

Dynamique des STN de contest 144MHz

Partie 3 : Mesures des récepteurs

François Callias, HB9BLF

Le 1^{er} article, paru dans le HRadio 2/2018, présentait le calcul du bilan de propagation en espace libre entre 2 stations. Dans le cas d'un récepteur placé à 60km d'une station QRO opérant avec 1KW et un bon groupement d'antenne, la formule de Friis calculait un niveau de signal reçu de 25 microwatts ($P_{RX} = -16dBm$). La dynamique du signal reçu (119dB) est la différence entre ce niveau de -16dBm et le bruit reçu par l'antenne de réception ($P_{NOISE} = -135dBm$).

Le 2^{ème} article, paru dans le HRadio 4/2018 décrivait les mesures de la dynamique des émetteurs (19 appareils mesurés).

Ce 3^{ème} article décrit les mesures de dynamique des récepteurs.

Un rapport détaillé est disponible sur le site www.hb9ww.org/technique/divers.

Méthode de mesure

La fig. 1 montre la table de labo avec les appareils. Pour tester les récepteurs, nous utilisons les équipements suivants :

- HP 8920B, appareil de mesure pour modulations analogiques 400kHz - 1GHz
- Oscillateur à quartz centré sur 144.300MHz, $P_{OUT} = -10dBm$
- Atténuateur variable 0... - 100dB
- Power Combiner / Splitter 144MHz
- Voltmètre basse fréquence (BF)

Le schéma du dispositif de test est à la fig. 2. L'entrée du récepteur est connectée à travers un « power combiner » à l'appareil de test RF (HP-8920B), qui donne un signal CW de faible amplitude sur la fréquence à recevoir (f_{RF}), et à une source de signal perturbateur qui est un oscillateur à quartz.

Le signal perturbateur est une porteuse pure sur $f_{Interferer} = 144.300MHz$ ayant un niveau entre -10Bm (100µW) et -50dBm. Un atténuateur variable en série permet de régler son amplitude.

Le récepteur est testé en mode SSB. Sa sortie audio est envoyée en parallèle sur l'entrée audio du HP-8920B et sur le voltmètre BF.

On mesure tout d'abord la sensibilité du récepteur.

Ensuite, on mesure sa résistance à un signal perturbateur de forte amplitude.

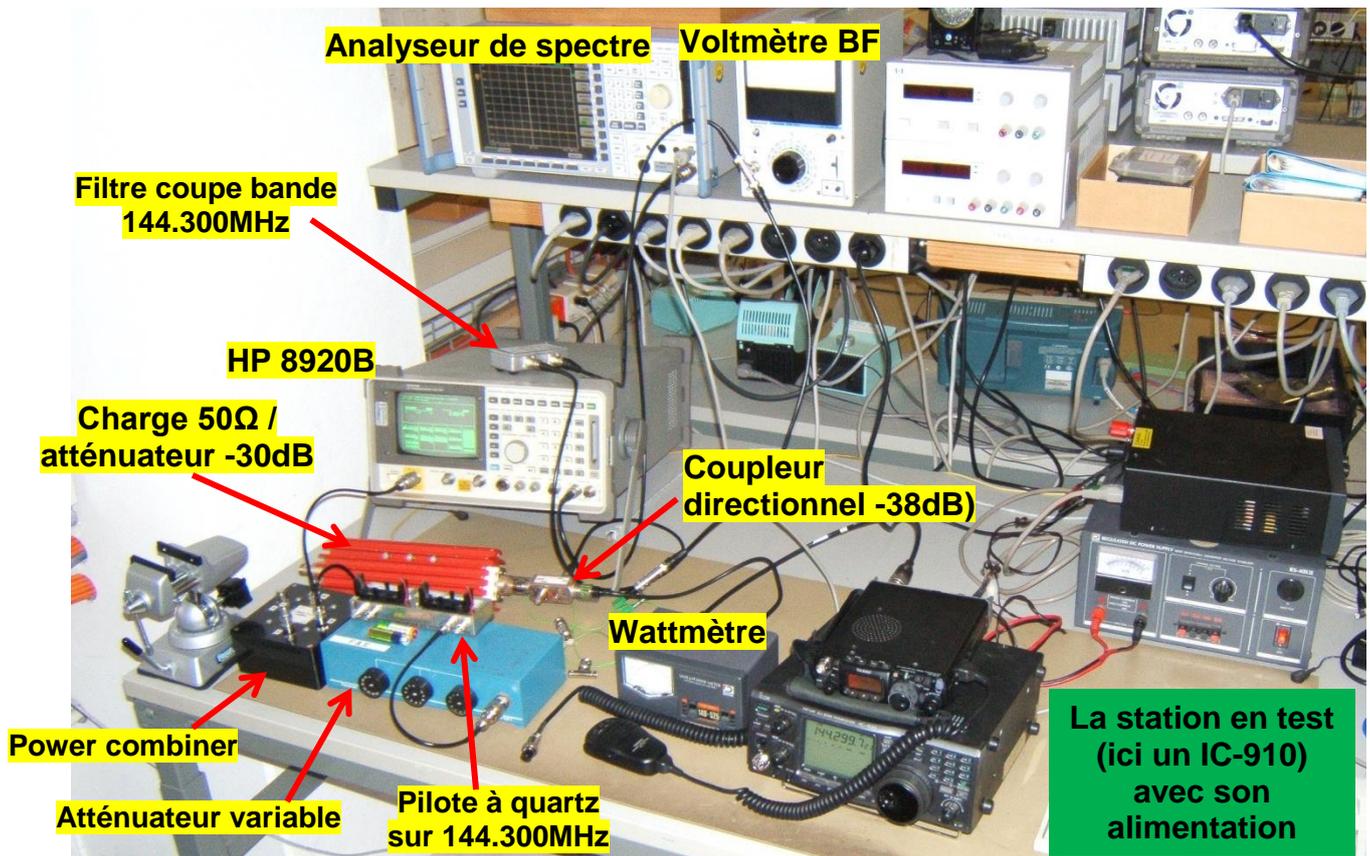


Fig. 1 : L'appareillage utilisé pour les mesures

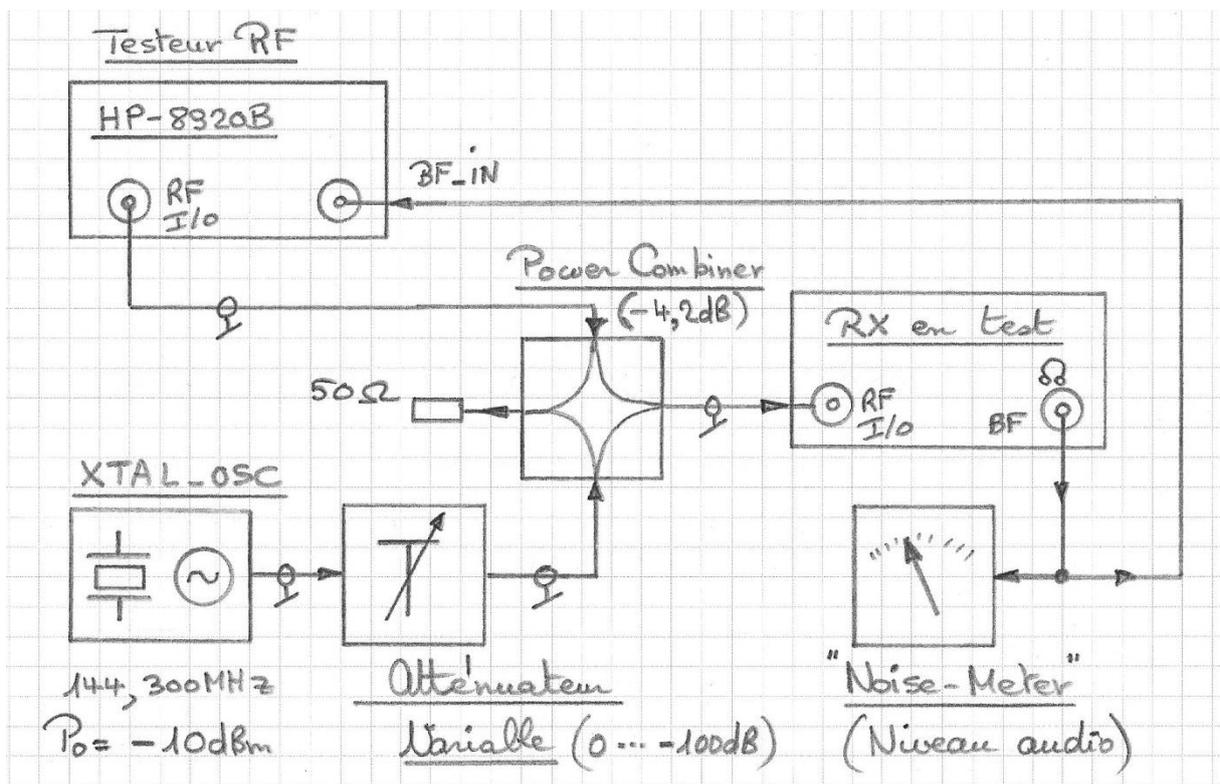


Fig. 2 : Schéma du système de test

Mesure de la sensibilité

La sensibilité du récepteur est mesurée sans signal perturbateur.

Le récepteur est réglé sur une fréquence dans la bande SSB (Entre 144.250 et 144,280MHz). On règle tout d'abord le volume audio du récepteur sans appliquer de signal RF à l'entrée, pour obtenir un niveau de bruit au voltmètre BF de 0dB (correspondant à 100mV sur le voltmètre utilisé ici).

Ensuite, on envoie à l'aide du générateur RF du HP-8920B un signal CW sur la fréquence de réception avec un niveau faible ($P_{RF} = -130dBm \dots -100dBm$).

On règle le niveau du signal CW du générateur pour que le niveau du signal audio (Tonalité de battement + bruit) soit 10dB au-dessus du niveau de bruit initial.

$$SNR = \frac{S + N}{N} = 10dB$$

S = niveau audio avec réception du signal CW
N = niveau du bruit de fond (Noise) sans signal reçu

Le bruit équivalent d'entrée du récepteur (seuil de sensibilité) vaut :

$$P_{NOISE}(RX - IN) = P_{RF}(HP - 8920B) - 9,5dB - 4,2dB$$

Dans la formule ci-dessus, les 9,5dB sont liés au SNR mesuré de 10dB. Les 4,2dB sont pour compenser l'atténuation du « Power-Combiner » (Voir fig. 2).

Niveau de signal du HP8920B pour $SNR = 10dB$ (mesure) :	-124.5	[dBm]
Pertes à travers l'additionneur et les câbles :	-4.2	[dB]
Correction pour tenir compte du $SNR = 10dB$	-9.5	[dB]
Niveau équivalent de bruit à l'entrée du RX :	-138.2	[dBm]

Tableau 1 : Calcul de la sensibilité du FT-736

La mesure de la sensibilité servira pour le calcul de la dynamique du récepteur.

Résistance au blocage par des signaux forts

Un signal fort reçu sur une fréquence voisine du canal de réception cause une réduction de sensibilité (blocage). Deux mécanismes distincts en sont la cause :

1. Augmentation du bruit de fond sur la fréquence à recevoir
2. Réduction du SNR par compression du signal reçu dans le récepteur

Les 2 effets peuvent se combiner. Nous avons cependant constaté que pour la plupart des appareils, l'augmentation du bruit apparaissait en premier.

L'augmentation du bruit de fond est causée par un phénomène appelé mélange réciproque.

Dans un récepteur superhétérodyne classique (schéma à la fig. 3), le signal reçu par l'antenne est converti sur une fréquence intermédiaire (IF) plus basse. Sur la fréquence IF se trouvent les filtres céramiques et à quartz qui assurent la sélectivité.

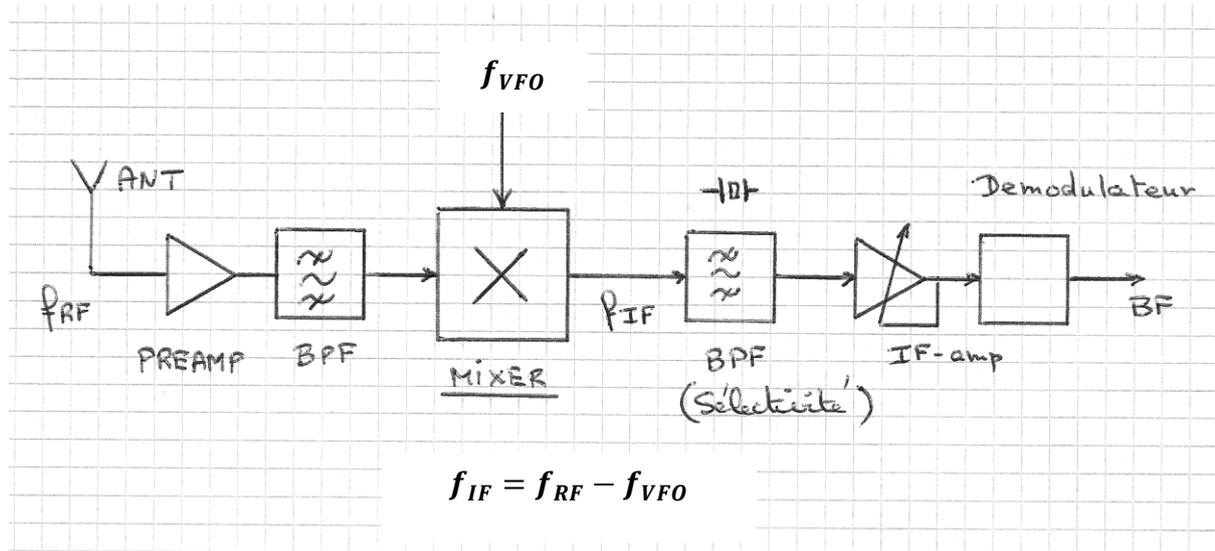


Fig. 3 : Schéma bloc d'un récepteur superhétérodyne

La conversion sur une plus basse fréquence est opérée par un mélangeur (MIXER). C'est un circuit non linéaire qui effectue une modulation des signaux reçus de l'antenne par le signal issu du VFO.

La fig. 4 illustre le fonctionnement dans le domaine fréquentiel.

Les signaux 1, 2 et 3 aux fréquences f_1 , f_2 et f_3 sont convertis sur les fréquences plus basses $f'_1 = f_1 - f_{VFO}$, $f'_2 = f_2 - f_{VFO}$ et $f'_3 = f_3 - f_{VFO}$.

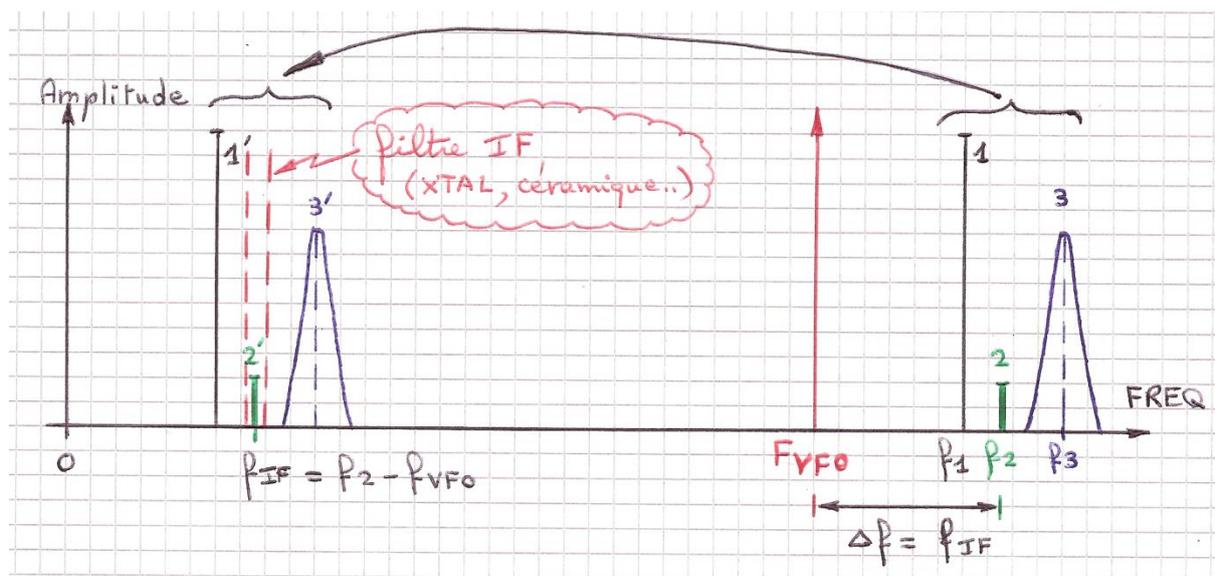


Fig. 4 : Conversion RF → IF ; signal du VFO « pur »

Sur cet exemple, le signal faible (DX) à la fréquence intermédiaire $f_2' = f_{IF}$ tombe dans la bande passante du filtre IF. Les signaux à côté sont en-dehors du filtre IF. Ils ne gênent pas la réception du petit signal DX.

A la fig. 4, les 3 signaux de sortie du convertisseur ont la même allure spectrale que les signaux d'entrée.

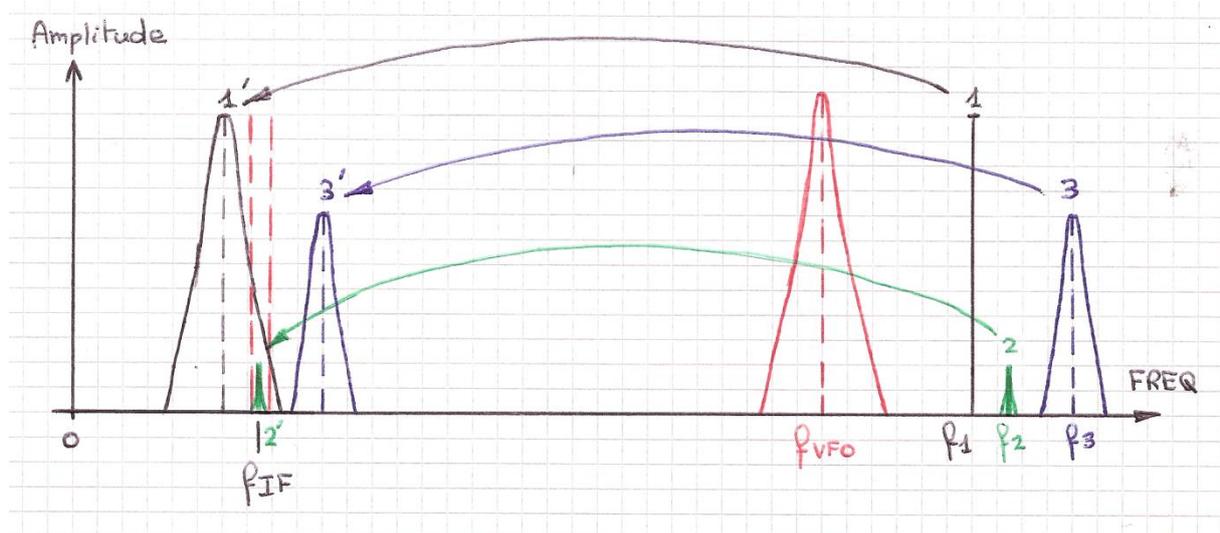


Fig. 5 : Conversion RF → IF ; signal du VCO « bruité »

La fig. 5 illustre le fonctionnement avec un signal VFO « bruité » (son spectre est large). Les produits de modulations aux fréquences f_1' , f_2' et f_3' sont modulés par le bruit du signal du VFO. Le spectre en fréquence du signal fort (no 1') est plus large qu'avant ; une portion de son bruit latéral tombe dans le filtre IF de réception. Le bruit latéral du VFO a créé dans le récepteur, et en combinaison avec le signal « propre » no 1 un produit de mélange (no 1') bruité dont le bruit latéral tombe dans le canal de réception et brouille le signal DX reçu.

Lorsque le niveau du signal interférant augmente, le bruit dans le canal de réception augmente proportionnellement. Le bruit diminue lorsque l'on s'éloigne de la fréquence du perturbateur. Doubler l'offset en fréquence par rapport au perturbateur améliore généralement le SNR de 6dB.

Méthode de mesure

Le schéma du système de mesure est à la figure 2. La source de signal perturbateur est un oscillateur à quartz qui a un niveau de bruit beaucoup plus bas qu'un oscillateur à circuit LC. Grâce à son facteur de qualité très élevé, le résonateur à quartz ($Q \approx 50000$) filtre le bruit thermique. L'oscillateur d'un VFO travaille avec un résonateur LC qui a un facteur Q bien plus bas, autour de 50. Comme la densité spectrale de bruit d'un oscillateur est inversement proportionnelle au facteur de qualité du résonateur ($P_{NOISE} \propto 1/Q$), un oscillateur à quartz a, pour un même offset en fréquence, un niveau de bruit 30db plus bas par rapport à un VFO basé sur un résonateur LC standard.

Le récepteur est réglé sur 144,280MHz ou 144,250MHz (Offsets en fréquence de 20, Resp. 50kHz par rapport au perturbateur). On mesure le bruit sur la sortie audio à l'aide du voltmètre BF. On règle tout d'abord le niveau du bruit à la sortie audio du récepteur sur le « 0dB » du voltmètre (Calibration faite sans signal RF à l'entrée du RX).

Aucun signal n'est appliqué sur la fréquence de réception. On enclenche le signal perturbateur sur 144,300 et on règle son niveau (à travers l'atténuateur variable en série) jusqu'à ce que le bruit de fond à la sortie du récepteur augmente. On note le niveau de seuil du signal perturbateur qui donne une augmentation du bruit audio de 3dB ($P_{Interferer}(Noise Increase + 3dB)$).

A ce moment, le niveau total du bruit à la sortie du récepteur a doublé. Cela veut dire que le bruit provoqué par l'effet de mélange réciproque a un niveau égal au bruit propre du récepteur. On a atteint le seuil du phénomène de blocage.

La dynamique de réception, à un offset en fréquence Δf , est la différence entre le niveau de seuil du signal perturbateur et le niveau de bruit à l'entrée du RX.

$$Dyn_{RX}(\Delta f) = P_{Interferer}(Noise Increase + 3dB) - P_{NOISE}(RX_IN)$$

Nous avons fait cette mesure à des offsets de 20 puis de 50kHz du perturbateur. A un offset en fréquence plus grand, on constate qu'il faut augmenter le niveau du signal perturbant pour obtenir la même dégradation du bruit (→ la dynamique de réception augmente lorsque l'on s'éloigne du perturbateur).

Exemples : mesures avec le FT-736 et l'IC-202

Les tableaux 2 et 3 montrent les résultats. Chez le FT-736, la réduction de sensibilité est liée tout d'abord à une augmentation du bruit de fond dans le canal à recevoir.

Offset en fréquence	Augmentation du bruit [dB]	Niveau du signal interférent [dBm]	Dynamique de réception [dB]
20kHz	1	-45	
	2	-42	
	3	-40	98dB
	5	-37	
50kHz	1	-33	
	2	-30	
	3	-28	110dB
	3.5 (Début de la compression dans le RX)	-24	

Tableau 3 : Mesure de la résistance au blocage du FT-736

(Niveau de bruit propre du récepteur : $P_{NOISE}(RX_IN) = -138dBm$)

C'est différent avec l'IC-202. Le VFO de l'IC-202 est un VCXO (Voltage Controlled XTAL Oscillator), dont le résonateur est un quartz. Ce VFO ne peut opérer que sur une bande de fréquence réduite à cause du haut facteur de qualité du quartz. Il a 2 quartz ; le 1^{er} pour la bande CW-SSB de 144,0 – 144,2MHz et le 2^{ème} pour la bande SSB de 144,2 – 144,4MHz. Grâce aux résonateurs à quartz, le VFO a très peu de bruit latéral.

Un signal voisin de forte amplitude à un offset de 20 ou 50kHz ne produit pas d'augmentation du bruit dans ce récepteur, mais une réduction de la sensibilité par compression.

Nous avons mesuré le SNR du signal audio de sortie à l'aide du HP-8920B. Le HP-8920B délivre à l'entrée du récepteur un signal RF de faible amplitude sur la fréquence de réception (144,28 ou 144,25MHz) qui donne $SNR = 10dB$. Ensuite on ajuste l'amplitude du signal perturbateur de façon à réduire le SNR de 3dB ($\rightarrow SNR = 7dB$). On note le seuil de cette amplitude ($P_{Interferer}(SNR = 7dB)$).

La dynamique de réception est la différence entre cette valeur de seuil et le niveau de bruit d'entrée du récepteur :

$$Dyn_{RX}(\Delta f) = P_{Interferer}(SNR = 7dB) - P_{NOISE}(RX_IN)$$

Offset en fréquence	SNR [dB]	Niveau du signal interférant [dBm]	Dynamique de réception [dB]
20kHz	10	-34	
	7	-30	107
	5	-26	
	3	-22	
50kHz	10	-34	
	7	-26	111
	5	-22	

Tableau 3 : Mesure de la résistance au blocage de l'IC-202(Niveau de bruit propre du récepteur : $P_{NOISE}(RX_IN) = -137dBm$)

En comparaison avec le FT-736, la dynamique n'est pas beaucoup plus élevée à un offset de 50kHz par rapport à 20kHz. Les 2 appareils ont la même performance face à un signal fort à un offset de $\Delta f = 50kHz$. L'IC-202 est un appareil portatif qui n'a pas été conçu pour une immunité élevée aux signaux forts ; et pourtant...

Dynamique des appareils en mode RX ; Résultats

Le tableau 4 montre les résultats de mesures sur 17 appareils. Les appareils sont ordonnés en fonction de leur dynamique de réception à un offset en fréquence de 50kHz.

Appareil	Configuration	Niveau de bruit équivalent [dBm] à l'entrée du RX	Niveau perturbateur [dBm] à $\Delta f=50kHz$ pour 3dB de réduction de sensibilité	Dynamique [dB] à $\Delta f=50kHz$
OM-made	Préampli Ga-As	-140	-15	125
	Préampli J-Fet	-132	-5	128
IC-202 S	Standard	-137	-26	111
TS-790E	Préampli OFF	-131	-21	110
FT-736 R	Standard	-138	-28	110
IC-251-E	Standard	-136	-27	109
IC 275	Attén. OFF	-138	-32	106
TS-700	Standard	-139	-34	105
K3 + TRCVR	Préampli OFF	-137	-36	101
TS-2000	Préamp + ATT ON	-123	-23	100
KX3 + TRCVR	Préampli OFF	-128	-30	98
FT-857	Standard	-136	-37	99
FT-897	Standard	-138	-40	98
IC-7000	Préampli OFF	-130	-35	95
IC-7400	Préampli OFF	-131	-36	95
FT-225-RD	Standard	-136	-42	94
FT-991-A	Standard	-138	-44	94
IC-910	Préampli ON	-138	-47	91

Tableau 4 : Résistance aux signaux forts et dynamique

La sensibilité (niveau de bruit équivalent à l'entrée du RX) est donnée uniquement à titre indicatif. L'usage est de placer un préamplificateur de réception à faible bruit au mât, directement sous les antennes. Une haute sensibilité au niveau du récepteur du transceiver n'est alors pas nécessaire ; elle peut même être contre-productive au niveau de la résistance aux signaux forts.

Idéalement, si le préampli a un gain de +20dB, un plancher de bruit à -130dBm suffit amplement. Si votre RX a un plancher de bruit autour de -138dBm, un préampli avec un gain de +10dB est suffisant. Trop de gain réduit la résistance aux signaux forts, car tous les signaux sont amplifiés ; cependant, le niveau de bruit à l'entrée du préampli ne pourra pas être plus bas que le bruit capté par l'antenne, avec sur 144MHz un niveau entre -135 et -140dBm en communications terrestres.

Les stations les plus intéressantes au niveau de la résistance au blocage et de la dynamique RX sont les suivantes : IC-202, TS-790^E (hélas pas recommandé en mode TX à cause de son niveau de bruit large bande calamiteux), FT-736R (bon en émission SSB, mais mauvais en émission CW ; voir les mesures de dynamique des TX dans le HB-Radio 3/2018), IC-251^E et IC-275.

Les résultats sont encore représentés graphiquement aux figures 6 et 7. La [fig. 6](#) donne la résistance aux signaux forts, la [fig. 7](#) la dynamique de réception.

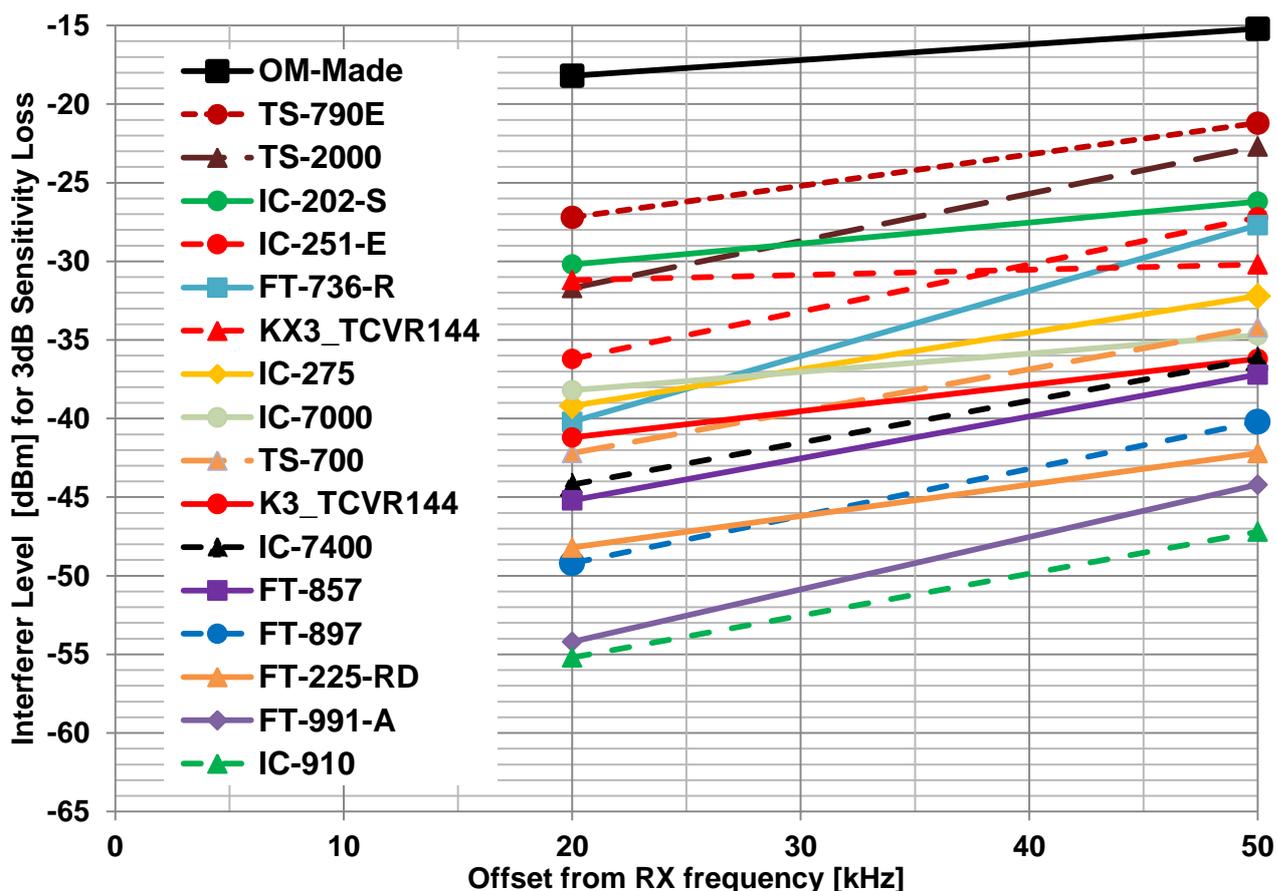


Fig. 6 : Immunité aux signaux forts voisins sur la bande

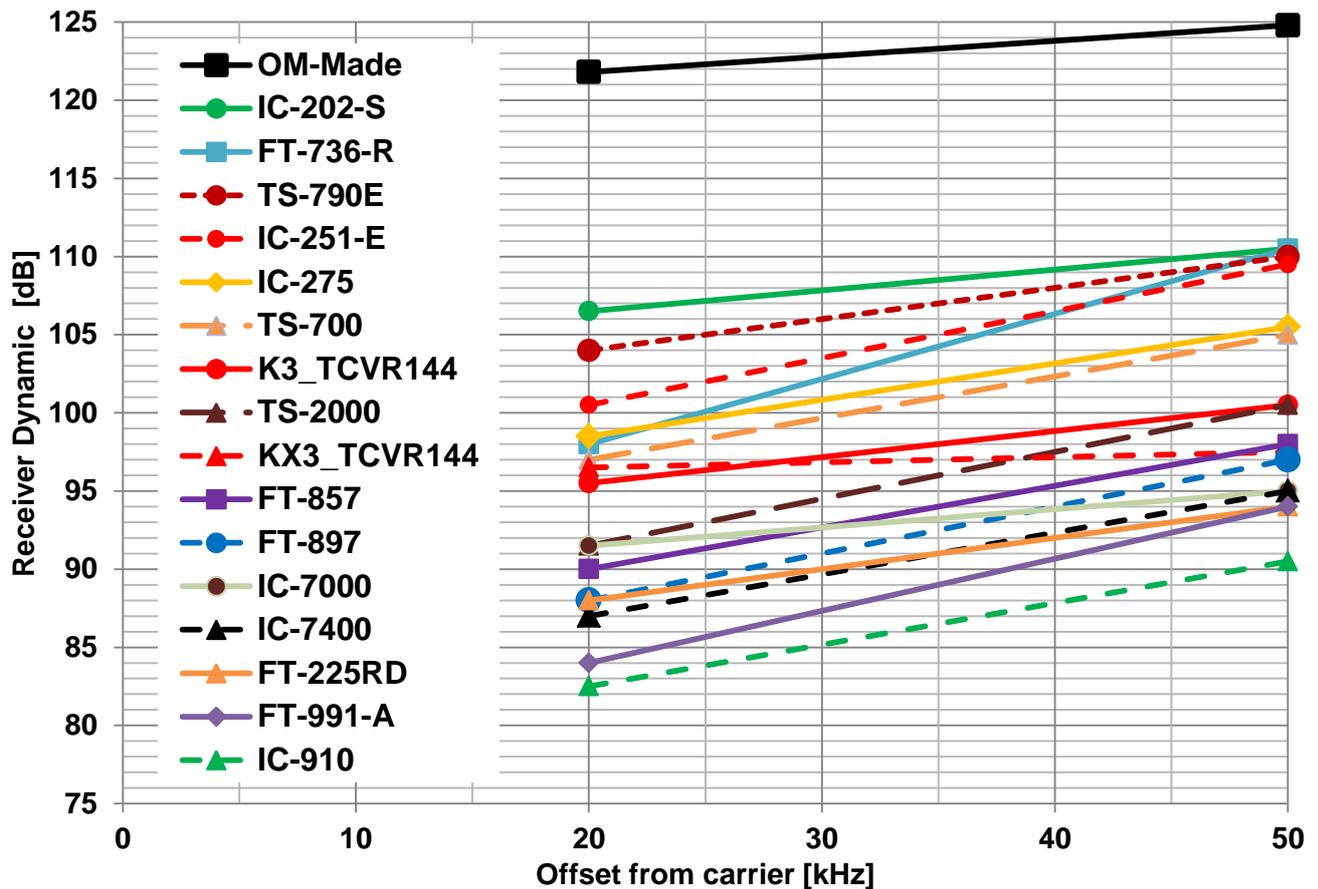


Fig. 7 : Dynamique des RX en fonction de la fréquence

Certain appareils qui sont bons à la figure 6, se retrouvent rétrogradés à la figure 7. La raison est liée à la sensibilité du RX. Un récepteur ayant un niveau de bruit plus élevé (par exemple -130dBm ou davantage) a de facto une meilleure résistance aux signaux forts (moins de gain dans la partie RF du récepteur). Le calcul de la dynamique tient compte de la sensibilité.

Exemple : A la fig. 6, la combinaison KX3+TCVR est 10dB meilleure que K3+TCVR. Mais les 2 systèmes sont au même niveau en ce qui concerne la dynamique, car la sensibilité du KX3+TCVR était 9dB plus basse.

Conclusion

Un paramètre important pour un récepteur utilisé dans les contests 144MHz sur un point haut est l'immunité aux signaux forts. La dynamique de réception est souvent limitée par le bruit latéral du VFO du récepteur ; dans ce cas, des signaux voisins « propres » peuvent être jugés comme étant de mauvaise qualité.

Il est conseillé de mettre juste ce qu'il faut de gain de préamplification au mât d'antenne pour « booster » la sensibilité mais pas trop, de façon à éviter de dégrader l'immunité aux signaux forts ; juste le gain nécessaire pour que le bruit du système de réception soit plus bas que celui donné par l'antenne.