

# Propagation en espace libre et Dynamique des stations de Contest

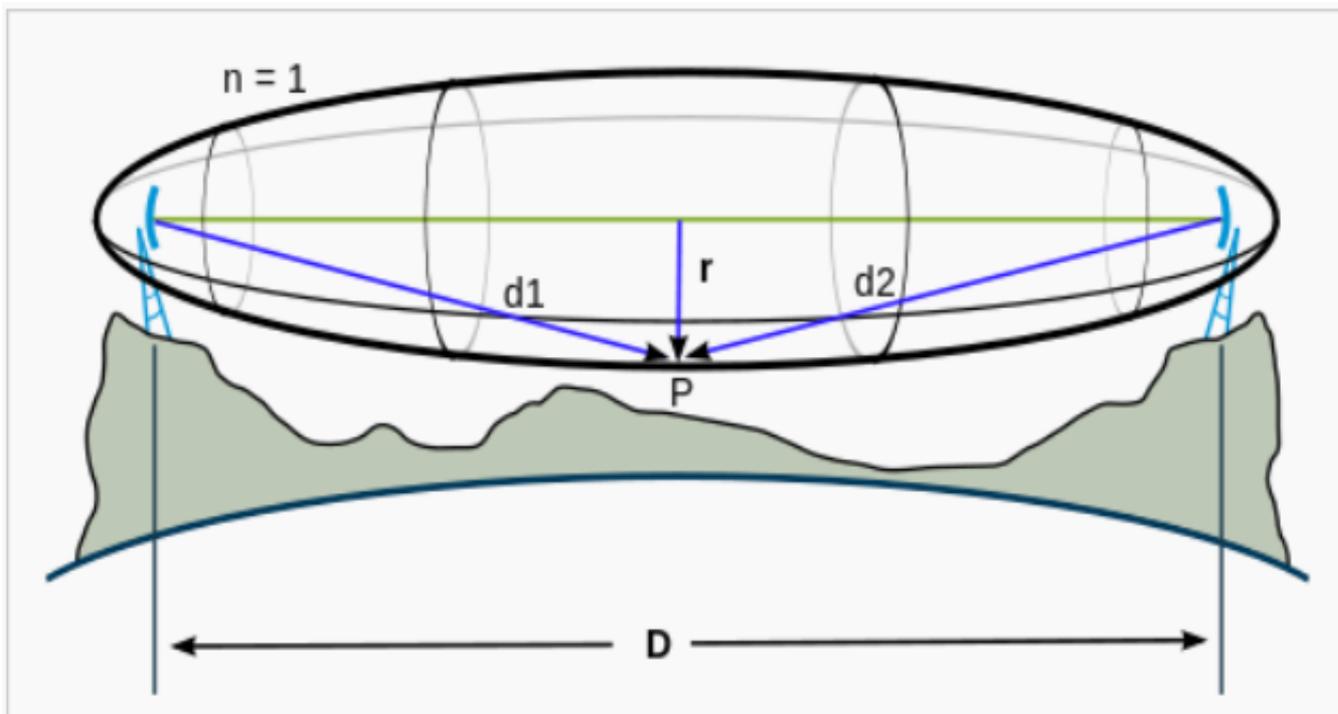


# Sommaire

1. Espace libre. Zone de Fresnel
2. Rappel: le décibel
3. L'équation de Friis
4. Exemple de calcul sur 144MHz
5. Bruit et dynamique
6. Mesure de la dynamique de TRX 144MHz
  1. Méthode de mesure pour les TX et résultats
  2. Méthode de mesure pour les RX et résultats
7. Conclusions

# 1. Espace libre. La zone de Fresnel

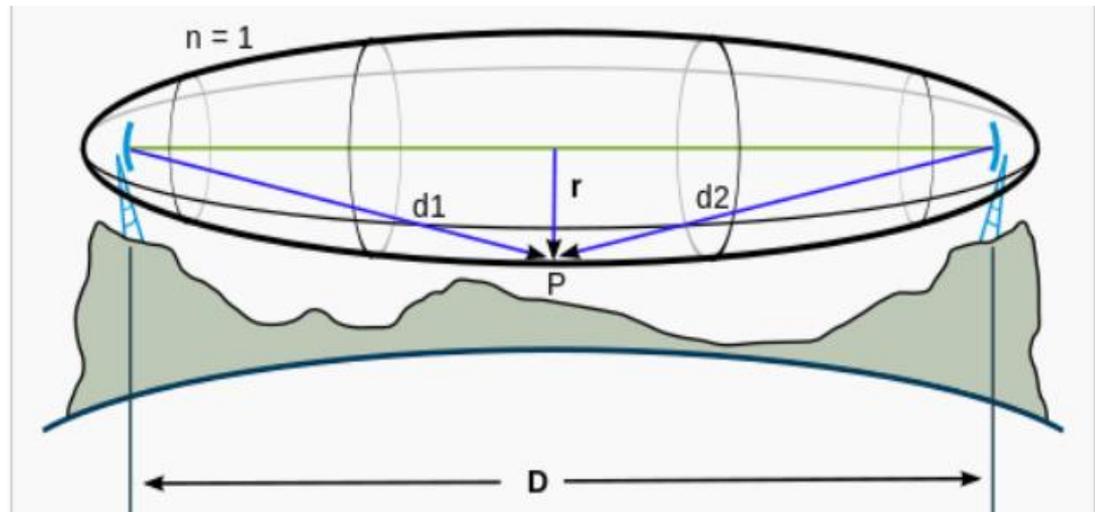
Pour que la condition «espace libre» soit réalisée entre 2 stations, il faut que la «zone de Fresnel» soit libre



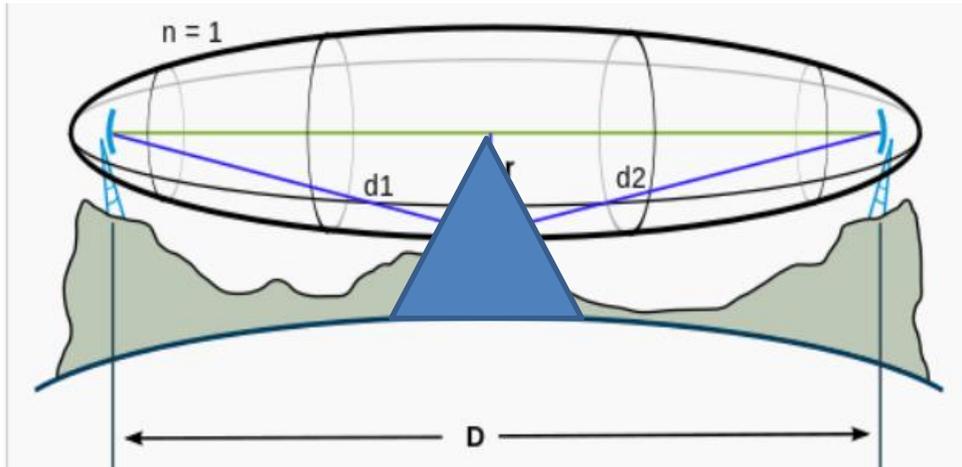
Zone de Fresnel :  $d$  est la distance entre l'émetteur et le récepteur,  $r$  est le rayon de la zone de Fresnel.

# Ellipsoïde de Fresnel

- Si  $D$  est la distance entre les antennes, le rayon au centre de l'ellipsoïde de Fresnel vaut :  $r = \frac{1}{2} \sqrt{D * \lambda}$  ( $\lambda$  = longueur d'onde)
- Exemple:  $D = 60\text{Km}$  et  $\lambda = 2\text{m}$  ( $f=144\text{MHz}$ )  $\rightarrow$   
 $r = 173\text{m}$

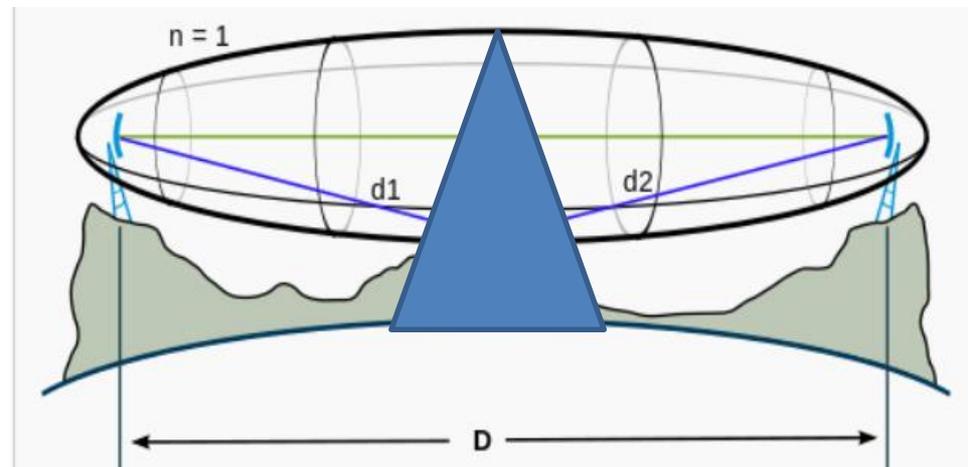


# Obstruction partielle de l'ellipsoïde de Fresnel



La moitié de l'ellipsoïde est obstruée au milieu .

Par rapport à l'atténuation normale causée par la distance, il y aura une atténuation supplémentaire de  $-6\text{dB}$



La totalité de l'ellipsoïde est juste obstruée →

Atténuation supplémentaire:  
 $-14\text{dB}$

## 2. Rappel. Le Décibel

(Mettez m'en trois...)



**3 décibels (3dB) correspond à un facteur 2 en puissance**

Par exemple:

**après 3 déci(bels) de blanc, on se sent 2x plus intelligent**

# Le Décibel

- C'est l'unité de mesure du gain d'un ampli
- Respectivement de la perte dans un atténuateur (câbles coax. Par exemple)



- $G[dB] = 10 * \log \left( \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \right)$
- Le **décibel** est l'unité de mesure d'un rapport de puissance

# Le Décibel

Rapport $\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$	G[dB]
1	0dB
2	+3dB
4	+6dB
5	+7dB
10 = $10^1$	+10dB
20	+13dB
40	+16dB
50	+17dB
100 = $10^2$	+20dB
1000 = $10^3$	+30dB
10000 = $10^4$	+40dB

Rapport $\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$	G[dB]
1	0dB
0,5 = 1/2	-3dB
0,25 = 1/4	-6dB
0,20 = 1/5	-7dB
0,1 = 1/10 = $10^{-1}$	-10dB
0,05 = 1/20	-13dB
0,025 = 1/40	-16dB
0,020 = 1/50	-17dB
1/100 = $10^{-2}$	-20dB
1/1000 = $10^{-3}$	-30dB
1/10000 = $10^{-4}$	-40dB

# Le décibel, exemple d'utilisation

- Un ampli de gain  $\times 100$  (+20dB), suivi d'une atténuation de  $\times 1/2$  (-3dB) (par exemple la moitié de la puissance est perdue dans le câble entre le préampli et le RX)
- Gain total de puissance:  $G = 100/2 = 50$
- En dB:  $G[\text{dB}] = +20\text{dB} - 3 \text{ dB} = +17\text{dB}$

# Le dBm ( = dB Milliwatt)

- C'est une unité de puissance absolue
- 0dBm correspond à  $P = 1\text{mW}$
- Exemples:
  - $P = 1 \text{ Watt} = 1000\text{mW}$      $P = +30\text{dBm}$
  - $10\text{W} \approx +40\text{dBm}$ ,  $100\text{W} \approx +50\text{dBm}$ ,  $1\text{KW} \approx +60\text{dBm}$
  - $1\mu\text{W} = 0,001\text{mW} = 0,000001\text{W} \approx -30\text{dBm}$
  - $1\text{pW} = 10^{-12}\text{W} = 10^{-9}\text{mW} \approx -90\text{dBm}$

Un signal d'amplitude -90dBm est reçu  
facilement avec rapport S9

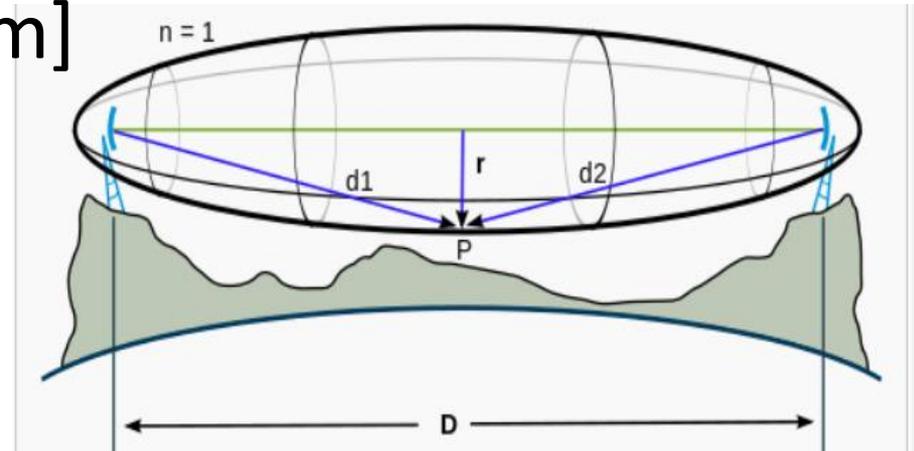
## 3. L'équation de Friis

- Cette équation permet de calculer le bilan de propagation en espace libre (Valable seulement si la zone de Fresnel est complètement dégagée)
- Elle donne le niveau de signal à la sortie de l'antenne de réception en fonction de:
  - Puissance de l'émetteur
  - Distance
  - Fréquence (Longueur d'onde)
  - Gain des antennes TX et RX

# Propagation espace libre; équation de Friis

- $P_{RX} = P_{TX} * G_{ANT}(TX) * G_{ANT}(RX) * \left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2$
- $P_{RX}$  = puissance reçue [watts]
- $P_{TX}$  = puissance envoyée par le TX (mesurée à l'entrée de l'antenne TX [watts])
- $G_{ANT}$  = Gain de l'antenne (TX et RX) [--]
- $\lambda$  = longueur d'onde [m]
- $D$  = Distance [m]

$$\lambda = c/f = 300 / F \text{ [MHz]}$$



# L'équation de Friis en [dB]

- Les multiplications deviennent des additions
- $P_{RX}[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{ANT}(TX)[dB] + G_{ANT}(RX)[dB] + 10 * \log \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$
- Le dernier terme est le rapport entre la surface de captation d'une antenne isotrope ( $S_{Ant} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$ ) et la surface d'une sphère de rayon D ( $4\pi D^2$ )
- La LARGEUR du dipôle de réception (au carré) définit la surface de captation

## 4. Exemple de calcul sur 144MHz

- Puissance TX: 1KW (+60dBm)
- Perte câble TX entre PA et antenne: -2dB
- Antenne TX: 2x 13EL, longueur de boom 8m
- Antenne RX: idem  $\rightarrow G_{Ant}(TX) = G_{Ant}(RX) = 18,5dBi$
- Fréquence:  $f = 144.300MHz \rightarrow \lambda = 2,08m$
- Distance: 2 stations en point haut à  $D = 60Km$
- $\rightarrow \left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2 = \left(\frac{2,08}{4\pi * 60000}\right)^2 = 7,61 * 10^{-12}$
- $10 * \log \left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2 = -111,2dB$

# Calcul sur 144MHz

- $P_{RX}[dBm] = P_{TX} - (\text{câble}_{TX}) + G_{ANT}(TX) + G_{ANT}(RX) + 10 * \log \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$
- $P_{RX}[dBm] = +60 - 2 + 18.5 + 18.5 - 111,2 = -16,2dBm$
- Soit environ **25μW**
- C'est un signal très puissant...
- Nous allons maintenant le comparer au bruit de fond

## 5. Le *bruit* et la Dynamique

- Le bruit est généré à l'intérieur des conducteurs et semi-conducteurs par l'agitation moléculaire. C'est ce que l'on appelle le bruit thermique.
- $T = 0^{\circ}\text{C}$  est la température à laquelle l'eau se solidifie en glace
- La température la plus basse possible est  $-273^{\circ}\text{C}$   
C'est le zéro absolu:  $T = 0\text{K}$  (Kelvin)
- La température de transition eau  $\leftrightarrow$  glace vaut alors  $T = +273\text{K}$
- Température ambiante  $T = +27^{\circ}\text{C} \approx T = 300\text{K}$

# Le bruit généré par une résistance

Dans un solide conducteur ou semi-conducteur, l'agitation moléculaire liée à la température dévie les électrons de leur trajectoire.

Cela provoque l'apparition d'un bruit (thermique) qui se superpose au courant électrique présent.

Le niveau de ce bruit thermique est proportionnel à la température absolue:

$$P_{NOISE} = KTB \text{ [Watts]}$$

$K = 1,38 * 10^{-23}$  [Joules/°K] **K est la constante de Boltzmann**

T = température absolue [°K]

B = largeur de bande [Hz]



# Le bruit d'une résistance

Exemple. Bruit généré par une résistance dans une largeur de bande «SSB»  $B = 2500\text{Hz}$

Température ambiante  $27^\circ\text{C} \rightarrow T = 300^\circ\text{K}$

$$\begin{aligned}P_{NOISE} &= 1,38 * 10^{-23} * 300 * 2500 \\ &= 10,4 * 10^{-18} \text{ [Watts]} \\ &= 10,4 * 10^{-15} \text{ mW}\end{aligned}$$

En dBm:  $10 * \log(10,4 * 10^{-15} \text{ mW}) = -140 \text{ dBm}$

A comparer avec les  $+60\text{dBm}$  (1kW) du PA.

Différence: **200dB** (= une chiée)

# Bruit d'une antenne Yagi sur 144MHz

- Si l'antenne est orientée en direction d'une zone «froide» du ciel (pas sur le soleil), sur 144MHz, elle a une température  $T \approx 250^{\circ}\text{K}$
- Si elle tire sur l'horizon, elle capte le bruit du sol. Sur 144MHz, elle a une température de bruit moyenne  $T \approx 1000^{\circ}\text{K} \rightarrow$
- $(P_{NOISE}(Ant) = -135\text{dBm})$

# La Dynamique du signal reçu

La dynamique du signal reçu est le rapport entre son niveau et le niveau du bruit de fond.

$$Dyn[dB] = P_{Signal}[dBm] - P_{Noise}[dBm]$$

Exemple:

- $P_{Signal} = -16dBm$  (STN selon calcul au §4)
- $P_{NOISE}(Ant) = -135dBm$
- $Dyn[dB] = -16 - (-135) = \mathbf{119dB}$

# La dynamique; résumé (1)

- Dans cet exemple, lors d'un contest sur 144MHz, une station sur un point haut à 60Km, opérant avec 1kW et 2 antennes de 8m de boom est reçue avec un niveau de signal qui est 119dB au-dessus du bruit de fond
- Pour éviter le QRM, il faut que le niveau de bruit (ou signaux parasites) généré par la station TX en dehors de son canal d'émission soit 119dB plus bas que son niveau de signal utile et...

# La dynamique; résumé (2)

- Et que votre récepteur «supporte» ce niveau de signal reçu sans générer d'artefacts:
  - La tête d'entrée du RX (LNA, mixer → premier filtre à quartz) ne doit pas être saturée par le signal reçu
  - Le signal de votre VFO doit être suffisamment propre (niveau de bruit «latéral» faible), pour éviter l'effet de «mélange réciproque» avec le signal reçu

## 6. Mesure de la dynamique de TRX 144MHz

- Le QRM est présent lors de chaque contest sur 144MHz.
- Le temps passe, et il n'y a aucune amélioration de ce problème. On constate plutôt une dégradation avec les nouveaux équipements mis sur le marché
- Y'en a marre! Nous avons fait une campagne de mesures. Les performances en RX et TX de 9 appareils ont été évaluées, et les résultats sont... Limpides!

# Les appareils testés

OM-Made

IC-910



IC-275



FT-857



FT-897



IC-202



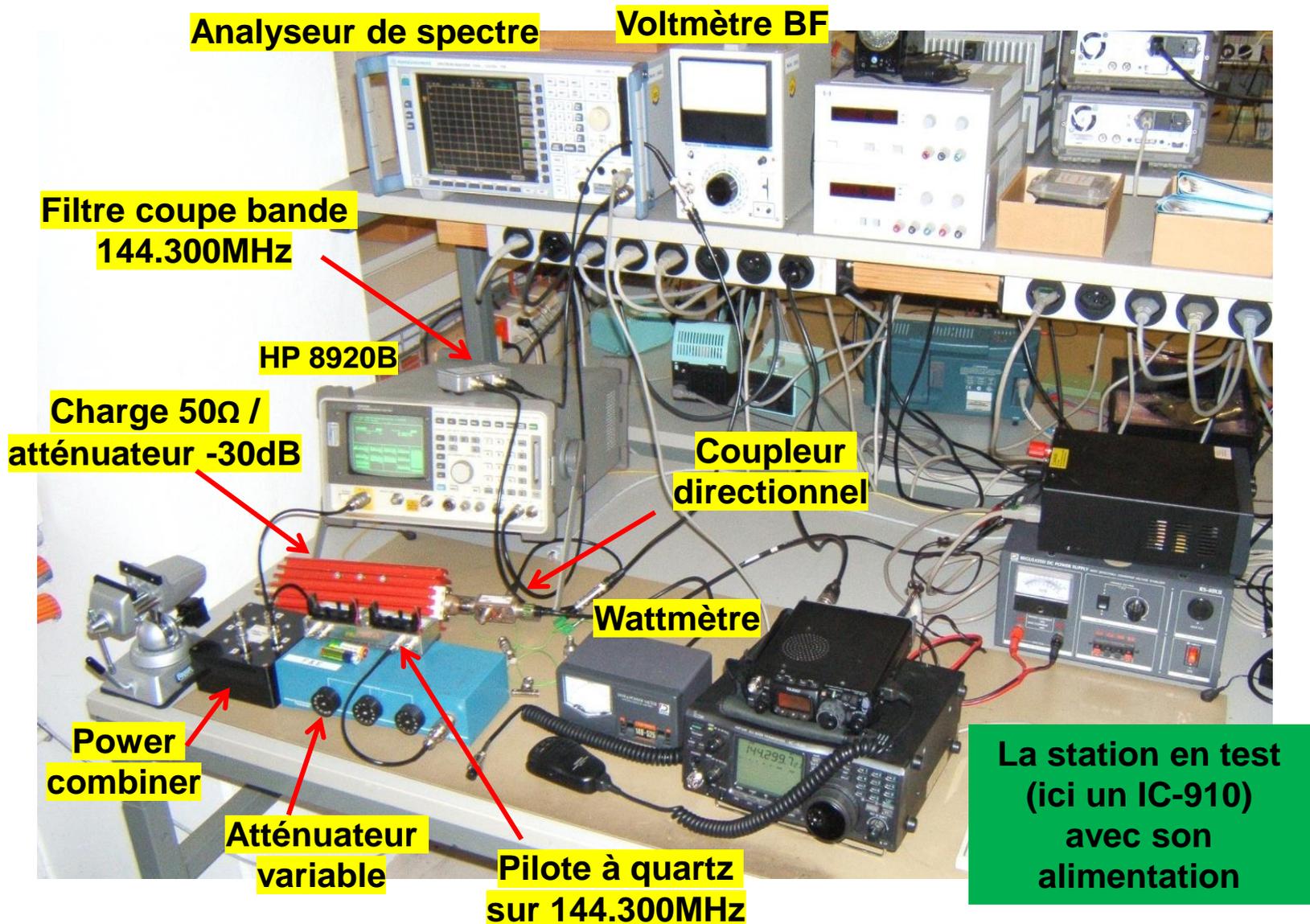
Elecraft K3 +TRCVR



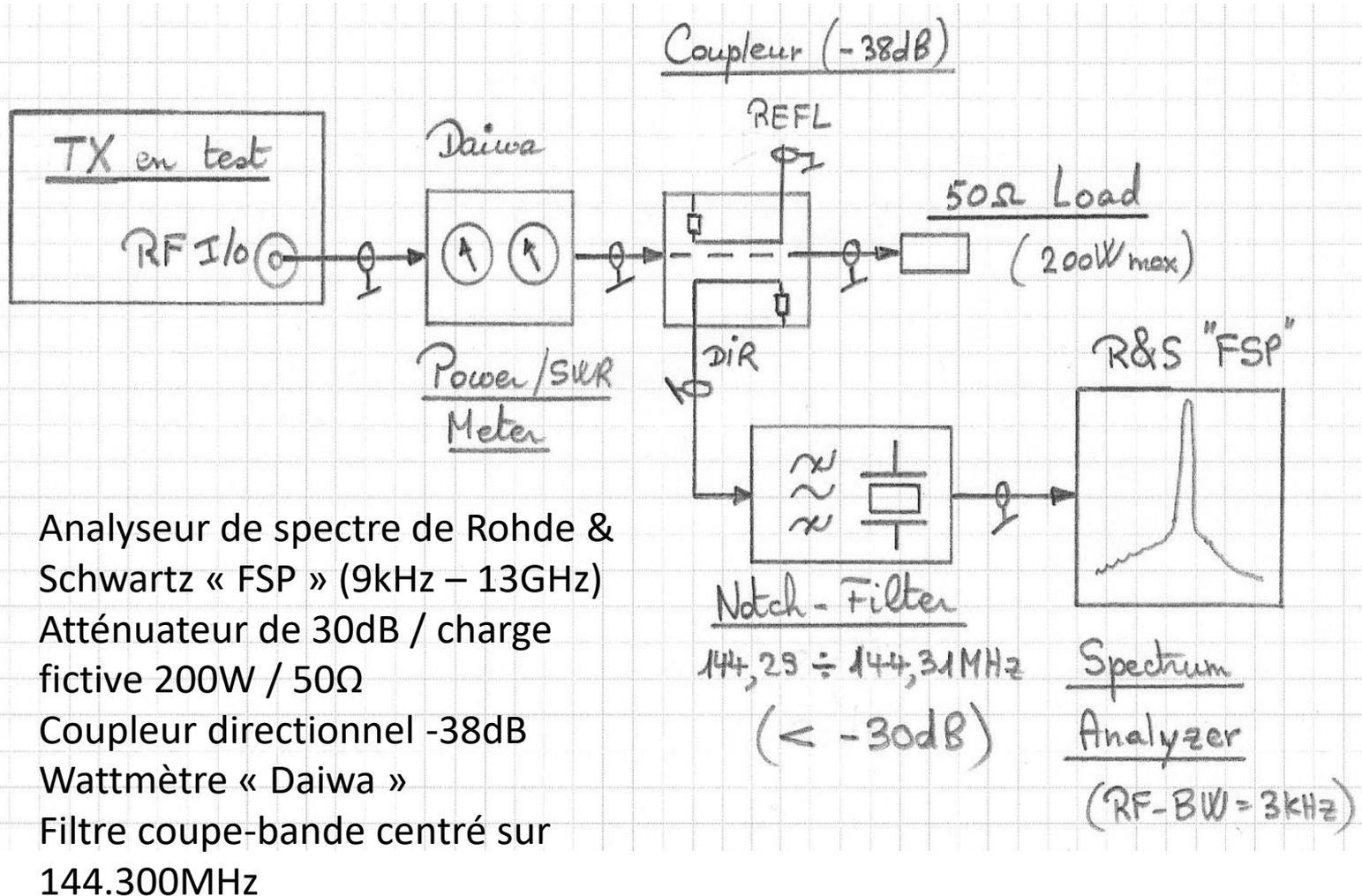
Elecraft KX3 +TRCVR



# Equipement de mesure



# 6.1. Méthode de mesure pour les TX



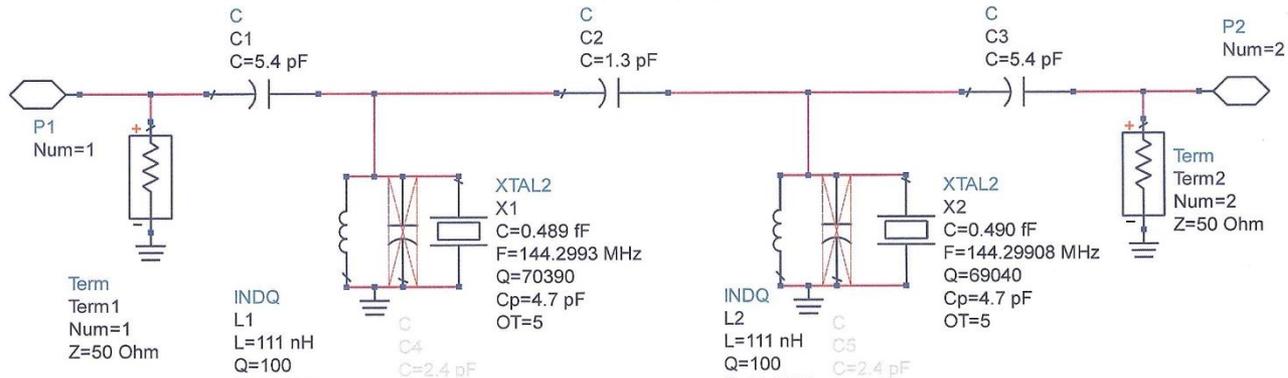
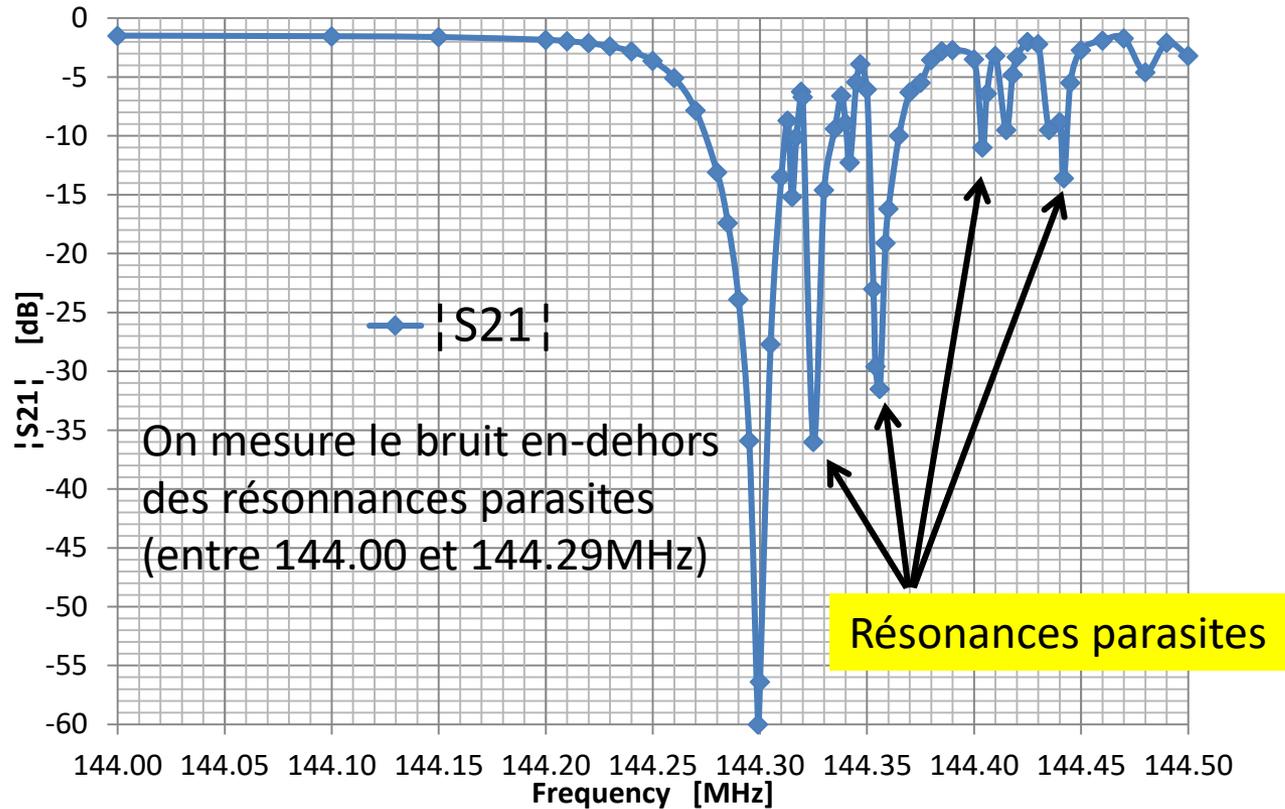
# Méthode de mesure (1)

- Le TX est en mode CW. Il est réglé pour sortir sa puissance nominale sans saturation, sur 144,300MHz
- «Key Down». La puissance est mesurée avec le wattmètre. Le signal passe à travers le coupleur directionnel et l'atténuateur de puissance. Réglage fin pour obtenir un niveau de +10dBm (10mW) dans l'analyseur de spectre
- Puis on fait passer le signal CW à travers le filtre coupe bande (Notch) pour mesurer le niveau de bruit résiduel à un offset de 10, 20, 50, 100kHz de la porteuse
- Le niveau de bruit est mesuré avec une largeur de bande d'analyse RBW = 3KHz ( $\approx$ SSB BW)

## Méthode de mesure (2)

- La dynamique est le rapport entre le bruit mesuré à chaque offset en fréquence et la puissance de référence sans le filtre «Notch»
- Le filtre «Notch» réduit très fortement la puissance reçue par l'analyseur sur la fréquence TX de 144,300MHz
- Il est nécessaire pour éviter le mixage réciproque avec le bruit latéral de l'oscillateur de balayage de l'analyseur, qui fausserait complètement la mesure
- Il permet d'augmenter la dynamique de la mesure du bruit (on peut pousser le gain de l'analyseur sans risquer la saturation)

# Filtre «Notch» centré sur 144.300MHz







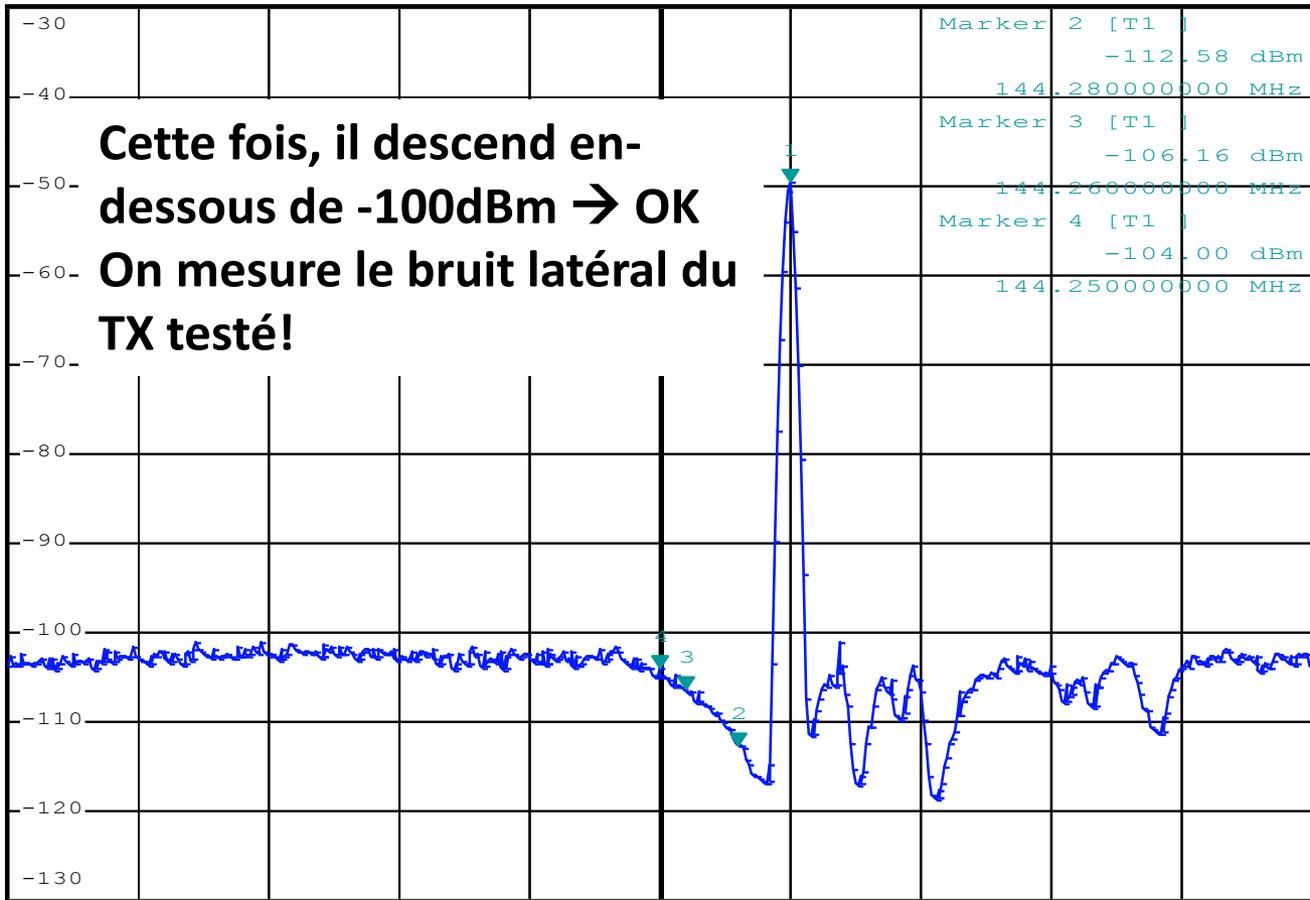
# Mesure avec le «Notch»



Ref -30 dBm      \*Att 0 dB      \*RBW 3 kHz      Marker 1 [T1]      -49.57 dBm  
\*SWT 500 ms      144.300000000 MHz

1 RM\*  
VIEW

**Cette fois, il descend en-  
dessous de -100dBm → OK  
On mesure le bruit latéral du  
TX testé!**



A

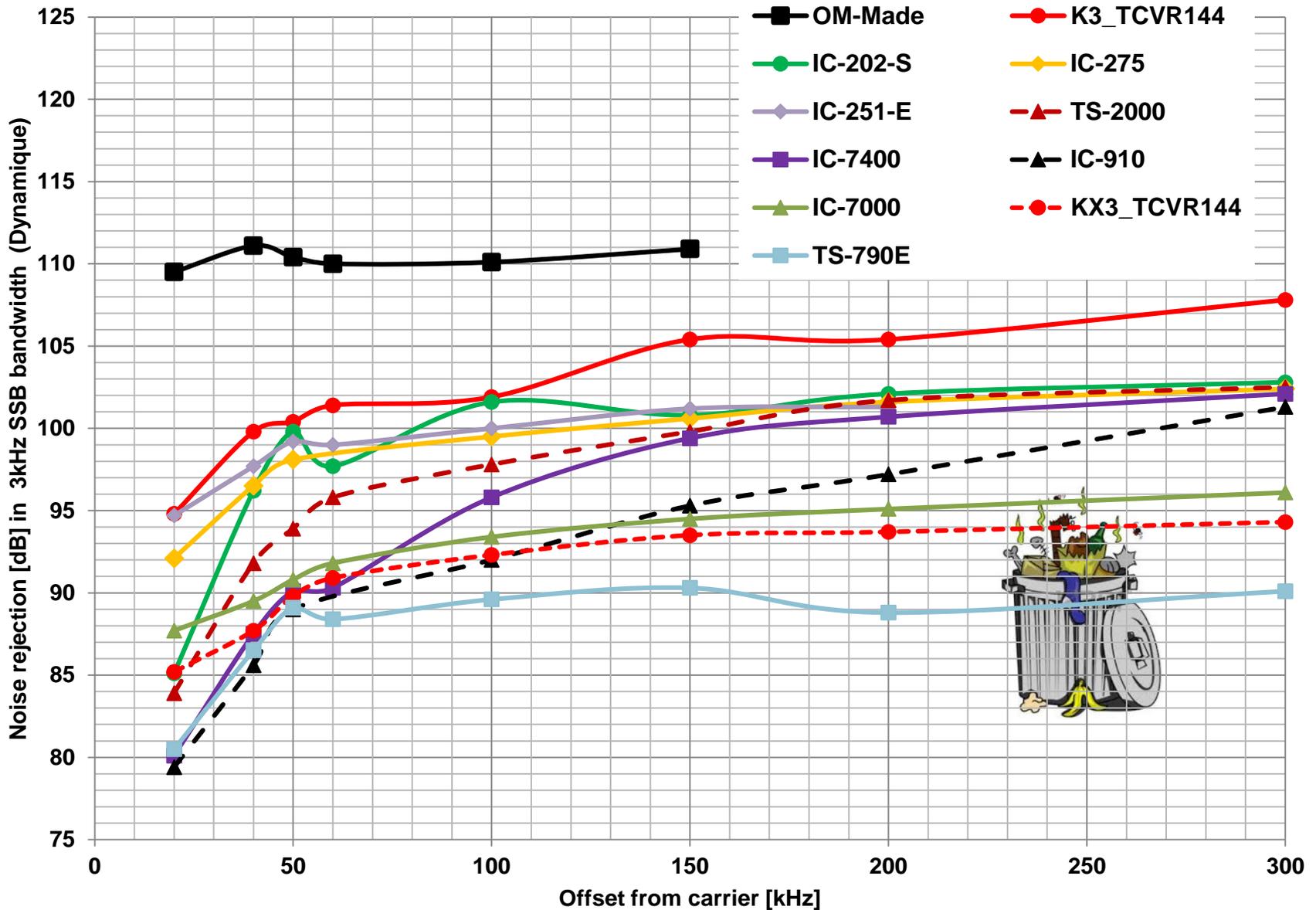
PRN

Center 144.25 MHz      50 kHz/      Span 500 kHz

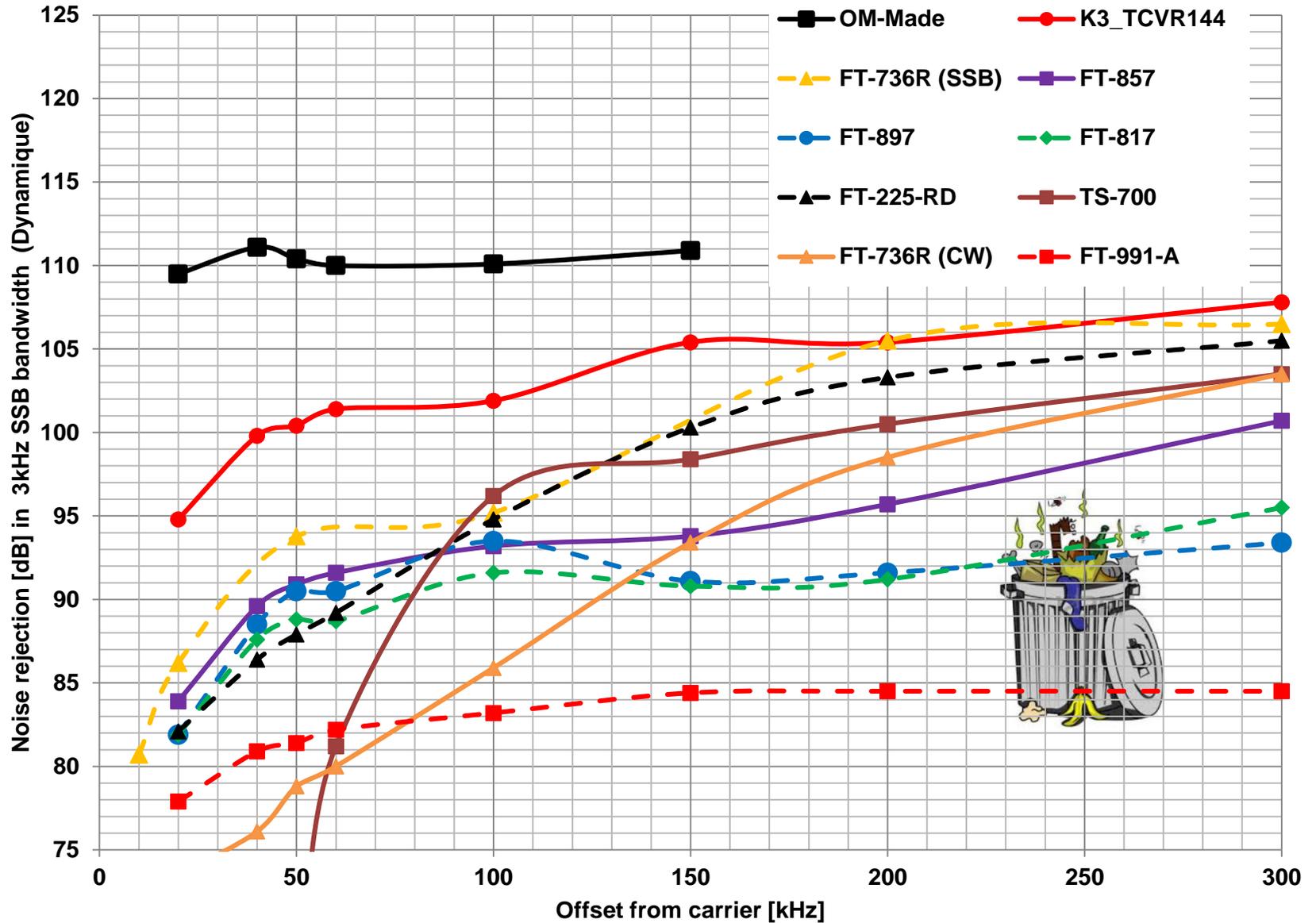
**On calcule la dynamique à chaque offset en fréquence,  
en compensant l'atténuation du filtre «Notch»  
(Exemple avec un «bon» (mais pas assez...) TX)**

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

# Dynamique en mode TX (CW). Résumé



# Dynamique en mode TX (CW). Suite



# Dynamique en mode TX. Conclusions

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

- K3 + TCVR-144MHz
- IC-202
- FT-736-R (mais en SSB seulement, pas en CW)
- IC-251-E
- IC-275 (Celui de Yves, DTX)

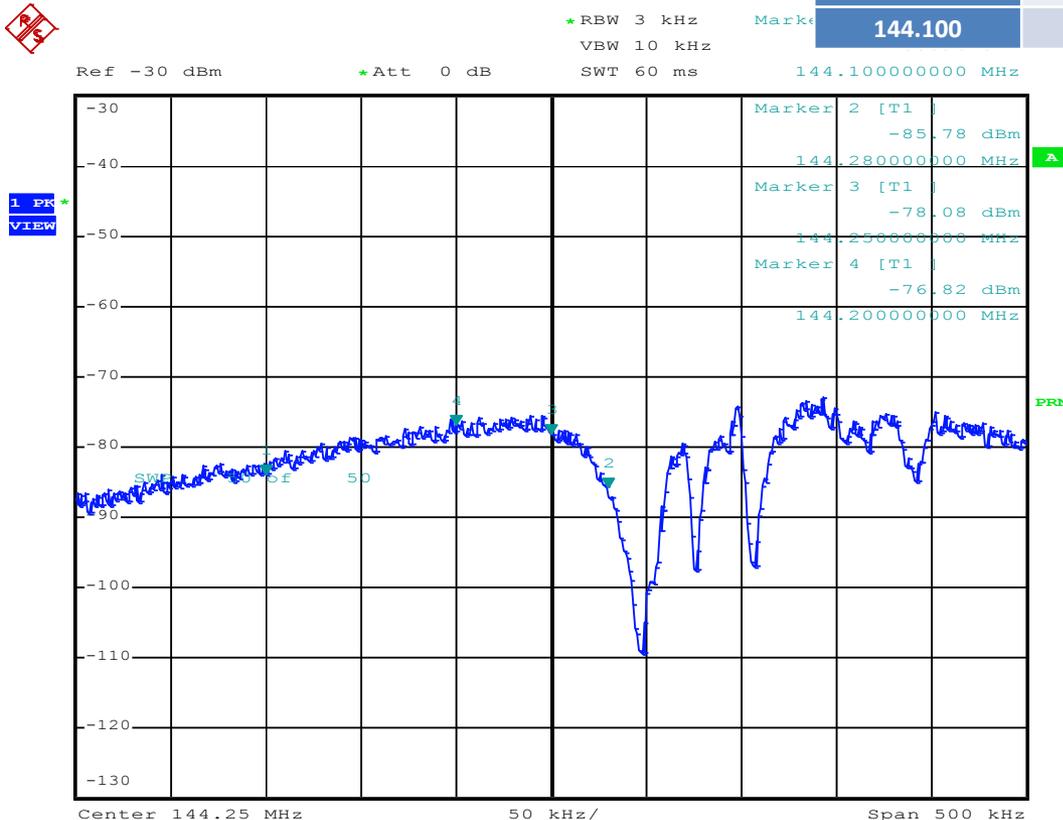
Hélas, aucun de ces appareil n'atteint la dynamique TX désirée de 120dB...

# Bruit latéral en SSB, sans modulation micro

## Exemple ici avec l'IC-910:

Niveaux mesurés entre -85dBm et -76dBm par rapport à une puissance de crête de +10dBm

SSB noise, without speech			
Frequency [MHz]	Noise level [dBm]	XTAL notch filter attenuation [dB]	S/N ratio [dB] (Dynamique TX)
144.280	-85.8	-13.1	82.7
144.250	-78.1	-3.6	84.5
144.200	-76.8	-1.8	85.0
144.100	-84.0	-1.5	92.5



Niveaux corrigés réels selon le tableau ci-dessus.

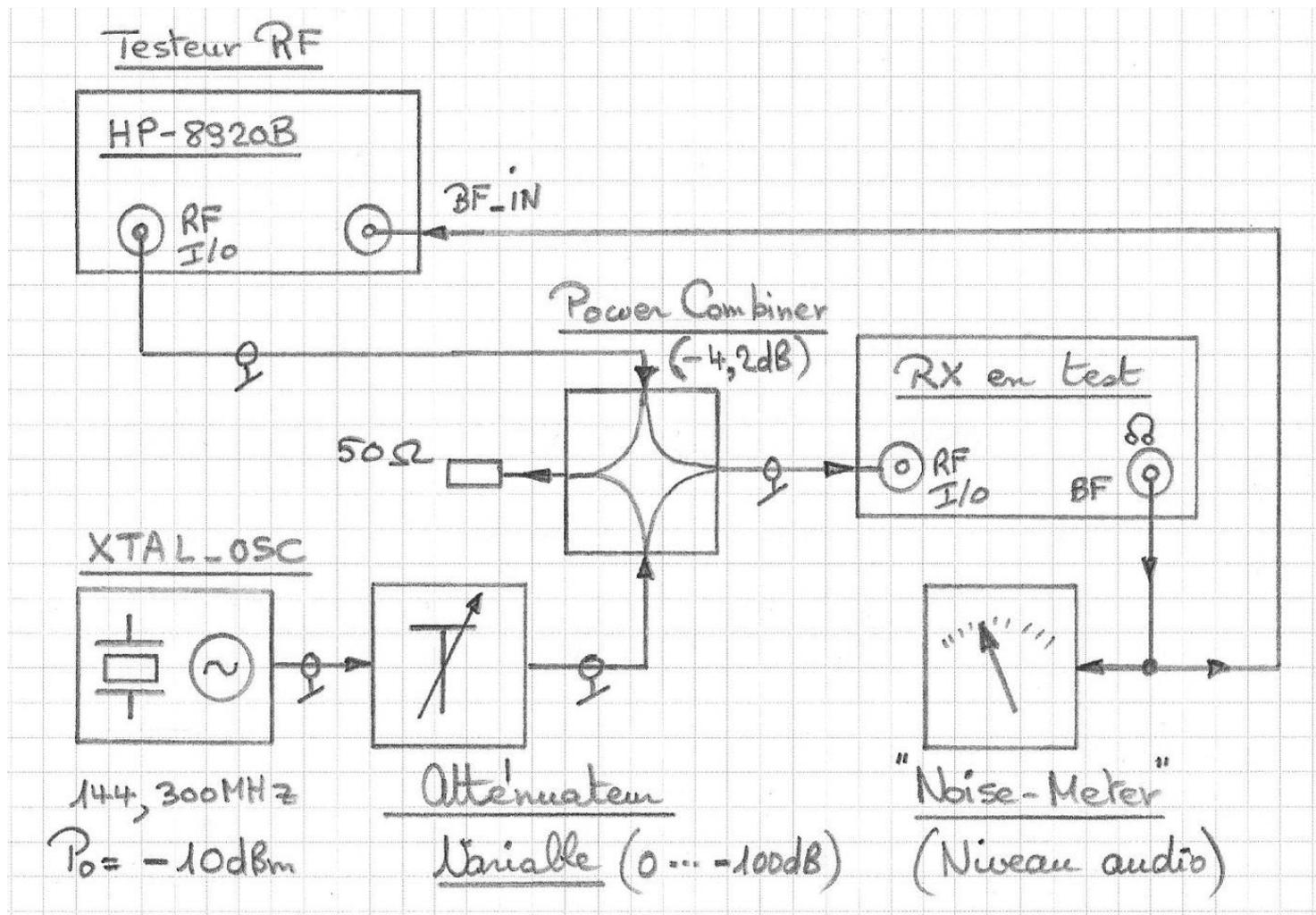
Exemple: -85dB / niveau de crête sur 144.200MHz

Si vous recevez cette station avec un niveau de 120dB au dessus du bruit de votre RX, alors **cette STN vous met 35dB de bruit simplement en pressant le PTT du micro...**

# Bruit latéral en SSB, sans modulation micro. Résumé

Appareil	Niveau de bruit relatif à la porteuse [dBc], à un offset $\Delta f$ de la fréquence d'émission		
	$\Delta f = 100\text{kHz}$	$\Delta f = 200\text{kHz}$	Unités
IC-7000	-123	-123	dBc
OM-made	-110	-111	
K3-TCVR144	-110	-109	
FT-736-R (SSB)	-107 (+ pics...)	-107 (+ pics...)	
IC-251-E	-106	-106	
IC-202-S	-104	-105	
TS-700	-102	-106	
IC-7400	-102	-102	
FT-225-RD	-100	-101	
IC-275	-96	-98	
TS-2000	-103	-103	
FT-857	-97	-96	
FT-817	-94	-94	
KX3-TCVR144	-94	-91	
FT-897	-91	-89	
IC-910	-85	-93	
TS-790-E	-87	-87	
FT-991-A	-81	-81	

# 6.2. Méthode de mesure pour les RX



# Mesure de la sensibilité du RX

- Le pilote à quartz est OFF
- Le RX est réglé pour recevoir un signal SSB
- Sans signal reçu, on règle le volume RX et la sensibilité du voltmètre BF pour référencer le niveau de bruit (0dB)
- On envoie un signal CW de faible amplitude sur la fréquence RX.
- On augmente le niveau du signal CW jusqu'à ce que la tonalité audio soit +10dB au-dessus du niveau du bruit

# Mesure de la sensibilité du RX

<u>Préamplificateur de réception :</u>	Ga-AS (20dB)	Unités	J-Fet (10dB)
Signal level from HP8920B for S/N=10dB (measure) :	-127.5	[dBm]	-118.5
Loss through power combiner and cables:	-4.2	[dB]	-4.2
Input RX level for S/N=10dB (without blocking signal):	-131.7	[dBm]	-122.7
SSB equivalent input noise level (Soustraire 9.5dB)	<u>-141.2</u>	[dBm]	<u>-132.2</u>

**Exemple avec la STN «OM-Made»**

**Les derniers chiffres sont le niveau de bruit équivalent [dBm] à l'entrée du RX**

# Sensibilités mesurées sur divers RX

Appareil	Configuration	Niveau de bruit équivalent [dBm] à l'entrée du RX
OM-made	Préampli Ga-As	-140
	Préampli J-Fet	-132
IC-202 S	Standard	-137
TS-790E	Préampli OFF	-131
FT-736 R	Standard	-138
IC-251-E	Standard	-136
IC 275	Attén. OFF	-138
TS-700	Standard	-139
K3 + TRCVR	Préampli OFF	-137
TS-2000	Préamp + ATT ON	-123
KX3 + TRCVR	Préampli OFF	-128
FT-857	Standard	-136
FT-897	Standard	-138
IC-7000	Préampli OFF	-130
IC-7400	Préampli OFF	-131
FT-225-RD	Standard	-136
FT-991-A	Standard	-138
IC-910	Préampli ON	-138
	Préampli OFF	-124

# Mesure du blocage (1)

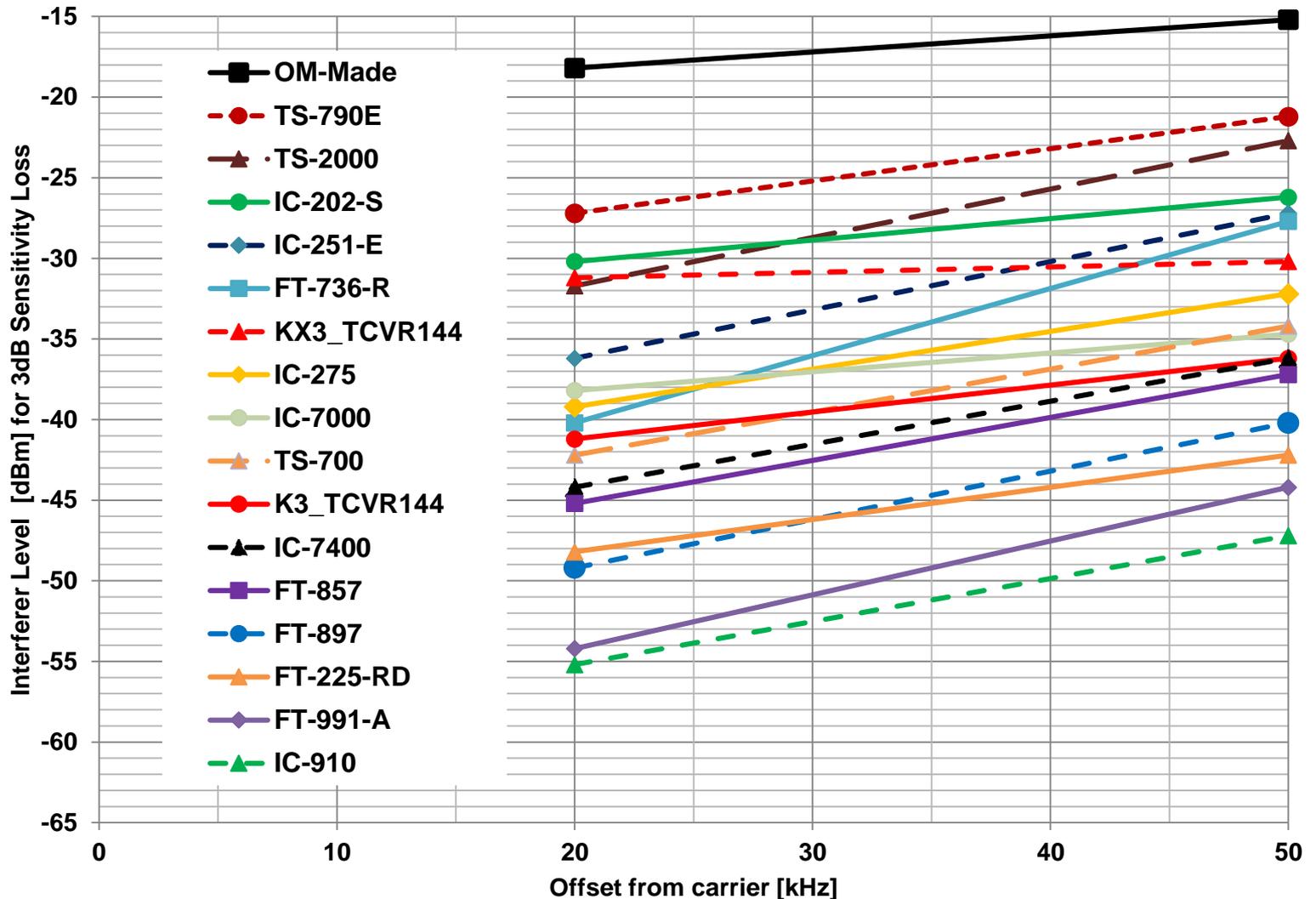
- L'entrée du RX est connectée, à travers un «Wilkinson power-combiner», à une source de signal utile (signal CW sur la fréquence de RX) et à une source de signal perturbateur (pilote à quartz sur 144.300MHz)
- Le niveau du signal perturbateur est réglé à l'aide d'un atténuateur variable
- Le niveau du signal utile est réglé à travers la source de signal (RF Test Set HP-8920B)

## Mesure du blocage (2)

- La fréquence du signal utile est réglée entre 144.280 et 144.00MHz, et le récepteur est calé sur cette fréquence
- On mesure le niveau de bruit généré par le pilote à quartz centré sur 144.300MHz, à 20kHz puis à 50kHz d'offsets en fréquence  
( $f_{RX} = 144,280\text{MHz}$  puis  $144,250\text{MHz}$ )
- On règle le niveau du pilote à quartz pour obtenir une augmentation du bruit audio de +3dB, et on note cette valeur

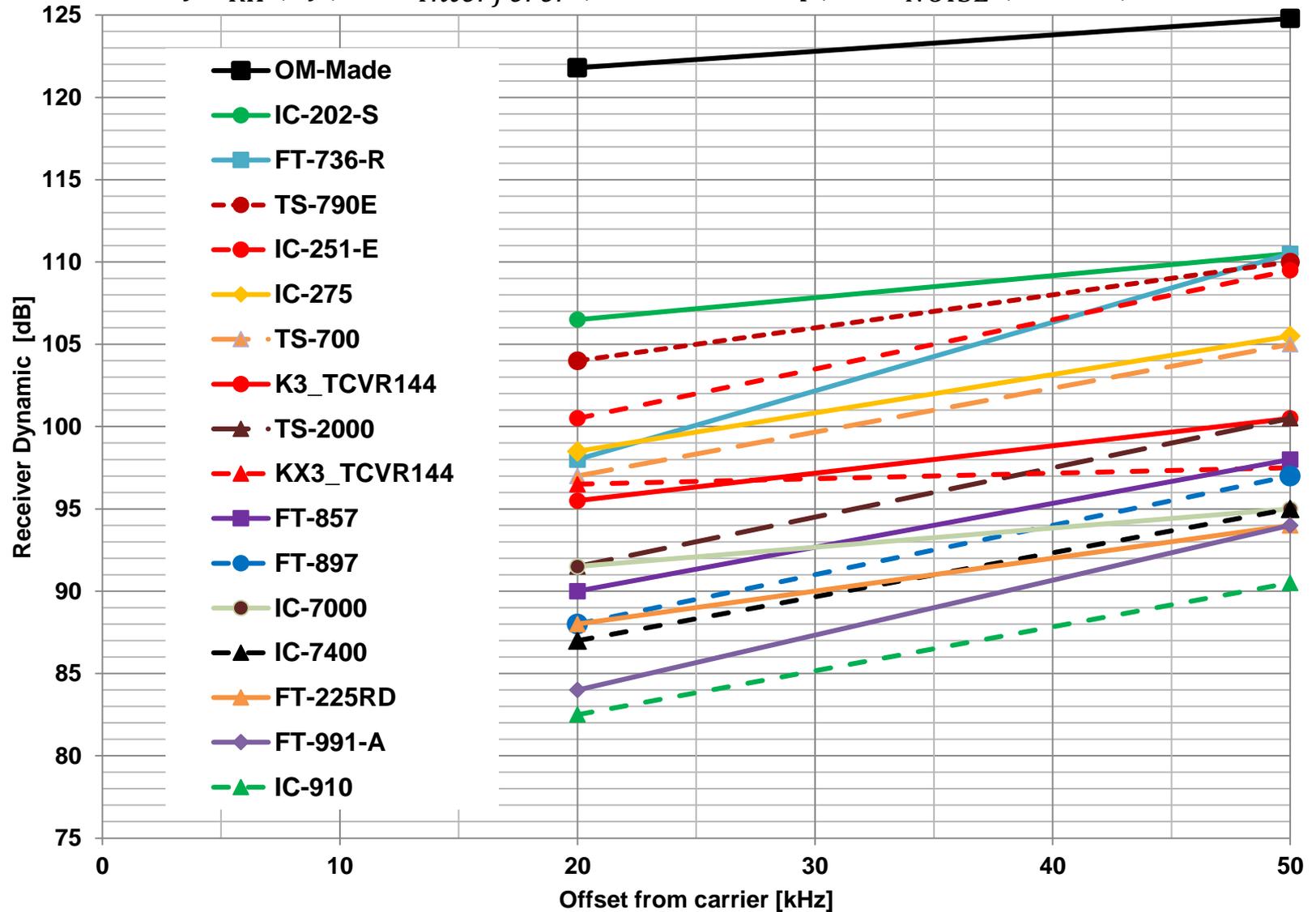
# Mesure du blocage; résultat (1)

A un offset de 50kHz du perturbateur «propre», le meilleur appareil (TS-790E) supporte -21dBm (pour une dégradation de sensibilité de -3dB. Le plus médiocre (IC-910) seulement -47dBm



# Mesure du blocage; résultat (2, Dynamique)

$$Dyn_{RX}(\Delta f) = P_{Interferer}(Noise\ 3dB\ up) - P_{NOISE}(RX\_IN)$$



# Mesure du blocage; Dynamique (3)

## Commentaires:

- Sur le 1<sup>er</sup> graphe, le «KX3» supportait un niveau perturbateur plus élevé que le «K3». Mais c'est seulement parce qu'il était moins sensible. Sa «dynamique» est comme celle du K3
- IC-202: sur cet appareil, un signal perturbateur fort (et propre) à côté de son canal de réception ne cause pas d'augmentation du bruit, mais une compression du signal reçu → amplitude du signal reçu diminuée → sensibilité diminuée (raison = oscillateur local du VFO est très propre car basé sur un XTAL (VCXO))

# Sensibilité et Dynamique (4)

Appareil	Configuration	Niveau de bruit équivalent [dBm] à l'entrée du RX	Niveau perturbateur [dBm] à $\Delta f=50\text{kHz}$ pour 3dB de réduction de sensibilité	Dynamique [dB] à $\Delta f=50\text{kHz}$
OM-made	Préampli Ga-As	-140	-15	125
	Préampli J-Fet	-132	-5	128
IC-202 S	Standard	-137	-26	111
TS-790-E	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

# Conclusions

- La dynamique de beaucoup de TRX-144MHz n'est pas adéquate pour une utilisation en contest sur un point haut dégagé, lorsqu'il y a voisinage avec d'autres stations QRO opérant dans les mêmes conditions.
- Dans la plupart des cas, c'est le bruit du VFO qui définit la performance en dynamique de l'équipement
- Le niveau de bruit thermique dans la chaîne TX est souvent trop élevé (défaut de conception). Cela provoque l'apparition de bruit de souffle sur toute la bande chez le RX «victime», même en l'absence de modulation microphonique.