

## **Dynamique des STN de contest 144MHz.**

### **Partie 2 : Mesures des émetteurs**

Par François, HB9BLF

L'article précédent (partie 1), montrait la façon de calculer le bilan de propagation en espace libre entre 2 stations. La formule de Friis qui permet le calcul du niveau du signal reçu en fonction de la distance, de la longueur d'onde et de la puissance d'émission était expliquée, avec comme exemple le cas de 2 stations de contest 144MHz opérants sur des sommets distants de 60km.

Le niveau du signal reçu (-16dBm) était comparé au bruit de fond généré par l'antenne sur l'entrée du récepteur (-135dBm) ; la dynamique du signal reçu (ici 119dB) est la différence entre le bruit de fond à l'entrée du récepteur et l'amplitude du signal reçu.

La conclusion était que pour une opération sans QRM, il fallait que le bruit généré par le TX en-dehors de son canal d'émission soit 120dB plus bas que son niveau de signal utile, et aussi que les récepteurs aient une dynamique de réception qui permette de recevoir un signal « propre » ayant cette amplitude sans générer eux-mêmes des artefacts.

Nous avons mesuré la dynamique de 16 stations 144MHz. Cet article (partie 2) détaille les résultats de mesures sur la partie émission ; un prochain article (partie 3) détaillera les résultats de mesures sur les récepteurs.

Un rapport détaillé est disponible sur le site [www.hb9ww.org](http://www.hb9ww.org):

« TN2016\_12\_20\_TRX\_144MHz\_Mesures\_Vx »

Il est mis à jour chaque fois qu'il y a des nouvelles mesures.

### **Dynamique des appareils en mode TX ; la méthode de mesure**

La [fig. 1](#) à la page suivante montre l'appareillage utilisé pour les tests au laboratoire.

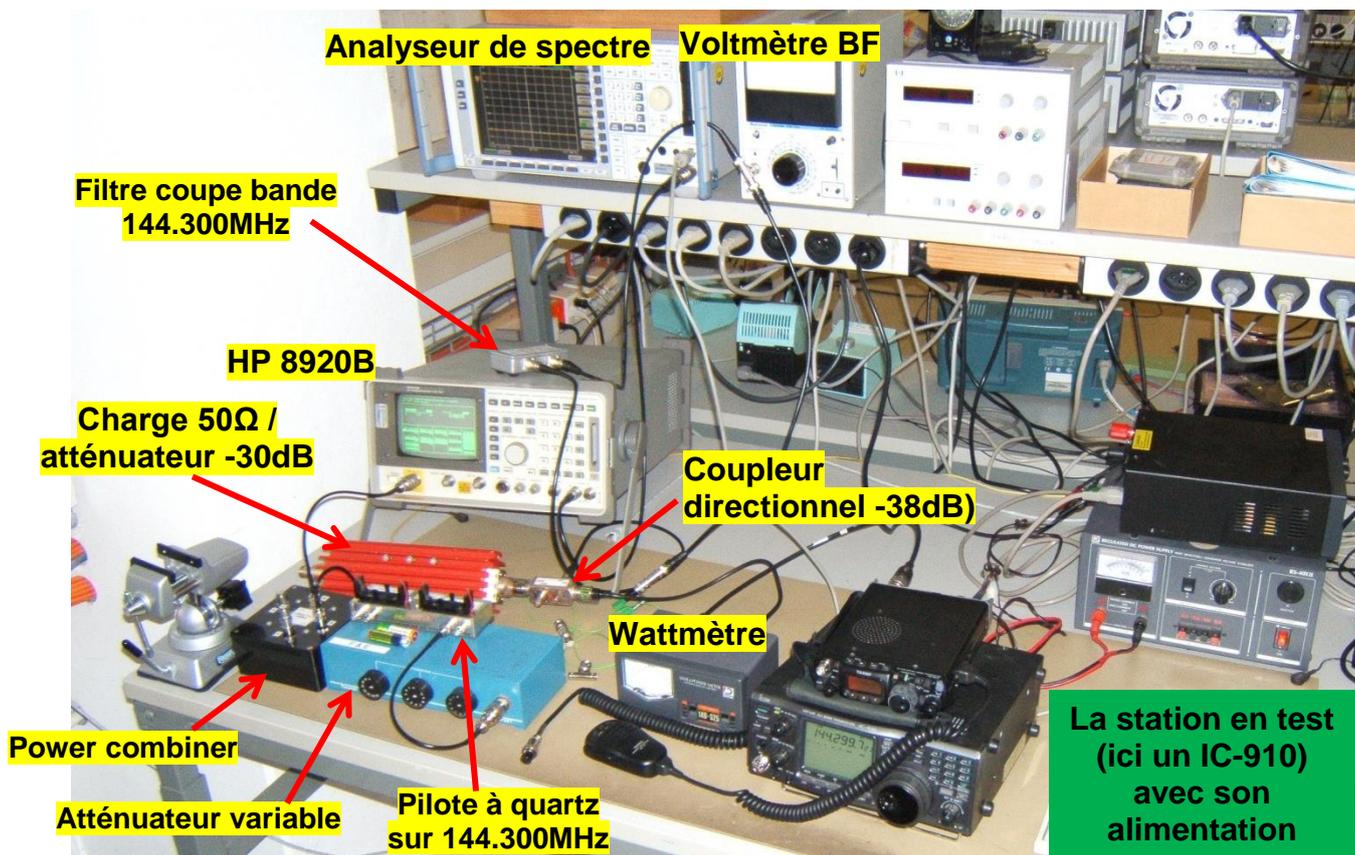
Pour tester la partie émission, nous utilisons les appareils de mesure suivants :

- Analyseur de spectre de Rohde & Schwartz « FSP » (9kHz – 13GHz)
- Atténuateur de 30dB / charge fictive 200W / 50Ω
- Coupleur directionnel -38dB
- Wattmètre « Daiwa »
- Filtre coupe-bande centré sur 144.300MHz (OM-made HB9BLF)

Nous mesurons le bruit généré par l'émetteur en-dehors de son canal d'émission, à des offsets de 10, 20, 50, 100, 200 et 300kHz par rapport à sa fréquence centrale.

Les mesures ont été faites en modes CW (Tune), SSB sans modulation (gain micro à 0) et SSB avec modulation.

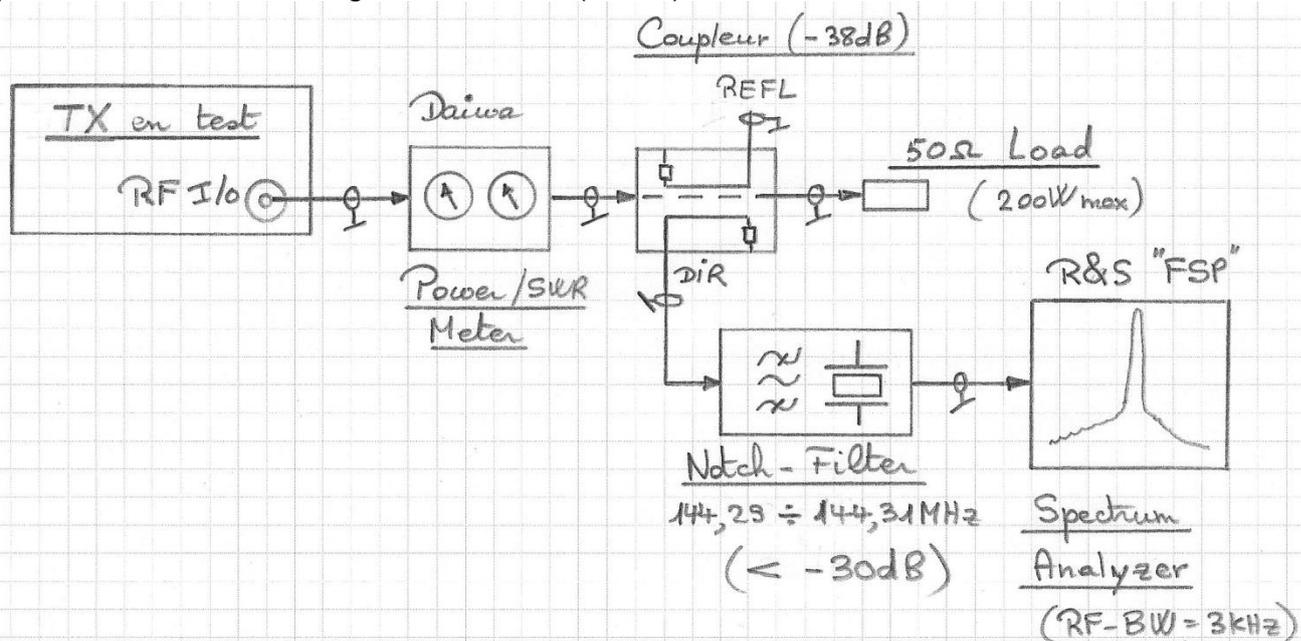
Le schéma électrique du dispositif de test est à la [fig. 2](#). La sortie de l'émetteur est connectée à travers un coupleur directionnel sur une charge fictive 50Ω / 200W. La charge fictive a aussi une sortie qui donne un signal atténué par -30dB (1/1000).



**Fig. 1 : Vue de l'appareillage utilisé pour les mesures**

La fréquence du TX est réglée sur 144,300MHz. Le niveau RF de l'appareil à tester est réglé pour sortir une puissance légèrement en dessous de sa puissance maximale.

Pour les appareils qui peuvent sortir 60 – 100W, le signal à mesurer est pris à la sortie « DIR » du coupleur -38dB ; pour les appareils moins puissants (max. 20W) le signal est pris à la sortie de la charge fictive 200W (-30dB).

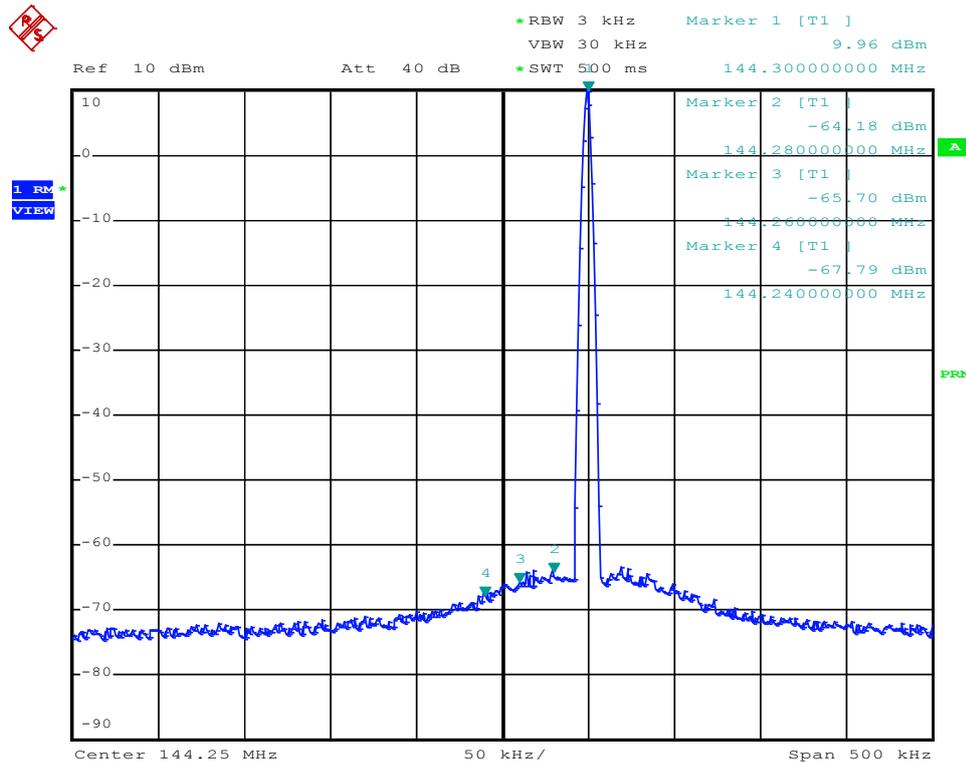


**Fig. 2 : Schéma du dispositif de test pour la partie émission**

Le niveau RF du TX est ensuite affiné pour obtenir une puissance de +10dBm (10mW) sur la sortie de mesure, en CW (Tune).

Une première mesure de puissance est faite avec la sortie de mesure connectée directement à l'analyseur de spectre, sans le filtre coupe-bande à quartz (fig. 3).

La puissance du TX est réglée pour obtenir le niveau de référence de +10dBm avec le TX réglé sur 144.300MHz (calibration). La largeur de bande de l'analyseur de spectre est réglée sur RBW=3kHz, ce qui correspond approximativement à la largeur de bande d'un signal SSB.



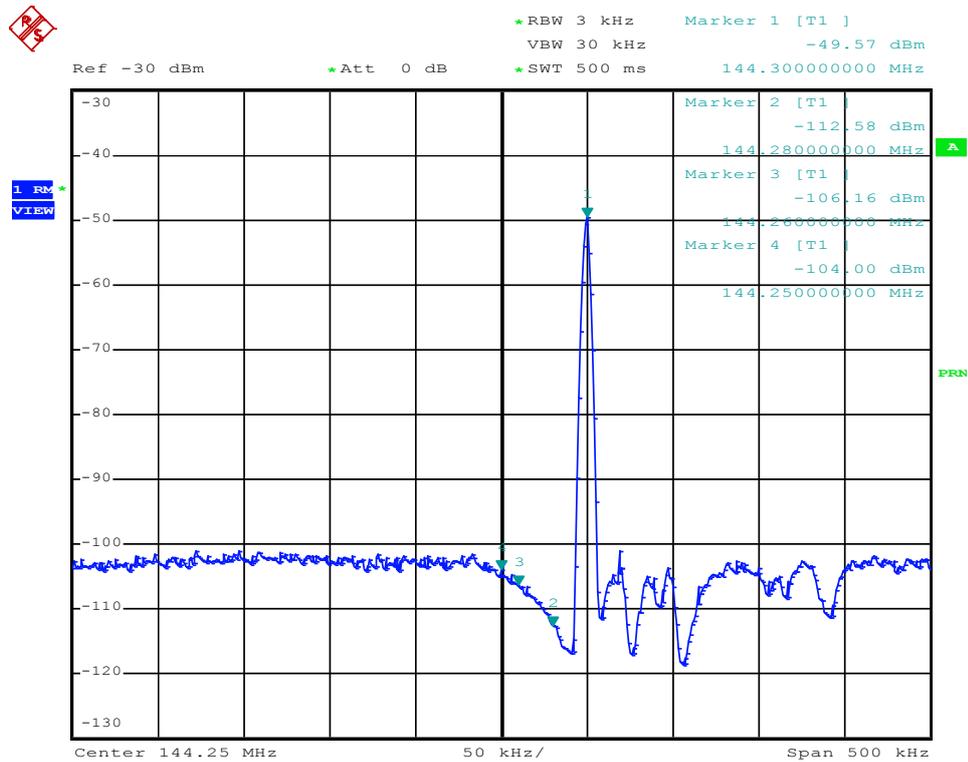
**Fig. 3 : mesure du signal de sortie CW, sans le filtre coupe-bande**

On voit à la fig. 3 des niveaux de -64dBm à -67dBm aux marqueurs entre 144,280MHz et 144,240MHz, ce qui correspond à des niveaux de bruits relatifs à la porteuse entre -74 et -77dB. Ils sont dus à la sensibilité limitée de l'analyseur de spectre et aussi à un mélange parasite avec le bruit latéral de l'oscillateur de balayage de l'analyseur.

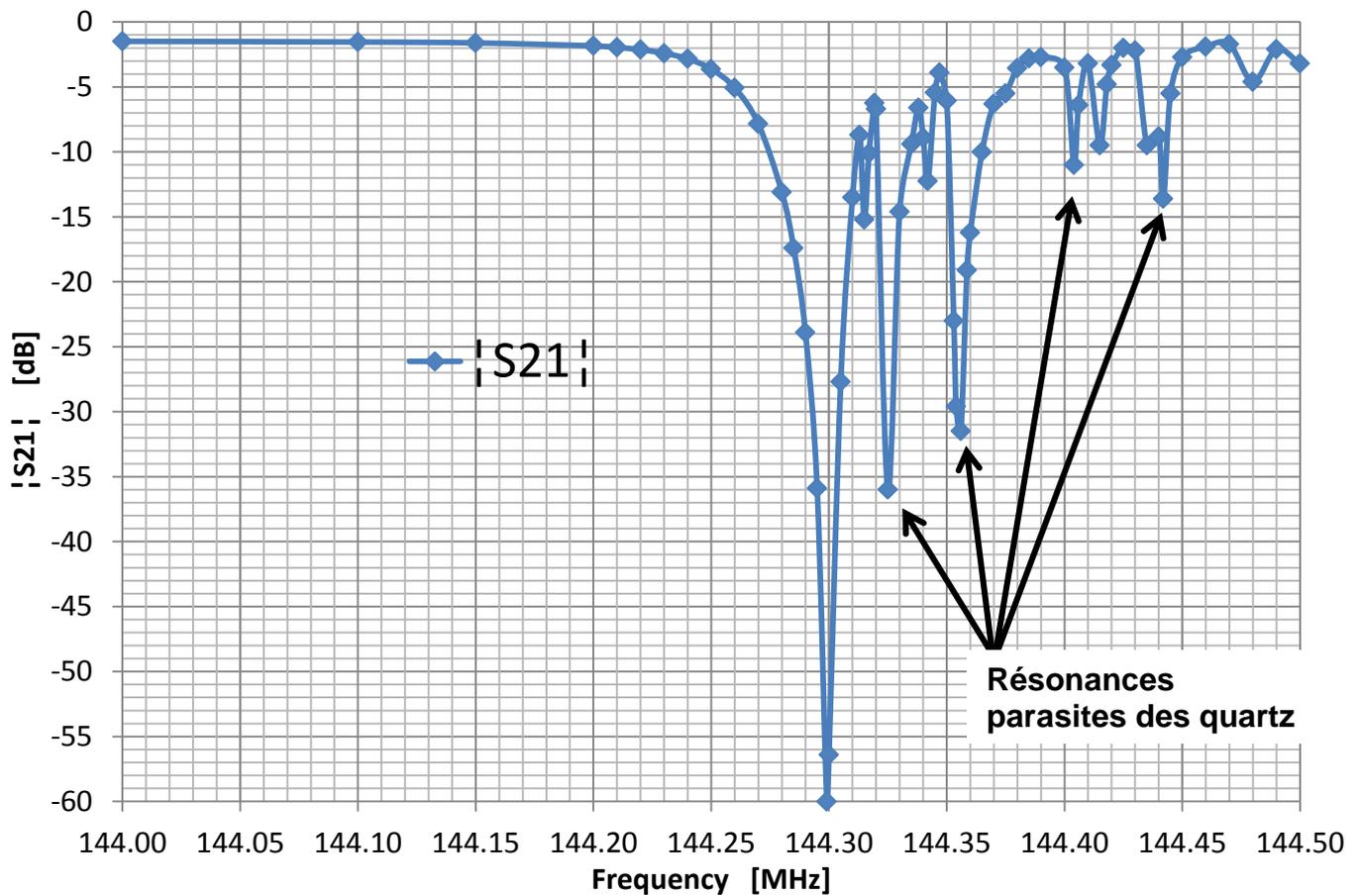
Pour éliminer ces artefacts de mesure, on insère un filtre coupe-bande étroit (à quartz) entre la sortie de mesure et l'analyseur de spectre. Cela permet d'atténuer le niveau sur la fréquence centrale par -60dB. On peut alors augmenter la sensibilité de l'analyseur de spectre (Ref-Level → -30dBm, Atténuateur → OFF), ce qui permet de voir le spectre du bruit du TX de part et d'autre de la fréquence d'émission avec une sensibilité de mesure suffisante.

Le filtre coupe bande est nécessaire pour pouvoir augmenter la sensibilité de l'analyseur. Mais il est aussi nécessaire pour éliminer l'effet parasite de mélange réciproque entre la porteuse sur 144.300MHz et le bruit latéral de l'oscillateur de balayage de l'analyseur.

La fig. 4 est le spectre du bruit d'un TX « OM-made », mesuré à travers le filtre coupe-bande à quartz. La courbe caractéristique du filtre « Notch » est donnée à la fig. 5.



**Fig. 4 : mesure du signal de sortie CW, à travers le filtre coupe-bande**



**Fig. 5 : Réponse en fréquence du filtre coupe bande**

Le filtre coupe bande utilise 2 quartz en résonance série sur 144.300MHz. Ils sont associés à des bobines et des condensateurs. Voir le schéma dans le rapport de mesures. Sur la réponse en fréquence de la figure 5, on voit un « Notch » très prononcé sur 144.300MHz avec une atténuation de -60dB. Au-dessus de 144.300MHz, il y a également des « trous » secondaires, causés par des résonances parasites des quartz (ces dernières sont toujours en-dessous de la résonance principale).

La mesure de bruit du signal TX sera faite dans la zone « propre », c.-à-d. hors des résonances parasites des quartz (→ en-dessous de 144.300 MHz).

Les mesures seront corrigées en fonction de l'atténuation du filtre aux différentes fréquences (-12.3dB @ 144.280MHz, -4.9dB @ 144.26MHz, -1.8dB @ 144.20MHz, etc.)

La dynamique est le rapport entre le niveau  $P_{TX}$  (= +10dBm) de la porteuse CW sur  $f_{TX} = 144.3MHz$  et le niveau du bruit  $P_{NOISE}$  généré dans une largeur de bande « SSB » ( $BW = 3kHz$ ) à un offset en fréquence  $\Delta f$  de la fréquence d'émission, corrigé par l'atténuation de filtre « Notch » à quartz.

$$Dyn_{TX}[dBm] = P_{TX}[dBm] - P_{NOISE}[dBm] + G_{XTAL-FILTER}(dB)$$

Le tableau suivant est tiré des figures 4 et 5. Il donne le niveau de bruit généré par le TX « OM-made » à différentes fréquences en mode CW (Tune). Le bruit a une amplitude constante entre 144,00 et 144,28MHz. Son niveau est 110dB en-dessous de l'amplitude du signal utile sur 144.300MHz. C'est insuffisant si l'on considère une exigence de réjection de 120dB.

CW, 10W out; through -30dB attenuator. Ref Level = +10dBm			
Frequency [MHz]	Noise level [dB]	XTAL notch filter attenuation [dB]	S/N ratio [dB] (Dynamique TX)
144.280	-112.6	-12.3	<b>110.3</b>
144.260	-106.2	-4.9	<b>111.3</b>
144.250	-104.0	-3.5	<b>110.5</b>
144.240	-102.8	-2.8	<b>110.0</b>
144.200	-101.9	-1.8	<b>110.1</b>
144.150	-102.5	-1.6	<b>110.9</b>

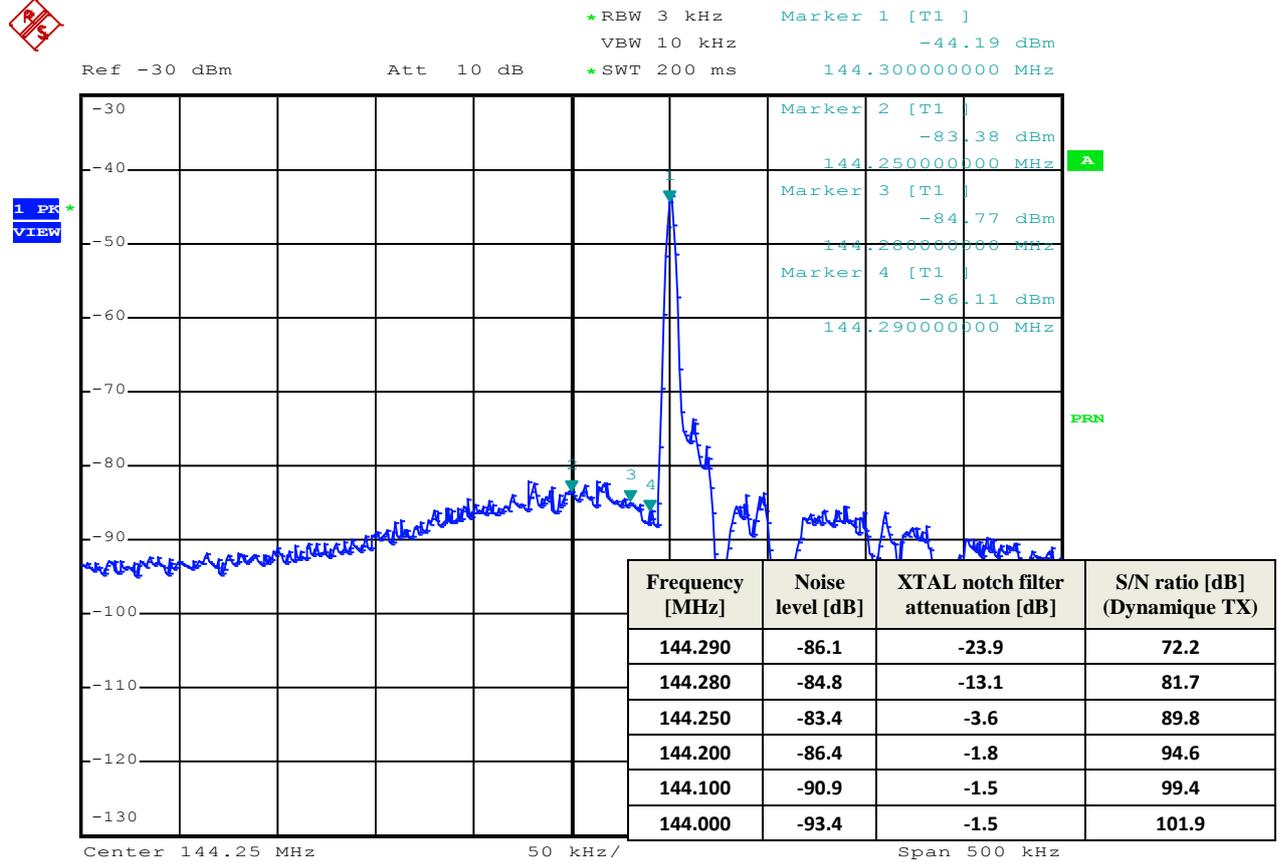
**Tableau 1 : exemple de calcul de la dynamique en fonction des points de mesures de la fig. 4**

Les mesures de bruit ont été répétées en mode SSB (avec, puis sans modulation microphonique).

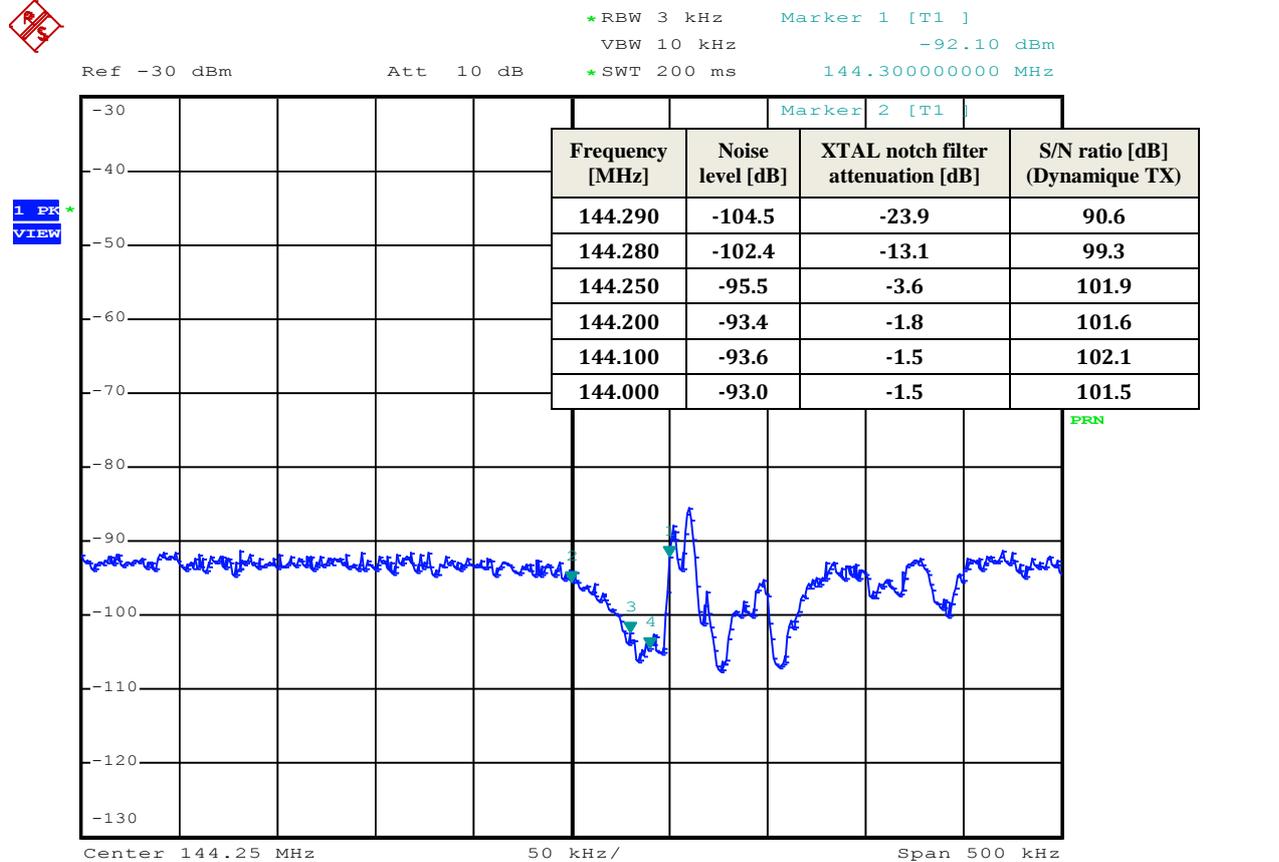
Un exemple est donné avec l'IC-7400, aux figures 6a (SSB, CQ-call) et 6b (SSB, sans modulation micro).

A la fig. 6a, le niveau de bruit est entre 10 – 20dB plus élevé que ce qui a été mesuré sur la STN OM-made à la fig. 4. Le bruit diminue quand on s'éloigne de la fréquence centrale, suivant une caractéristique en  $1/\Delta f^2$ . Il diminue grosso-modo de 6dB chaque fois que l'offset par rapport à la fréquence centrale est doublé. Cela correspond à la figure de bruit du VFO.

Plus bas que  $f = 144,150MHz$ , il ne diminue plus. A ces fréquences, c'est le bruit large-bande de la chaîne d'amplification RF qui domine, avec un niveau d'environ -101dBc (le niveau de bruit mesuré sans modulation microphonique, comme à la fig. 6b).



**Fig. 6a : IC-7400 ; spectre du bruit en mode SSB (CQ-call)**



**Fig. 6b : IC-7400 ; spectre du bruit en mode SSB (sans modulation)**

Dynamique des appareils en mode TX ; Résultats

Le tableau suivant donne le rapport signal / bruit mesuré sur les appareils, à différents offsets en fréquence par rapport à la fréquence TX, en mode CW.

Le bruit mesuré en mode SSB avec « pleine » modulation était dans la plupart des cas le même qu'en CW, excepté pour le FT-736 ; pour ce dernier 2 mesures sont données, une en mode SSB et une autre en mode CW.

Appareil	Niveau de bruit relatif au niveau de la porteuse CW [dBc] mesuré dans une largeur de bande "SSB" de 3KHz			
	$\Delta f = 20\text{kHz}$	$\Delta f = 50\text{kHz}$	$\Delta f = 100\text{kHz}$	$\Delta f = 200\text{kHz}$
OM-made	-110	<b>-110</b>	-110	-111
K3-TCVR144	-95	<b>-100</b>	-102	-105
IC-202-S	-85	<b>-100</b>	-101	-102
IC-251-E	-95	<b>-99</b>	-100	-101
IC-275	-92	<b>-98</b>	-100	-102
TS-2000	-84	<b>-94</b>	-98	-102
FT-736-R (SSB)	-81	<b>-94</b>	-95	-106
FT-817	-88	<b>-94</b>	-94	-94
FT-897	-82	<b>-91</b>	-94	-92
FT-857	-84	<b>-91</b>	-93	-96
IC-7400	-80	<b>-90</b>	-96	-101
IC-7000	-88	<b>-91</b>	-93	-95
KX3-TCVR144	-85	<b>-90</b>	-92	-94
IC-910	-79	<b>-89</b>	-92	-97
TS-790E	-81	<b>-89</b>	-90	-89
FT-225-RD original	-82	<b>-88</b>	-95	-103
FT-991-A	-78	<b>-81</b>	-83	-85
FT-736-R (CW)	-73	<b>-79</b>	-86	-99
TS-700	-68	<b>-67</b>	-96	-101

Les appareils sont classés en fonction de leur réjection du bruit à un offset en fréquence de  $\Delta f=50\text{kHz}$ . La raison du choix de ce critère de classement est qu'à partir de cet offset en fréquence, le récepteur qui pourrait souffrir du QRM de cette station a normalement une sélectivité optimale, ce qui n'est pas forcément le cas à un offset de 20kHz. A fortiori, à partir d'un offset de 50 - 100kHz, on s'attend à ne plus avoir la réception perturbée par une station voisine forte...

Les graphiques suivants aux figures 7a et 7b montrent l'allure du spectre de bruit en fonction de l'offset en fréquence. Ils sont un condensé des résultats de mesure.

La dynamique est définie comme le rapport entre le niveau  $P_{TX}$  de la porteuse CW sur  $f_{TX} = 144.3\text{MHz}$  et le niveau du bruit  $P_{NOISE}$  généré dans une largeur de bande « SSB » ( $BW = 3\text{kHz}$ ) à un offset en fréquence  $\Delta f$  de la fréquence d'émission.

$$Dyn(TX) = P_{TX}/P_{NOISE}$$

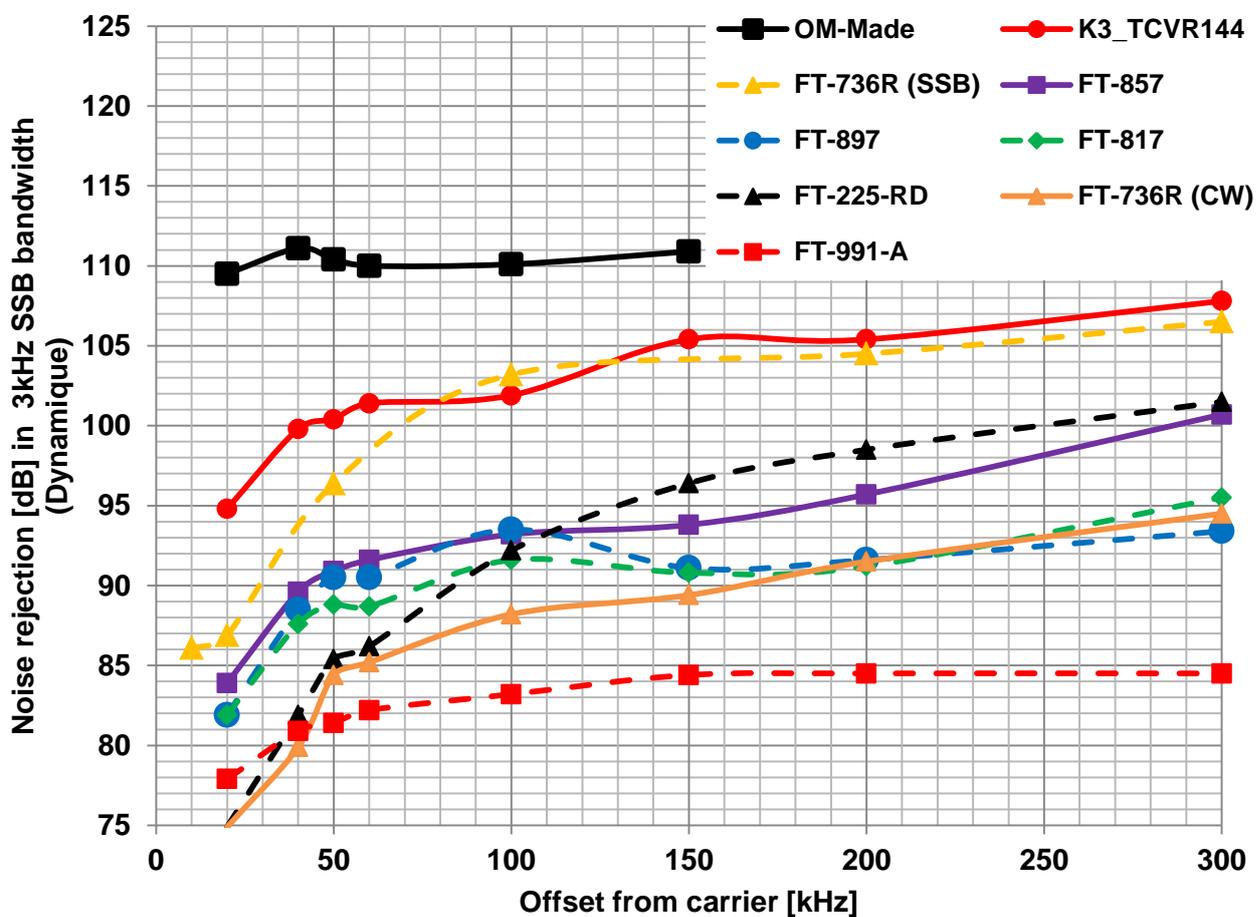
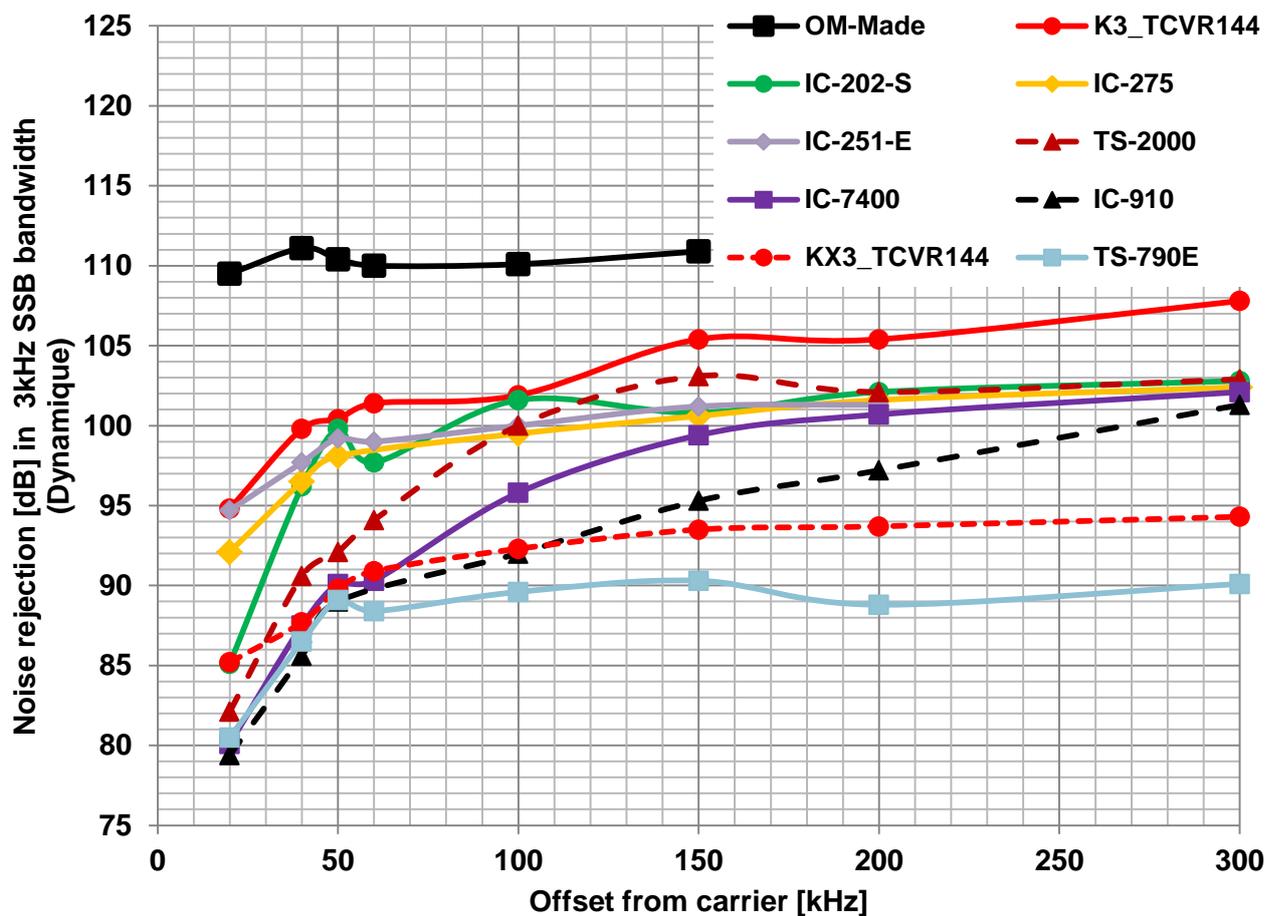


Fig. 7a et 7b : Dynamique de divers TX en fonction de l'offset en fréquence

Le FT-736R a un spectre nettement meilleur en SSB qu'en CW... Une cause probable serait-elle que le signal CW généré à la fréquence IF ne passe pas à travers un filtre céramique, contrairement au signal SSB ?

Les appareils qui ont la meilleure dynamique en émission CW (le plus faible bruit parasite en-dehors de la fréquence TX) sont :

- STN OM-made
- K3 + transverter 144MHz
- IC-202
- IC-275
- IC-251 E

Ces appareils atteignent une dynamique de 95-100dB à un offset en fréquence de 50kHz et dépassent les 100dB pour un offset plus grand ou égal à 100kHz. Cependant, aucun (même parmi les meilleurs) n'atteint la dynamique TX désirée de 120dB.

#### Bruit émis en mode SSB, sans modulation microphonique

Un autre phénomène parasite généré par les émetteurs est le bruit émis sur toute la bande en mode SSB, même sans modulation microphonique, lorsque la touche PTT du micro est pressée. Le tableau suivant donne les niveaux de ces bruits.

Ce phénomène peut être **très gênant**, car dans ce cas, votre réception est brouillée par du bruit tant que l'opérateur maintient la touche PTT pressée. Il ne sert à rien de vous éloigner de la fréquence de cette station, car le bruit reste le même. Vous ne pouvez entendre les DX intéressants que si l'opérateur lâche le PTT, c.-à-d. lorsqu'il reçoit lui-même une station.



Cela peut générer des sentiments peu amènes chez l'opérateur du récepteur victime de ce problème...

Les appareils ayant le niveau de bruit de fond le plus bas en mode SSB pendant les silences de l'opérateur sont les suivants :

- IC-7000 mais seulement sans modulation. (Mais, voir la fig. 21.1... !)
- K3+TCVR144MHz
- FT-736-R (mais il a des pics parasites = « oiseaux » tous les 20kHz...)
- IC-251-E
- IC-202-S.

Bruit généré en mode SSB, sans modulation microphonique

<u>Appareil</u>	Niveau de bruit relatif à la porteuse [dBc], mesuré à un offset $\Delta f$ de la fréquence d'émission (Mode SSB, mais sans modulation)	
	$\Delta f = 100\text{kHz}$	$\Delta f = 200\text{kHz}$
IC-7000	-123	-123
OM-made	-110	-111
K3-TCVR144	-110	-109
FT-736-R original	-106	-108
IC-251-E	-106	-106
IC-202-S	-104	-105
TS-700	-102	-106
IC-7400	-102	-102
FT-225-RD original	-100	-101
IC-275	-96	-98
TS-2000	-97	-97
FT-857	-97	-96
FT-817	-94	-94
KX3-TCVR144	-94	-91
FT-897	-91	-89
IC-910	-85	-93
TS-790E	-87	-87
FT-991-A	-81	-81

### Conclusions

Il n'est pas étonnant que des perturbations réciproques soient constatées lors de chaque contest VHF-144MHz entre des stations QRO opérant sur des points hauts.

La cause principale est la dynamique insuffisante des stations de base.

En émission, les TX génèrent du bruit en-dehors de leur bande d'émission normale et avec des niveaux variables d'un appareil à l'autre. On peut repérer 2 sources de bruits parasites principales :

1. Le VFO génère du bruit autour de sa fréquence, comme tout oscillateur. Ce bruit diminue lorsque l'on s'éloigne de la fréquence centrale, en suivant « normalement » une caractéristique en  $1/(\Delta f)^2$ ,  $\Delta f$  étant l'offset en fréquence par rapport à la fréquence centrale. Tout près de la fréquence centrale d'émission, c'est le bruit du VFO qui domine.
2. Le bruit thermique généré par la chaîne TX. C'est du bruit « blanc », d'amplitude constante sur toute la bande. Il est généré après le dernier filtre IF de la partie TX. Il provoque l'apparition de bruit de souffle sur toute la bande chez le RX « victime », lorsque la touche du « PTT » est pressée, même en l'absence de modulation microphonique. C'est le défaut le plus embêtant pour ceux qui opèrent depuis les sommets voisins ; ils essayent de réduire cette perturbation en s'éloignant de la fréquence du gêneur, mais ça ne sert à rien car ce bruit résiduel a une amplitude constante sur toute la bande...
3. Le QRM généré par une mauvaise linéarité des amplis ou une sur-modulation n'affecte le spectre du TX que sur des fréquences proches de la fréquence d'émission (jusqu'à 20 – 30kHz). Ce fait a été mis en avant par Emil HB9BAT lors de démonstrations faites à la SUNe et lors de la rencontre USKA à Payerne. Emil a fait la démonstration qu'un ampli fortement non linéaire, mais drivé par un TX propre (par exemple IC-202), générerait nettement moins de QRM à partir d'un offset de 20kHz qu'un ampli « propre » drivé par un TX ayant une dynamique insuffisante (exemple IC-910)

Meilleures 73,  
François, HB9BLF