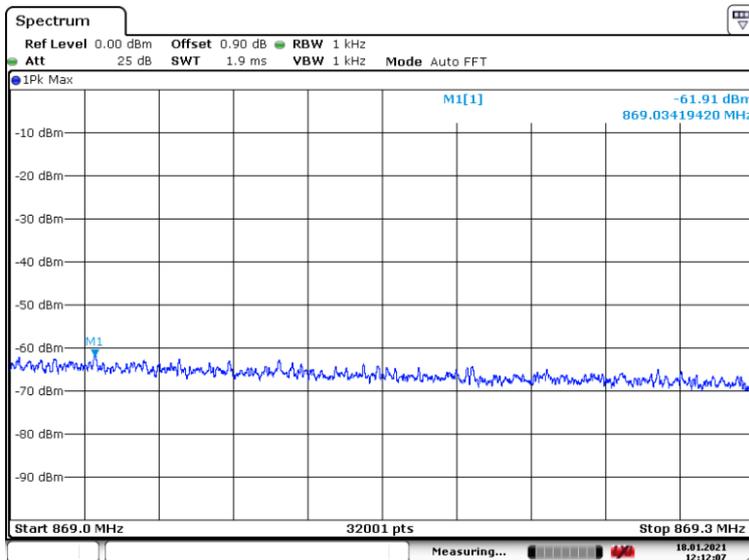




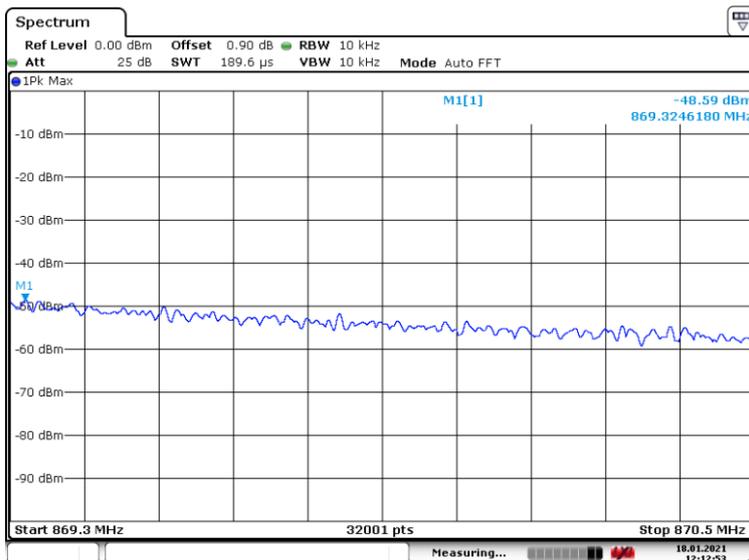
Date: 18.JAN.2021 12:11:10



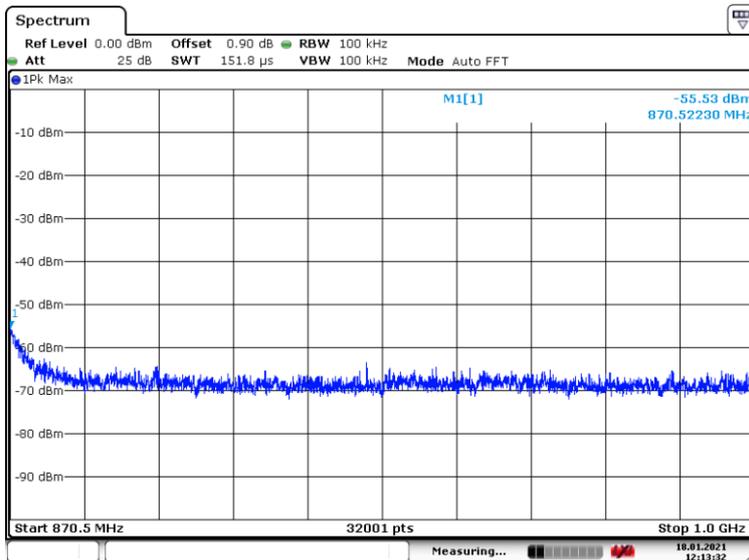
Date: 18.JAN.2021 12:11:36



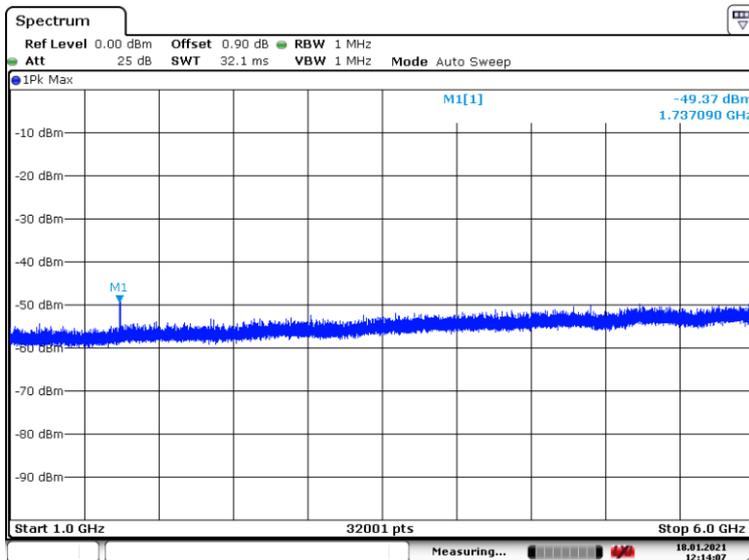
Date: 18.JAN.2021 12:12:06



Date: 18.JAN.2021 12:12:52



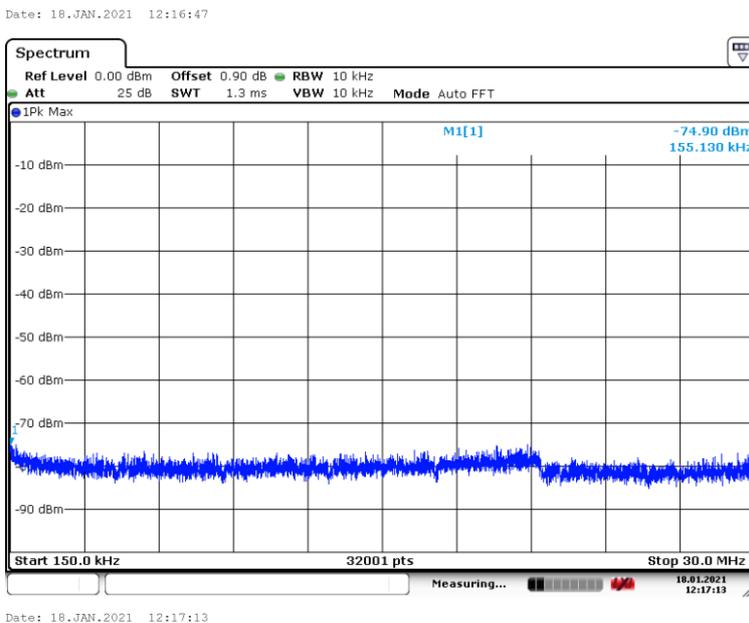
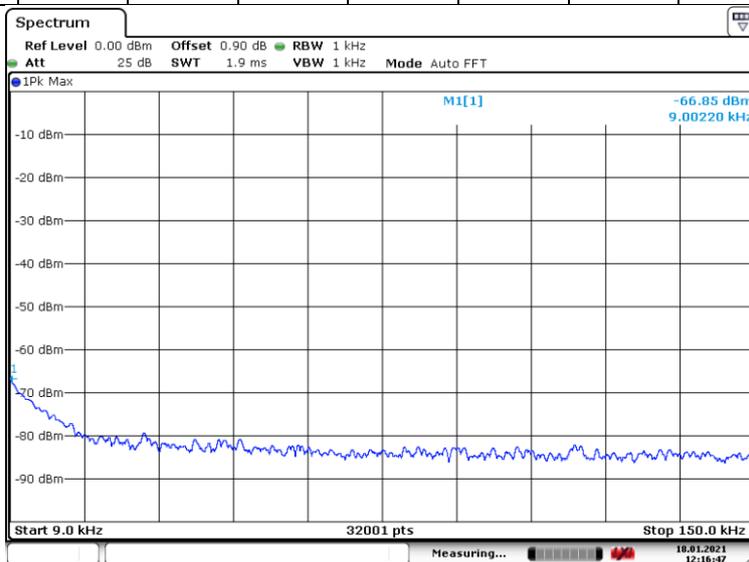
Date: 18.JAN.2021 12:13:32

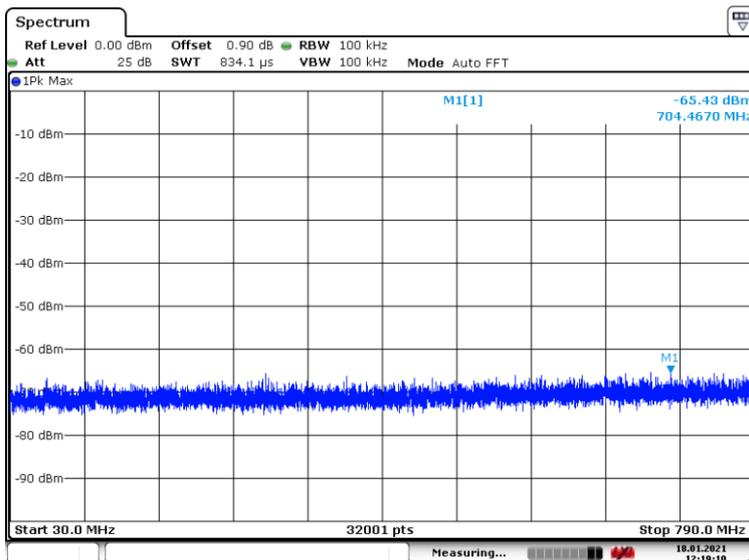


Date: 18.JAN.2021 12:14:07

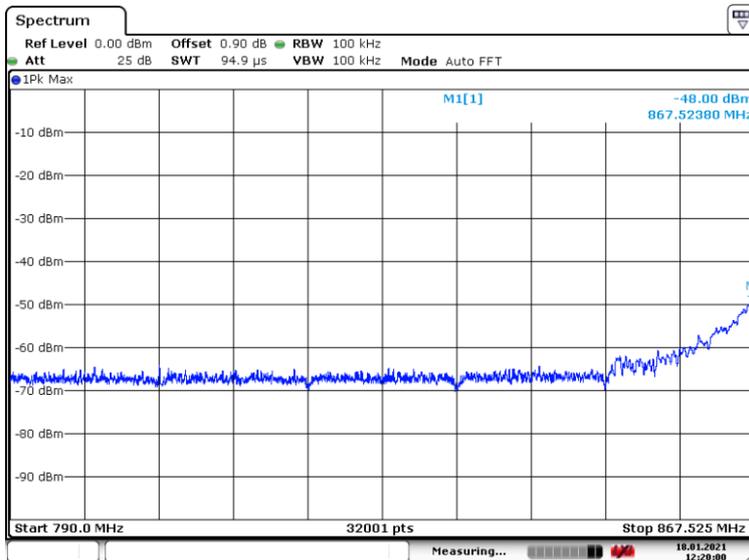
8.3 FRÉQUENCE 869.525 MHz

Fréquence (MHz)	869.525									
Bande de fréquence contrôlée	9 KHz	150 KHz	30 MHz	790 MHz	867.525 MHz	868.725 MHz	870.025 MHz	870.325 MHz	871.525 MHz	1 GHz
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	150 KHz	30 MHz	790 MHz	867.525 MHz	868.725 MHz	869.025 MHz	870.325 MHz	871.525 MHz	1 GHz	6 GHz
Puissance max autorisée (dBm)	-54	-54	-54	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-30
BW (KHz)	1 KHz	10 KHz	100 KHz	100 KHz	10 KHz	1 KHz	1 KHz	10 KHz	100 KHz	1 MHz
Puissance mesurée (dBm)	-66.85	-74.90	-65.43	-48	-55.66	-61.55	-62.24	-56.87	-53.25	-49.49
Résultat	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

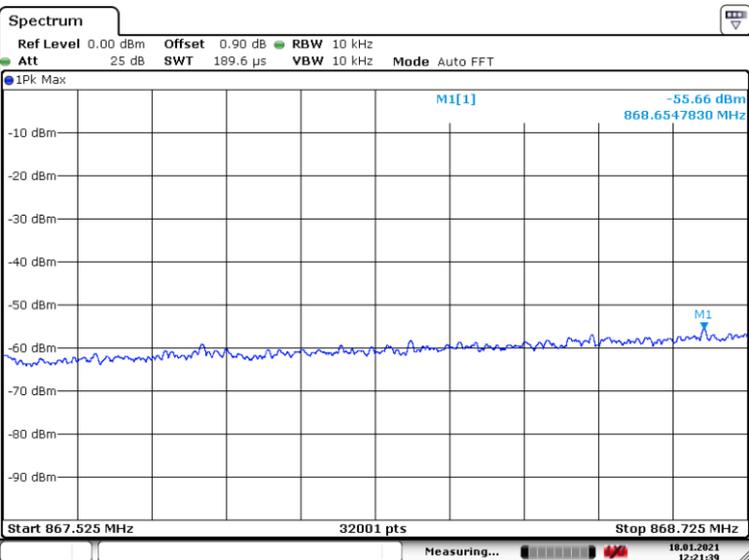




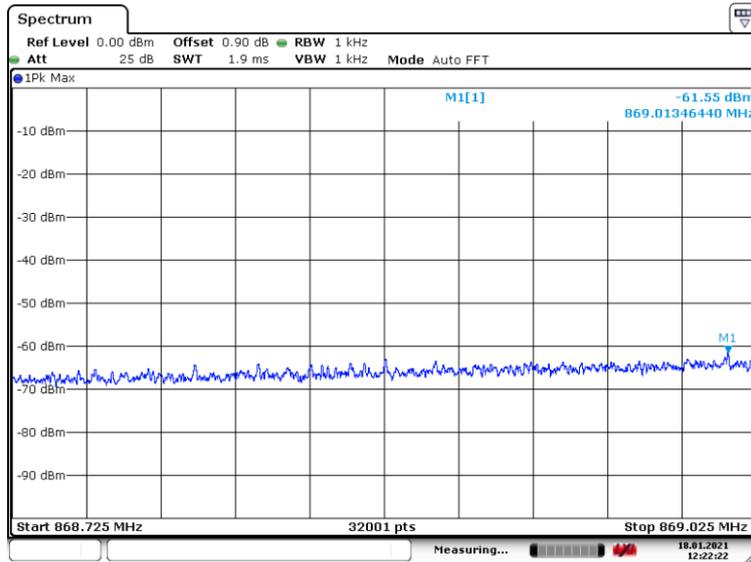
Date: 18.JAN.2021 12:19:10



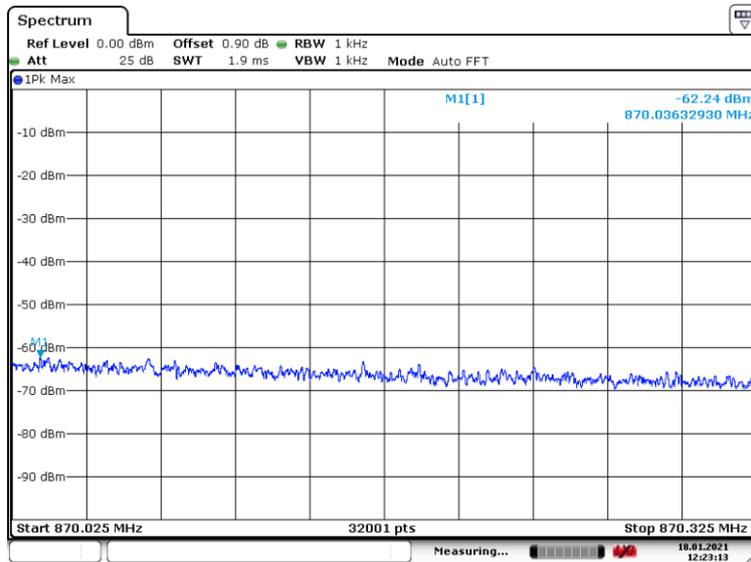
Date: 18.JAN.2021 12:20:00



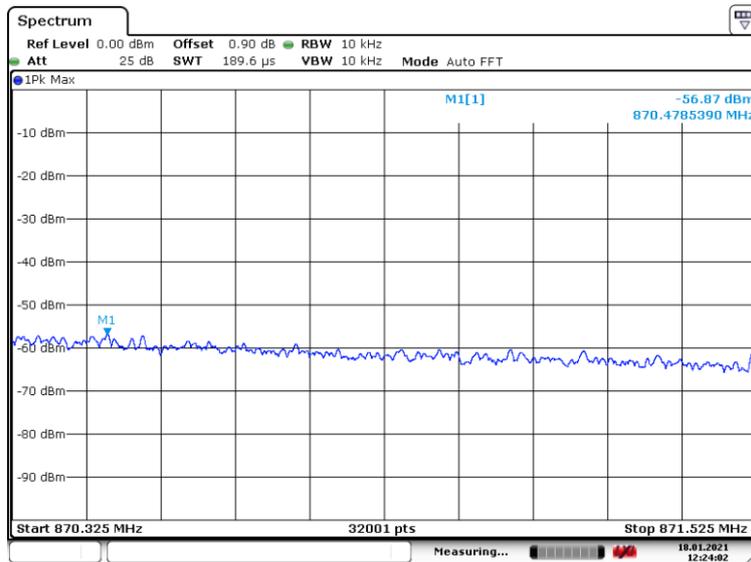
Date: 18.JAN.2021 12:21:39



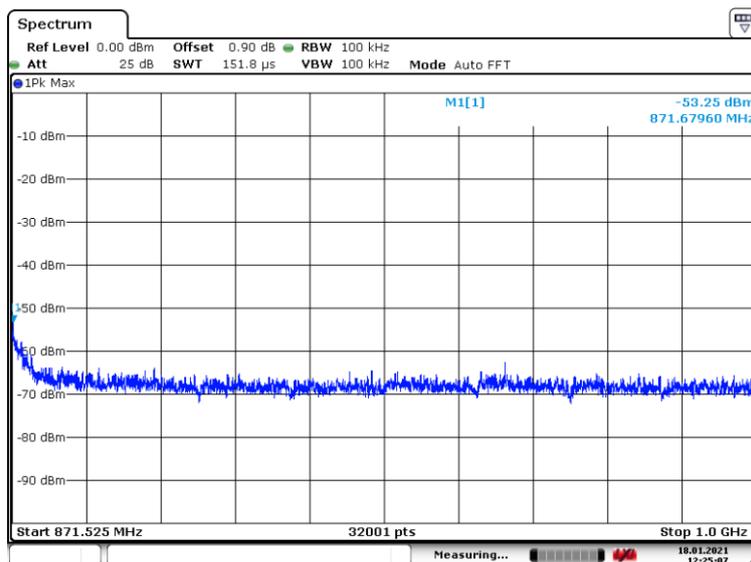
Date: 18.JAN.2021 12:22:22



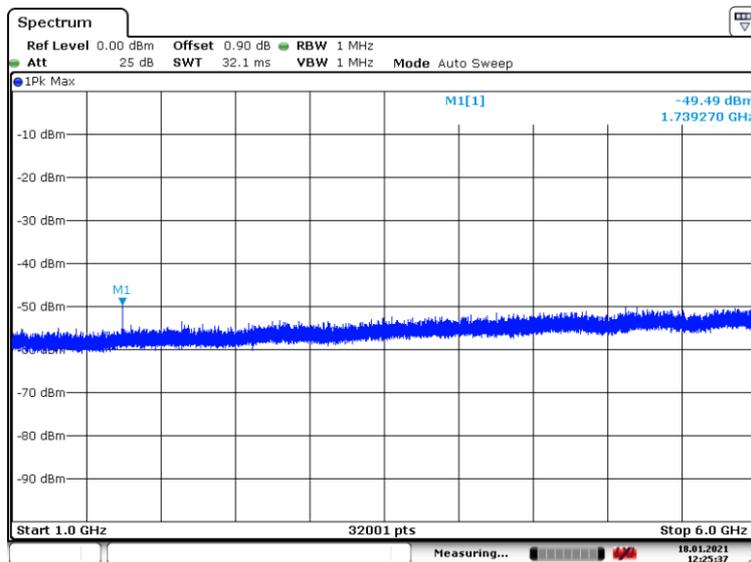
Date: 18.JAN.2021 12:23:12



Date: 18.JAN.2021 12:24:02



Date: 18.JAN.2021 12:25:07



Date: 18.JAN.2021 12:25:36

8.4 CONCLUSION SUR LES MESURES D’HARMONIQUES

Le niveau des harmoniques se situant en dessous de la valeur imposée par la norme, le respect de celle-ci est assuré en conduit. La chaine est correctement optimisée.

9 RESPECT DU NIVEAU DES HARMONIQUES (915MHZ)

Afin de valider la configuration de la chaine radio il faut vérifier la conformité à la norme FCC 15.247, des mesures de puissance des harmoniques ont été réalisées conformément au tableau ci-dessous (bande d'émission 902 MHz - 928 MHz) :

- 15.247 (d) : Spurious emission in the restricted Band (15.209(a) & 15.247(d).

Limites:

Frequency	Electrical Field Strength	Corresponding EIRP
30 ... 88 MHz	100 µV/m	- 55.2 dBm
88 ... 216 MHz	150 µV/m	- 51.7 dBm
216 ... 960 MHz	200 µV/m	-49.2 dBm
> 960 MHz	500 µV/m	-41.2 dBm

Bandes pour lesquelles des « spurious » ne doivent pas dépasser la limite ci-dessus.

MHz	MHz	MHz	GHz
0.090-0.110	16.42-16.423	399.9-410	4.5-5.15
¹ 0.495-0.505	16.69475-16.69525	608-614	5.35-5.46
2.1735-2.1905	16.80425-16.80475	960-1240	7.25-7.75
4.125-4.128	25.5-25.67	1300-1427	8.025-8.5
4.17725-4.17775	37.5-38.25	1435-1626.5	9.0-9.2
4.20725-4.20775	73-74.6	1645.5-1646.5	9.3-9.5
6.215-6.218	74.8-75.2	1660-1710	10.6-12.7
6.26775-6.26825	108-121.94	1718.8-1722.2	13.25-13.4
6.31175-6.31225	123-138	2200-2300	14.47-14.5
8.291-8.294	149.9-150.05	2310-2390	15.35-16.2
8.362-8.366	156.52475-156.52525	2483.5-2500	17.7-21.4
8.37625-8.38675	156.7-156.9	2655-2900	22.01-23.12
8.41425-8.41475	162.0125-167.17	3260-3267	23.6-24.0
12.29-12.293	167.72-173.2	3332-3339	31.2-31.8
12.51975-12.52025	240-285	3345.8-3358	36.43-36.5
12.57675-12.57725	322-335.4	3600-4400	(²)
13.36-13.41.			

¹ Until February 1, 1999, this restricted band shall be 0.490-0.510 MHz.

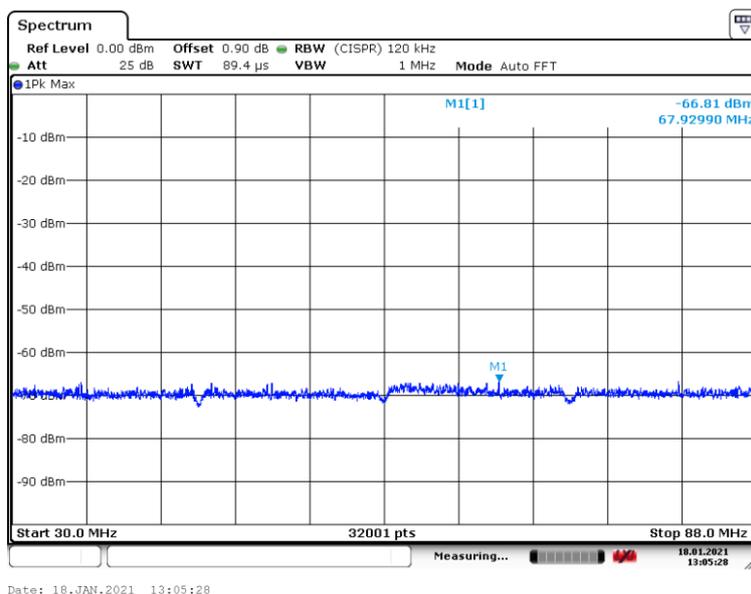
² Above 38.6

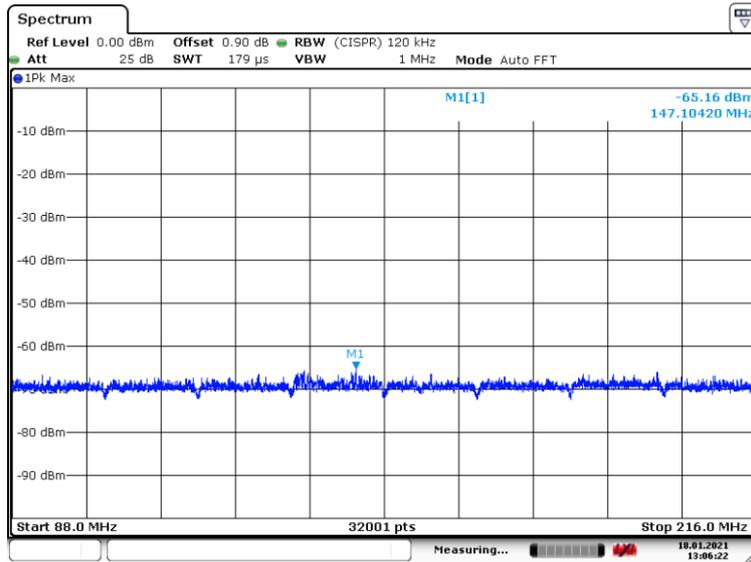
Pour les autres bandes il faut respecter les limites ci-dessus également ou alors les limites imposées par les normes concernées :

- 20dBc au bande edge (peak) bande de 100KHz ou 30 dBc (rms)

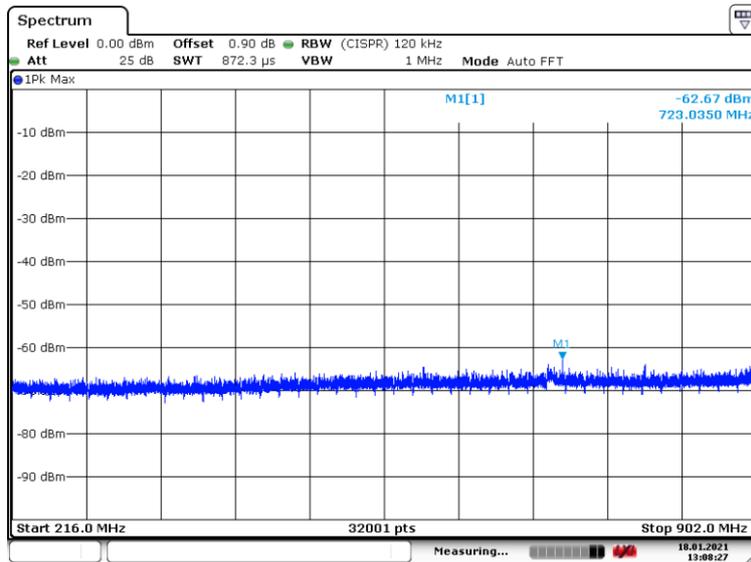
9.1 FRÉQUENCE 915 MHz

Fréquence (MHz)	915					
Bande de fréquence contrôlée	30 MHz - 88MHz	88 MHz - 216 MHz	216 MHz - 902 MHz	928 MHz - 960 MHz	960 MHz - 1GHz	1GHz - 13.6 GHz
Puissance max autorisée (dBm)	-55.2	-51.7	-49.2	-20dBc(peak) -30dBc(RMS)	-41.2	-41.2
BW (KHz)	120 KHz	120 KHz	120 KHz		1 MHz	1 MHz
Puissance mesurée (dBm)	-66.81	-65.16	-62.67		-64.54	-55.77
Résultat	PASS	PASS	PASS		PASS	PASS

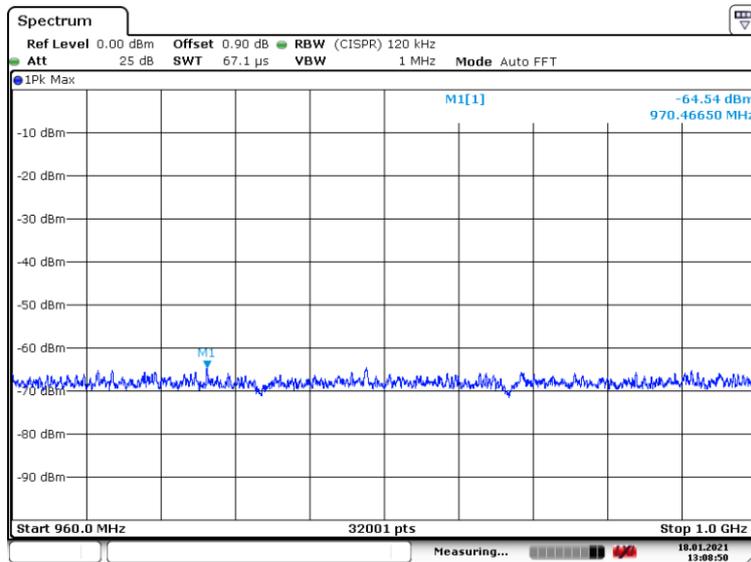




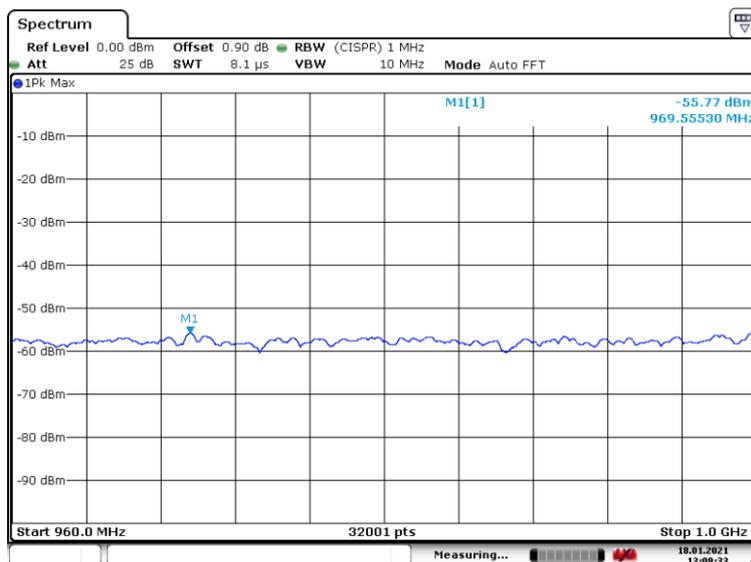
Date: 18.JAN.2021 13:06:22



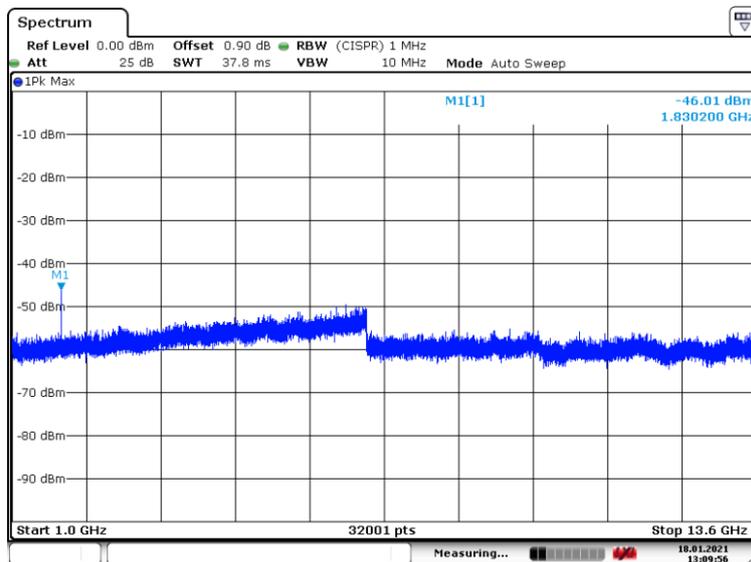
Date: 18.JAN.2021 13:08:26



Date: 18.JAN.2021 13:08:50



Date: 18.JAN.2021 13:09:33



Date: 18.JAN.2021 13:09:56

9.2 CONCLUSION SUR LES MESURES D'HARMONIQUES

Le niveau des harmoniques se situant en dessous de la valeur imposée par la norme, le respect de celle-ci est assuré en conduit. La chaine est correctement optimisée.

10 MESURES DE LA SENSIBILITÉ EN RÉCEPTION

Dans le but de valider le design de la chaine de réception, une mesure de sensibilité a été effectuée. Le DUT est placé dans une étuve afin de garantir l'intégrité des données relevées.

D'après la datasheet les seuils de sensibilité en SF7 et SF12 sont atteints respectivement pour -124dBm et -137dBm

Symbol	Description	Conditions	Min.	Typ	Max	Unit
RFS_L125	RF sensitivity, Long-Range Mode, highest LNA gain, LNA boost, 125 kHz bandwidth using split Rx/Tx path	SF = 6	-	-121	-	dBm
		SF = 7	-	-124	-	dBm
		SF = 8	-	-127	-	dBm
		SF = 9	-	-130	-	dBm
		SF = 10	-	-133	-	dBm
		SF = 11	-	-135	-	dBm
		SF = 12	-	-137	-	dBm

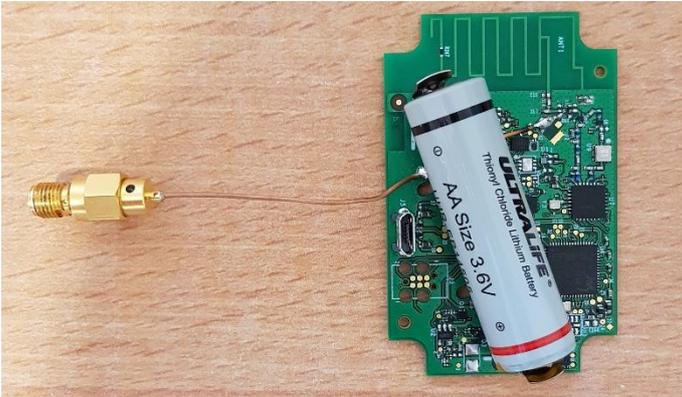
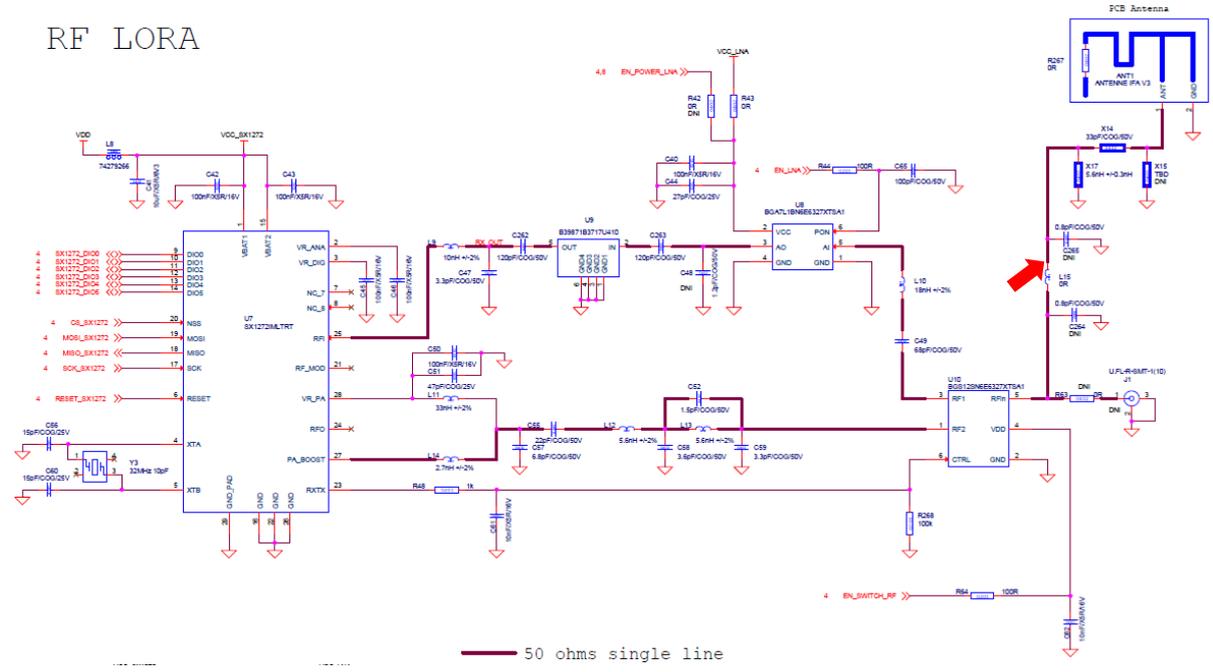
La mesure ci-dessous tient compte des différentes pertes et de la puissance émise par la carte en émission :

Sensibilité en conduit en dBm		
Fréquences en Mhz	SF = 7	SF = 12
868,1	-125.58	-138.33
868,5	-125.3	-138.55
869.525	Pas utilisé par le soft	
915	-125.1	-137.8

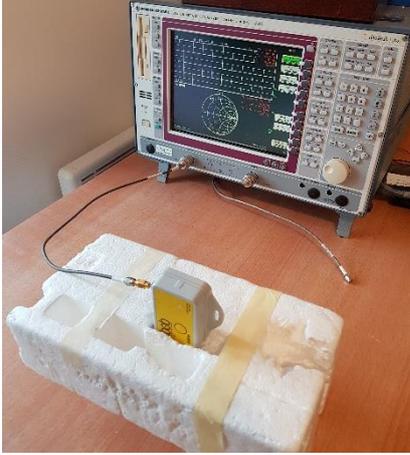
- Conclusion : OK Les seuils de sensibilité mesurés sont bien inférieurs, de l'ordre de 1 et 2dBm, à ceux annoncés par la datasheet. La chaine de réception est donc correctement optimisée.

11 MESURES DE L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE

La mesure de l'impédance de l'antenne est effectuée en aval du circuit d'adaptation (d'un point de vue antenne), sur le pad de R62 :



L'impédance de l'antenne va être mesurée comme ceci :

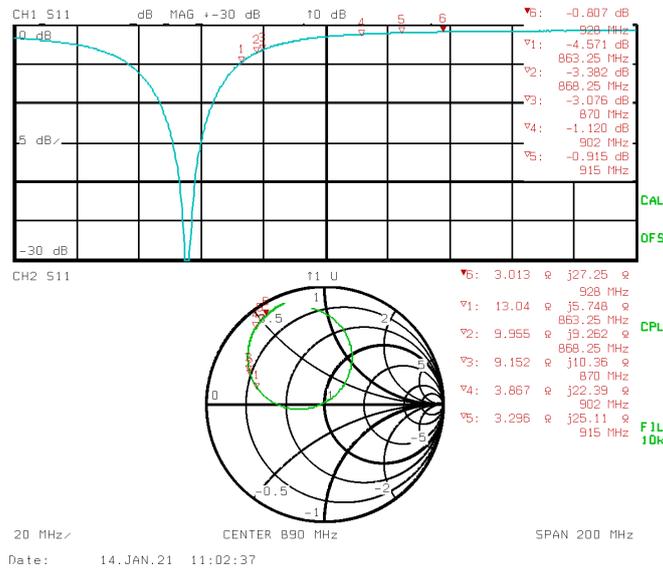


11.1 MESURE À RÉCEPTION

Des mesures préliminaires sont effectuées afin de vérifier si les circuits montés sur les cartes permettent une adaptation correcte de l'antenne.

11.1.1 Mesure en configuration 868MHz

Paramètre S11 :

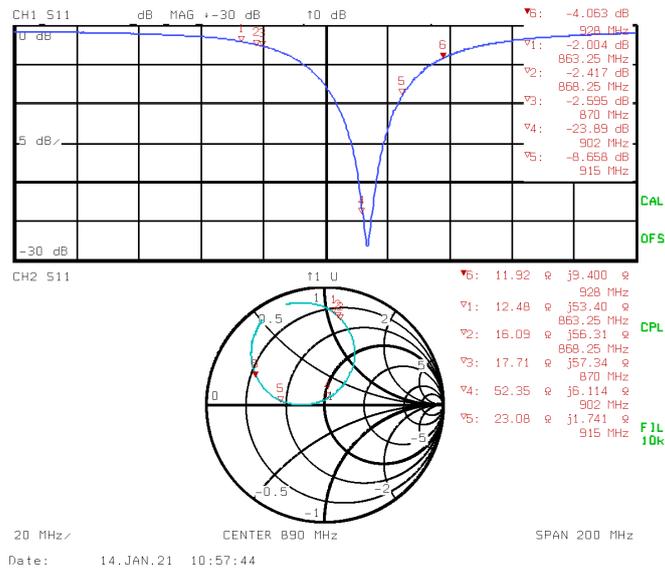


La mesure d'impédance de l'antenne présente une bande de fonctionnement a des fréquences inférieures à celle visée. Le coefficient de réflexion est supérieur à -10 dB dans toute la bande considérée.

- ➔ L'adaptation de l'antenne pourrait être améliorée en réduisant la longueur d'antenne pour recentrer l'adaptation à 868 Mhz, une nouvelle modification du routage n'étant pas envisageable l'adaptation se fera par un changement du circuit d'adaptation de l'antenne.

11.1.2 Mesure en configuration 915MHz

Paramètre S11 :



La fréquence de résonance de l'antenne est inférieure de 10 MHz à la fréquence ciblée de 915 MHz.

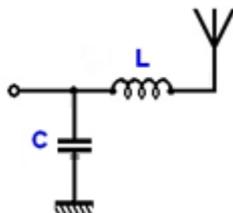
- ➔ L'adaptation de l'antenne pour cette fréquence est incorrecte. L'écart entre les 2 configurations ne permet pas d'effectuer un shift en fréquence suffisant pour passer de 868MHz à 915MHz.

11.1.3 Conclusion

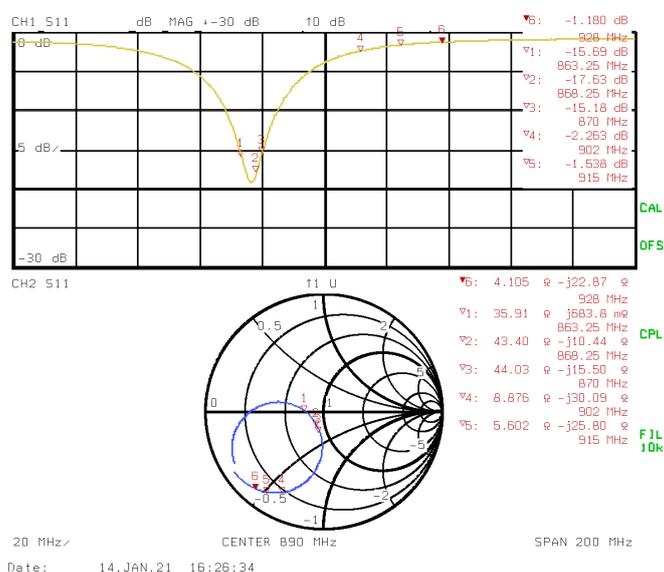
- Les circuits d'adaptations des antennes 868MHz et 915MHz présents sur les cartes ne permettent pas d'obtenir une adaptation correcte dans les bandes considérées.
- Les circuits d'adaptation doivent être modifiés.

11.2 ADAPTATION À 868MHz

Le circuit d'adaptation qui est composé d'une inductance série de 2.7nH (ref : 744 784 002 7) et d'une capacité en parallèle de 6.8pF (ref : GJM1555C1H6R8BB01).



Cette nouvelle configuration permet d'obtenir le résultat suivant :

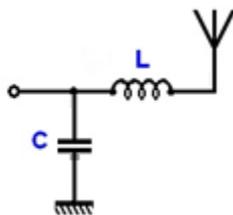


Le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB dans toute la bande considérée.

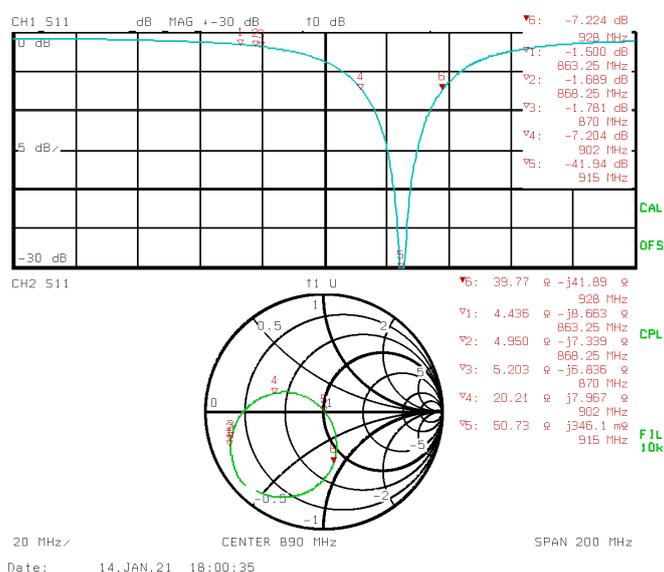
➔ L'adaptation de l'antenne est correcte

11.3 ADAPTATION À 915MHZ

Le circuit d'adaptation qui est composé d'une inductance série de 3.9nH (ref : 744 784 003 9) et d'une capacité en parallèle de 6pF (ref : GJM1555C1H6R0BB01).



La mesure d'impédance est présentée ci-dessous :



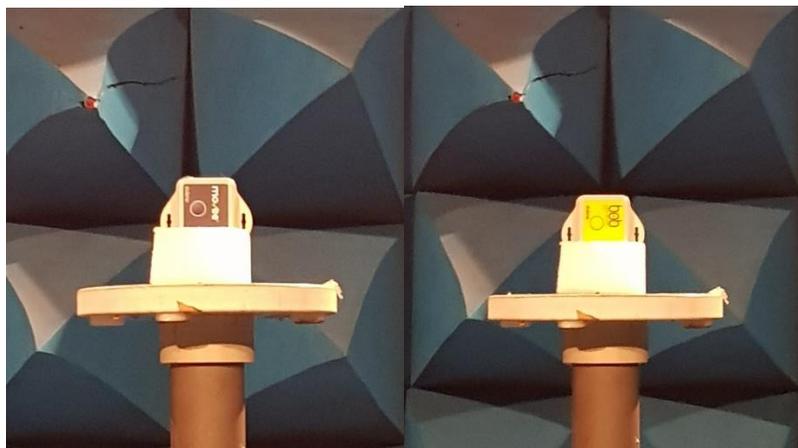
Le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB pour une fréquence de 915MHz. En limite de bande le coefficient de réflexion est légèrement supérieur à -10dB.

- ➔ L'adaptation de l'antenne est correcte en milieu de bande mais présente une légère désadaptation en bord de bande.

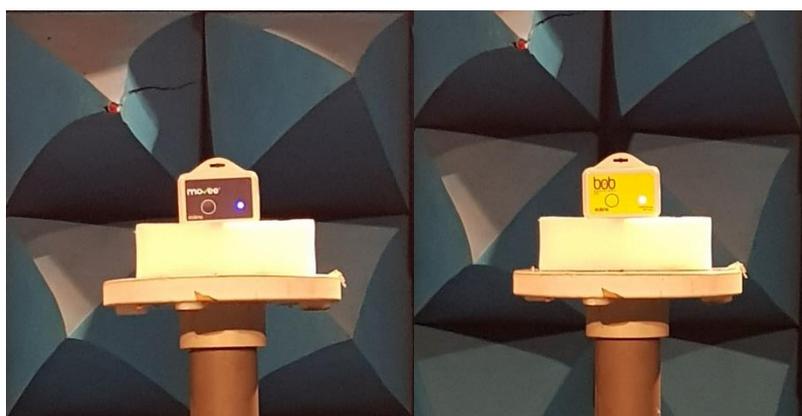
12 DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT, CHAMBRE ANÉCHOÏQUE

L'objectif est de réaliser le diagramme de rayonnement du produit à 360° en azimut, suivant 3 positions.

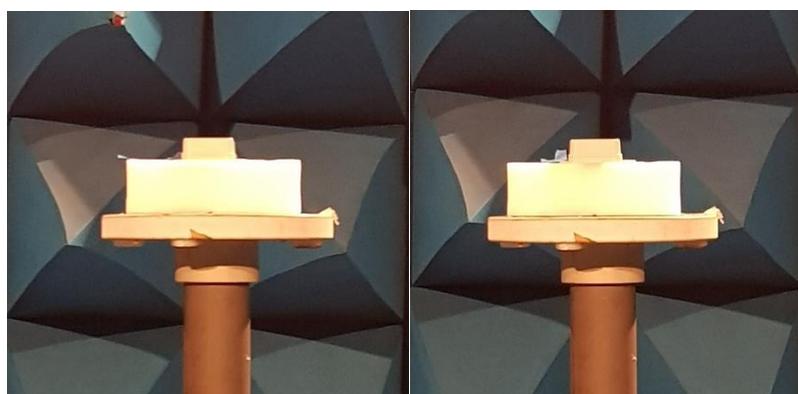
Positions d'évaluation du produit :



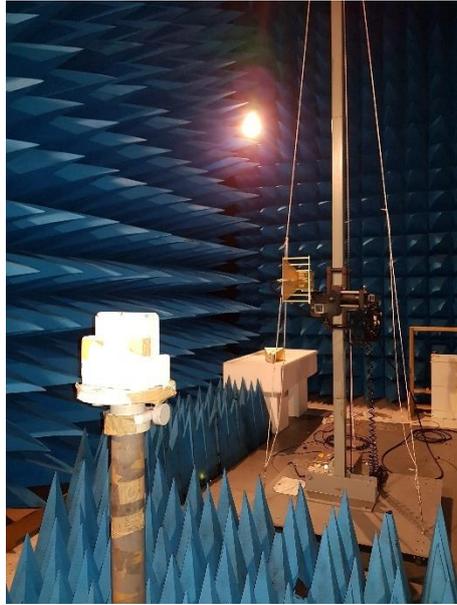
Position 1



Position 2



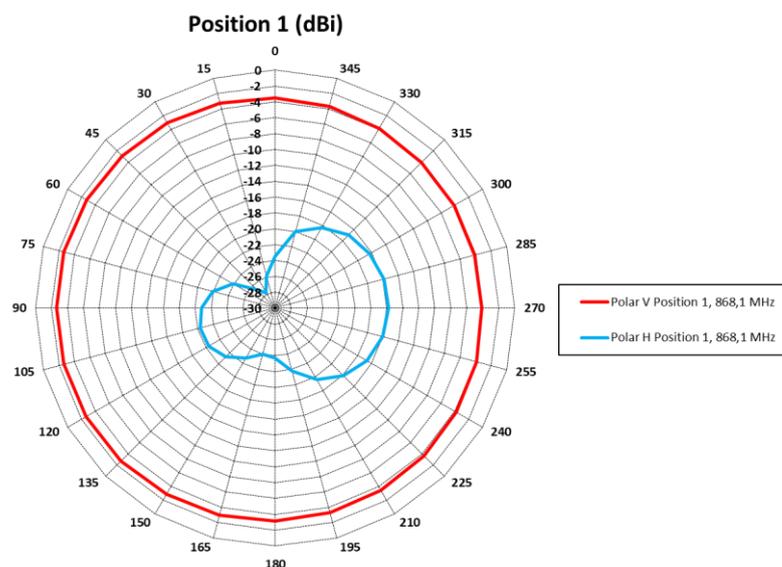
Position 3 (la led fait face à l'antenne de mesure)



Chambre anéchoïque

12.1 MESURE DE DIAGRAMME EN CHAMBRE ANÉCHOÏQUE : 868MHZ

12.1.1 Position 1

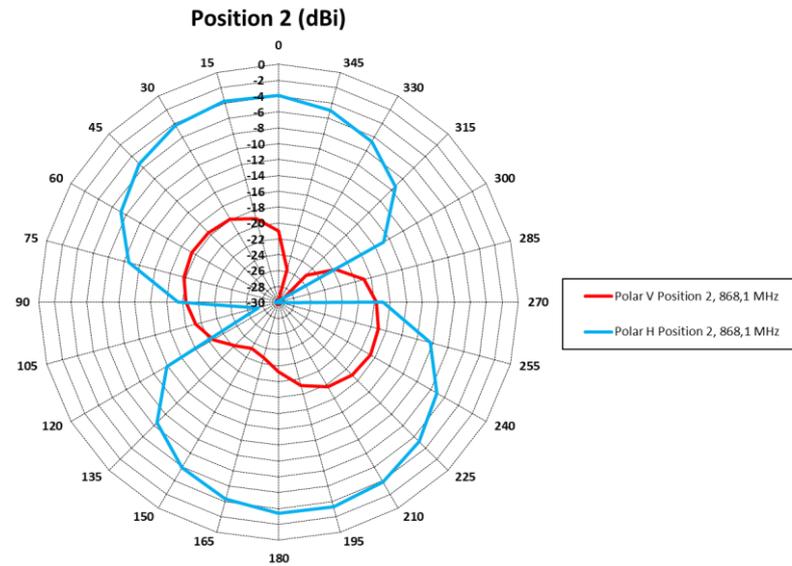


868.1MHz, Position 1 (dBi)

Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -2,6 dBi à 270°.
Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -4,1 dBi à 285°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -15,8 dBi à 270°.
Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -27,8 dBi à 30°.

12.1.2 Position 2

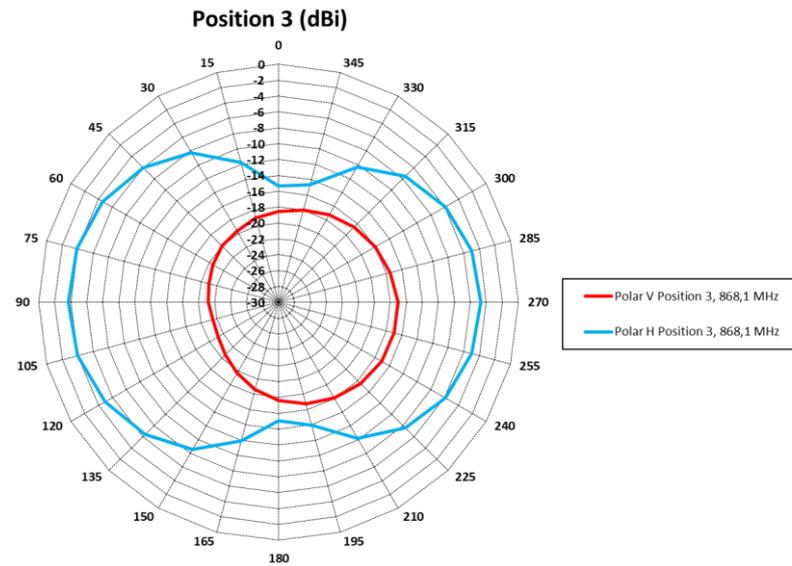


868.1MHz, Position 2 (dBi)

Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -16,8 dBi à 240°.
Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -30,4 dBi à 330°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -3,3 dBi à 195°.
Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -30,4 dBi à 285°.

12.1.3 Position 3



868.1MHz, Position 3 (dBi)

Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -15 dBi à 255°.

Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -21,5 dBi à 105°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -3,7 dBi à 90°.

Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -15,3 dBi à 0°.

12.1.4 Bilan et Analyse

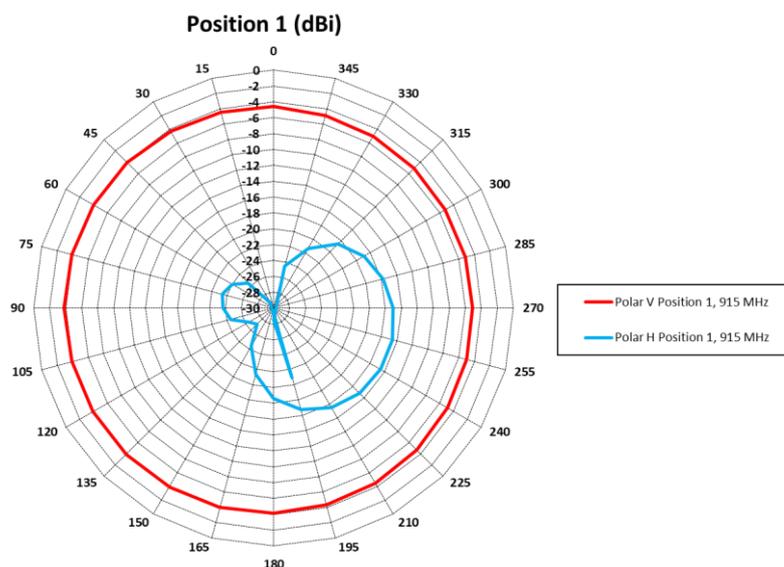
Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus en chambre anéchoïque :

Bilan	868.1 MHz		868.1 MHz		868.1 MHz	
	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale
Gain moyen (dBi)	-3,3	-19,5	-19,3	-6,6	-17,6	-6,8
Gain max (dBi)	-2,6	-15,8	-16,8	-3,3	-15,0	-3,7
Gain min (dBi)	-4,1	-27,8	-30,4	-30,4	-21,5	-15,3
Omnidirectionnalité (dB)	1,5	12,0	13,6	27,1	6,5	11,7

- L'adaptation de l'antenne permet d'obtenir un gain max de -2.6dBi.
- La configuration présentant les meilleures performances est en position 1 et polarisation verticale.

12.2 MESURE DE DIAGRAMME EN CHAMBRE ANÉCHOÏQUE : 915MHZ

12.2.1 Position 1



915 MHz, Position 1 (dBi)

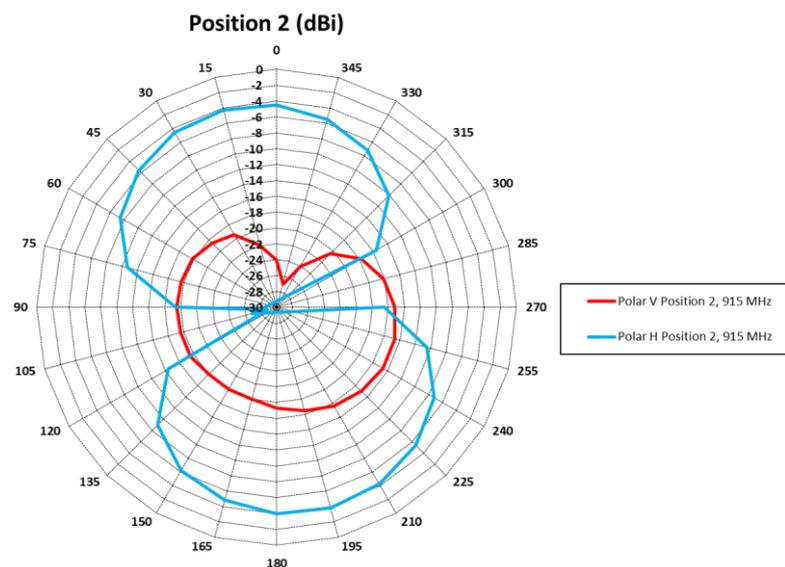
Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -3,8 dBi à 90°.

Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -5,2 dBi à 300°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -14,5 dBi à 240°.

Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -39,1 dBi à 15°.

12.2.2 Position 2



915 MHz, Position 2 (dBi)

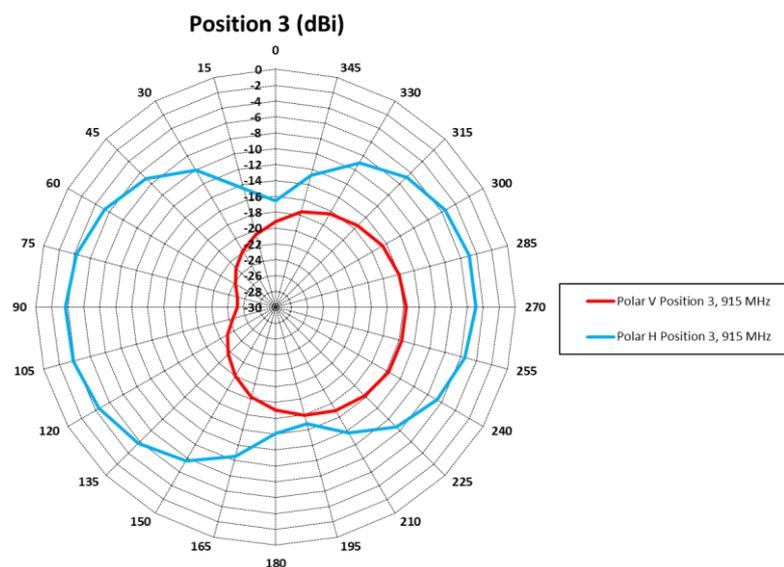
Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -14,6 dBi à 240°.

Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -27 dBi à 345°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -3,8 dBi à 195°.

Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -33,2 dBi à 285°.

12.2.3 Position 3



915 MHz, Position 3 (dBi)

Le gain maximal en polarisation verticale est de l'ordre -13,7 dBi à 255°.

Le gain minimal en polarisation verticale est de l'ordre -25,2 dBi à 90°.

Le gain maximal en polarisation horizontale est de l'ordre -3,7 dBi à 90°.

Le gain minimal en polarisation horizontale est de l'ordre -16,6 dBi à 0°.

12.2.4 Bilan et Analyse

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus en chambre anéchoïque:

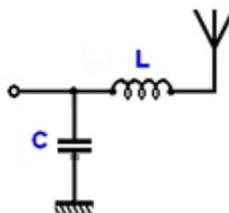
Bilan	868.1 MHz		868.1 MHz		868.1 MHz	
	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Horizontale
Gain moyen (dBi)	-4,4	-18,9	-17,5	-7,0	-17,1	-7,0
Gain max (dBi)	-3,8	-14,5	-14,6	-3,8	-13,7	-3,7
Gain min (dBi)	-5,2	-39,1	-27,0	-33,2	-25,2	-16,6
Omnidirectionnalité (dB)	1,4	24,5	12,4	29,4	11,6	12,8

- L'adaptation de l'antenne permet d'obtenir un gain max de -3.8dBi.
- La configuration présentant les meilleures performances est en position 1 et polarisation verticale.

13 ADAPTATION DE L'ANTENNE

Pour 868 MHz :

Le circuit d'adaptation qui est composé d'une inductance série de 2.7nH (ref : 744 784 002 7) et d'une capacité en parallèle de 6.8pF (ref : GJM1555C1H6R8BB01).



Pour 915 MHz :

Le circuit d'adaptation qui est composé d'une inductance série de 3.9nH (ref : 744 784 003 9) et d'une capacité en parallèle de 6pF (ref : GJM1555C1H6R0BB01).

