

## Proposition d'un protocole de mesure sur la réjection du canal adjacent de la partie réceptrice d'un répéteur VHF en FM analogique

L'objet de ce protocole est d'établir une mesure réelle et selon des conditions de mesures reproductibles sur la réjection du canal adjacent de la partie réceptrice d'un répéteur VHF 2 m en modulation FM analogique et ainsi de la comparer aux caractéristiques annoncées par le constructeur à ce sujet.

Les conditions de mesures décrites dans ce protocole sont inspirées de celles qui sont établies dans l'ARRL Lab et dont l'ingénieur responsable est Bob Allison WB1GCM.

Toutefois, les conditions réelles d'utilisation d'un répéteur VHF 2 m (en région 1 et en particulier en Belgique) sont particulières par rapport à celles qui existent lors de l'utilisation d'un *transceiver* VHF standard. En effet, il y a lieu d'examiner les éléments suivants :

- Dans la bande VHF 2 m, l'espacement entre les canaux des répéteurs est de 12,5 kHz (anciennement de 25 kHz) ;
- La mesure standard de réjection du canal adjacent d'un récepteur VHF s'effectue avec un espacement de fréquence de **20 kHz** selon le protocole de mesure de l'ARRL Lab ;
- Un répéteur VHF 2 m est opéré avec un shift de -600 kHz ; ceci constitue *de facto* une condition de mesure particulière où il y a lieu de vérifier les performances d'un *rack* répéteur VHF au point de vue de la réjection d'un signal avec cet espacement de **600 kHz** ;
- Les mesures de réjection d'un signal perturbateur avec un espacement de 600 kHz peuvent nous donner des indications précieuses sur le calcul du rapport de protection d'un duplexeur devant être souvent une partie intégrante de l'installation d'un répéteur VHF ;
- Comme les répéteurs installés en zones urbaines doivent souvent cohabiter avec des installations de radiodiffusion FM très puissantes dans la bande 88 MHz - 108 MHz, et comme les premiers étages radiofréquences des *racks* répéteurs modernes sont souvent à large bande, il y a lieu d'examiner le comportement de la partie réceptrice du répéteur lorsque celui-ci reçoit un signal perturbateur puissant et situé dans cette bande FM de radiodiffusion ;
- Le rapport de protection entre deux relais géographiquement distants est à examiner dans les cas où ceux-ci fonctionnent soit sur la même fréquence, soit à un écart d'un demi-canal (12,5 kHz), soit à un écart d'un canal (25 kHz). On peut ainsi estimer l'ordre de grandeur du niveau du signal perturbateur d'un autre répéteur arrivant sur un canal adjacent par exemple avec un espacement de 12,5 kHz à l'entrée du répéteur sous test ou à l'entrée d'une station radio mobile ; cela peut donc donner une indication sur la pertinence des mesures de réjection d'un canal adjacent d'un *rack* répéteur VHF avec un espacement de 12,5 kHz et avec des signaux modulés FM d'une déviation de 3 kHz ou d'une déviation de 2,5 kHz.

Voir à ce sujet l'article de [ON7PC](#) : « Interférences entre relais radioamateurs ».

## Matériel nécessaire pour la mesure de réjection du canal adjacent d'un répéteur VHF

Les types d'appareils et accessoires qui sont repris ci-dessous sont mentionnés à titre indicatif. D'autres types d'appareils dont les performances sont équivalentes ou supérieures peuvent bien entendu être utilisés à bon escient.

Les points critiques du *Set-up* de mesure seront examinés plus loin pas par pas.

- 2 générateurs de signaux radiofréquence VHF à faible bruit de phase avec atténuateur et modulateur internes intégrés (HP 8662A) ;
- 1 analyseur audio avec fonction de mesure SINAD *Signal Noise And Distortion* (HP 8903A) ;
- 1 analyseur de spectre VHF à haute résolution de bande passante (HP 8563E) ;
- 1 bolomètre *Power Meter* (HF EPM 441A) ;
- 1 sonde bolométrique *Power Sensor* (HP 8481A) ;
- 1 diviseur de puissance *Power Splitter/Combiner* VHF à haute isolation HF (Mini-Circuit ZFSC-2-4 ; BNC) ;
- 2 atténuateurs -6 dB BNC (Huber & Suhner 6906.01.A 1002042990) ;
- 1 atténuateur -3 dB BNC (Huber & Suhner 6903.01.A 1002831511) ;
- 1 atténuateur de -110 dB par pas de -10 dB et un atténuateur de -11 dB par pas de -1 dB (HP 8496B ; HP 8494B) ;
- 1 liaison coaxiale semi-rigide entre les deux atténuateurs par pas (HP 11716A) ;
- 1 atténuateur VHF -30 dB de haute puissance et à haute isolation de rayonnement HF (Bird 500-WA-FFN-30) ;
- 1 atténuateur VHF -20 dB de moyenne puissance et à haute isolation de rayonnement HF (Narda 766-20) ;
- 5 adaptateurs type N ml - BNC fm (Amphenol APH-NP-BNCJ) ;
- 1 adaptateur « I » type N fm - type N fm (Radiall R161 705 000W) ;
- 5 câbles coax BNC - BNC 50  $\Omega$  ; 48 inch 1,46 m ; (HP 10503A 8120-2582-101) ;
- 1 câble coax BNC fm vers connecteur audio du récepteur sous test (connecteur Jack 3,5 mm ou mini Sub-D 15 pins pour un répéteur DR-1X Yaesu (AF Out) ;
- 1 câble coaxial de puissance 50  $\Omega$  type N ml - type N ml ;
- 1 câble de mesure 50  $\Omega$  type N ml - type N ml ;
- 1 charge étalon 50  $\Omega$  type N ml (HP 908A) ;
- 1 multimètre Fluke 28 Mk 2.

Tous les appareils de mesures doivent être calibrés, dans la mesure du possible, dans le cadre d'une activité radioamateur. Les professionnels des télécommunications exigent en général, dans un rapport de mesure, les certificats et les dates des dernières calibrations des appareils de mesure utilisés. Toutefois, avec du matériel OM de seconde main, il est possible de procéder à certaines vérifications sur les mesures effectuées afin d'augmenter la certitude de précision sur les mesures réalisées. Cet aspect sera examiné lors de la description du *Set-up* de mesure.

Rappelez-vous qu'il y a un monde de différence entre ce que vous mesurez et ce que vous croyez mesurer (hi). Tout ceci exige une relative expérience et un certain parc d'équipements de mesure qui n'est pas toujours abordable chez la plupart des OM d'entre nous. Mais ne jetons pas le gant et retenons ici les expérimentations des radioamateurs.

Pour les OM avertis, ce document peut servir de lignes de conduites ou simplement, pour tous, vous sensibiliser sur l'importance de certaines mesures et comment les effectuer le plus correctement possible dans le cadre d'une épreuve sur une installation d'un répéteur VHF.

### Principe de la mesure de réjection du canal adjacent d'un récepteur VHF

Cela consiste à injecter deux signaux HF, modulés en FM de même déviation et de fréquences modulantes différentes, signaux HF combinés d'une part sur la fréquence RX du répéteur (signal utile, déviation **3 kHz**, fréquence modulante de **1 kHz**) et d'autre part sur une autre fréquence (signal perturbateur, déviation **3 kHz**, fréquence modulante **400 Hz**) situées à un certain écart de fréquence choisi selon le protocole de mesure (canal adjacent ou assimilé), tout cela injecté directement vers l'entrée RX du répéteur (sans duplexeur).

Le connecteur TX du répéteur est évidemment raccordé par un circuit séparé à une charge fictive de puissance (ou un atténuateur de puissance, lui-même raccordé à sa sortie sur une charge fictive étalon ou sur l'entrée d'un analyseur de spectre).

Un analyseur audio est raccordé à la sortie BF du récepteur afin de mesurer le rapport signal sur bruit et distorsion (SINAD) du signal FM démodulé. Dans un premier temps, seul un signal HF modulé sur la fréquence RX est injecté vers le récepteur afin de déterminer sa sensibilité (MDS *Minimum Discernable Signal*) pour un rapport SINAD normé (**12 dB SINAD**). Dans un deuxième temps, les deux signaux HF modulés FM et combinés avec un écart de fréquence déterminé selon le protocole de mesure sont injectés vers l'entrée RX du répéteur. Le but de la mesure est de déterminer le niveau absolu (en dBm) du signal perturbateur qui provoque une dégradation du rapport SINAD (**de 12 à 6 dB SINAD**). La comparaison entre le niveau absolu du signal utile (au niveau du MDS) et celui du signal perturbateur nous donne le résultat de la mesure de la réjection du canal adjacent exprimée en dB.

### L'art de combiner deux signaux HF sans intermodulation

Les signaux des deux générateurs HF doivent être combinés afin d'être acheminés sur une voie commune vers l'entrée de la partie réceptrice sous test. Le point commun entre les deux sorties des générateurs ne s'effectue pas du tout avec un « Té » coaxial ! Il va falloir prendre certaines précautions élémentaires pour que le signal d'un générateur ne « rentre » pas dans le second générateur et ne risque pas ainsi d'interférer dans son circuit de sortie. Il en est de même en ce qui concerne le signal de ce second générateur HF vis-à-vis du premier générateur.

La combinaison de deux signaux HF s'effectue par l'intermédiaire d'un circuit de combinaison (*Combining Network*) qui est constitué essentiellement d'un « diviseur/combinateur de puissance » (*Power Splitter/Combiner*).

On peut améliorer le rapport d'isolation entre les deux générateurs offert par le « circuit combinateur » au moyen de certains éléments de raffinement, comme par exemple en ayant recours à l'insertion d'atténuateurs fixes ou de circulateurs suivis de filtres passe-bas, ou encore avec des amplificateurs à large bande suivis d'atténuateurs fixes.

## Un circuit combineur simple (*Network Combiner*), efficace et raffiné pour deux signaux VHF dans une application OM

Le circuit combineur est constitué d'un *Power Splitter/Combiner* du constructeur Minit-Circuit (type ZFSC-2-4). Vous pouvez vous en procurer un exemplaire sur E-Bay pour un prix d'environ USD 35,00 (en 2018). Deux versions existent couramment : la première avec des connecteurs SMA, la seconde avec des connecteurs BNC. L'exemplaire utilisé lors de la description de ce protocole de mesure et lors des tests effectués et illustrés ci-dessous est équipé de connecteurs BNC.

Afin d'améliorer l'isolation HF entre les deux branches d'entrées du *Network Combiner* et aussi à la branche de sortie de celui-ci, des atténuateurs fixes ont été insérés directement sur les trois ports de ce dispositif. Ainsi, chaque entrée du *Network Combiner* est équipée d'un atténuateur BNC Huber & Suhner de **-6 dB** et la sortie du combineur accueille un atténuateur Huber & Suhner de **-3 dB**. Ce raffinement contribue réellement à améliorer l'isolation HF entre les deux générateurs et favorise aussi à conserver un SWR (*Standing Wave Ratio* ; ROS : rapport d'ondes stationnaires) favorable dans les lignes de transmission entre les générateurs et le circuit combineur d'une part et entre la sortie du combineur et le récepteur sous test d'autre part.



Fig. 1 : Circuit combineur de deux signaux radiofréquence (*Power Splitter/Combiner*) Mini-circuit ZFSC-2-4, signaux en provenance de deux générateurs HF pour être acheminés sans intermodulation à l'entrée RX d'un répéteur VHF sous test. Photo : ON4IJ.

Le couplage d'un tel dispositif est de **-3 dB** (puissance divisée par deux car deux voies des signaux) ; la perte d'insertion du ZFSC-2-4 est de l'ordre de 0,3 dB et le rapport d'isolation entre les deux branches d'entrées est de l'ordre de 33 dB à 140 MHz. Il y a lieu de tenir compte de l'atténuation présentée par les deux atténuateurs de **-6 dB** et de l'atténuateur de **-3 dB** lors des mesures.

## Vérification de l'absence d'intermodulation des signaux HF combinés entre les deux générateurs au moyen d'un analyseur de spectre

Une bonne méthode pour vérifier que les deux signaux HF combinés à partir des deux générateurs ne produisent pas d'interférence (intermodulation) entre eux est d'observer la combinaison des signaux produits sur un analyseur de spectre.

Remarque : il ne s'agit pas ici de placer l'analyseur de spectre dans des conditions d'intermodulation de son étage d'entrée ou de son propre mélangeur de fréquences d'entrée. En effet, ce n'est pas les conditions d'intermodulation de l'analyseur de spectre que l'on veut mesurer, mais bien la potentielle intermodulation qui puisse exister dans la manière de combiner les deux signaux HF en provenance des deux générateurs. Pour ce faire, il y a lieu d'examiner les caractéristiques et les conditions d'intermodulation de l'analyseur de spectre que l'on veut utiliser. Afin de garantir toute éventualité d'intermodulation dans les étages d'entrée de l'analyseur de spectre, on veillera à ce que le niveau absolu des deux signaux combinés soit d'une valeur relativement faible par rapport aux capacités de mesure de l'analyseur de spectre sans intermodulation intrinsèque à celui-ci. Dans ce protocole de mesure, les valeurs standard proposées de niveau absolu des signaux combinés ne dépassent pas respectivement les valeurs de **-20 dBm**. L'atténuateur d'entrée et interne à l'analyseur de spectre est paramétré sur une valeur standard de **-10 dB**. Le niveau de référence de l'analyseur est paramétré sur **-20 dBm** afin de profiter d'un maximum de dynamique de la mesure affichable. La résolution de bande passante de l'analyseur (*RBW*) est volontairement réduite à une valeur de **100 Hz** pour un étalement en fréquence (*Span*) de **25 kHz**, 50 kHz ou 100 kHz afin de garder un plancher de bruit de l'ordre de -80 dB en dessous du niveau de référence (-20 dBm - 80 dB = **-100 dBm**) et afin de pouvoir détecter des produits d'intermodulation du 3<sup>ème</sup> ordre situés à directe proximité des deux porteuses grâce à une résolution de bande passante suffisante et une sélectivité élevée des filtres *IF* (MF) numériques de l'appareil de mesure. La vitesse de balayage en fréquence de l'analyseur est donc réduite en conséquence. Le *Span* est ensuite paramétré sur un calibre de **50 kHz** puis de **100 kHz** pour permettre de visualiser sur l'écran les fréquences des produits d'intermodulation du 3<sup>ème</sup> ordre (et éventuellement du 5<sup>ème</sup> ordre) pour un espacement de **12,5 kHz** entre les deux porteuses.

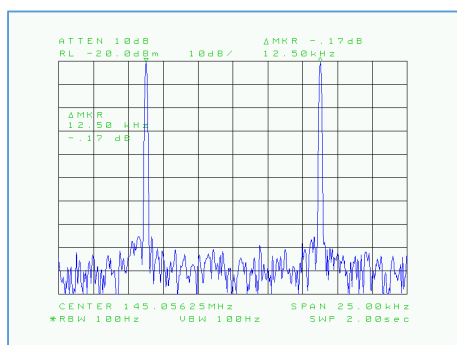


Fig. 2 : Relevé spectral des signaux de deux générateurs HF combinés afin d'examiner l'absence d'intermodulation entre eux grâce au dispositif de combinaison de signaux qui est utilisé. Les deux signaux VHF à leurs niveaux absolus maximum respectifs de -20 dBm et avec un écart aussi faible que 12,5 kHz représentent le cas le plus défavorable pour une intermodulation éventuelle entre les deux générateurs. Le cliché ci-dessus permet d'illustrer la haute sélectivité des filtres *IF* de l'analyseur de spectre pour une *RBW* de 100 Hz avec ici un *Span* de 25 kHz Cliché : ON4IJ.

## Setup de raccordement des deux générateurs HF

Les deux générateurs sont raccordés au combineur par l'intermédiaire d'atténuateurs de -6 dB. La sortie du combineur est raccordée à un analyseur de spectre par l'intermédiaire d'un atténuateur de -3 dB et de deux atténuateurs par pas de 10 dB et de 1 dB. Les atténuateurs par pas sont actuellement réglés tous deux sur leur calibre de **0 dB**. Les amplitudes des générateurs sont réglées de façon à obtenir une mesure de **-20 dBm** à l'entrée de l'analyseur de spectre. Ce réglage permet de tenir compte des pertes d'insertion des câbles HP 10503A, du combineur ZFSC-2-4, des atténuateurs de -6 dB et de l'atténuateur de -3 dB.

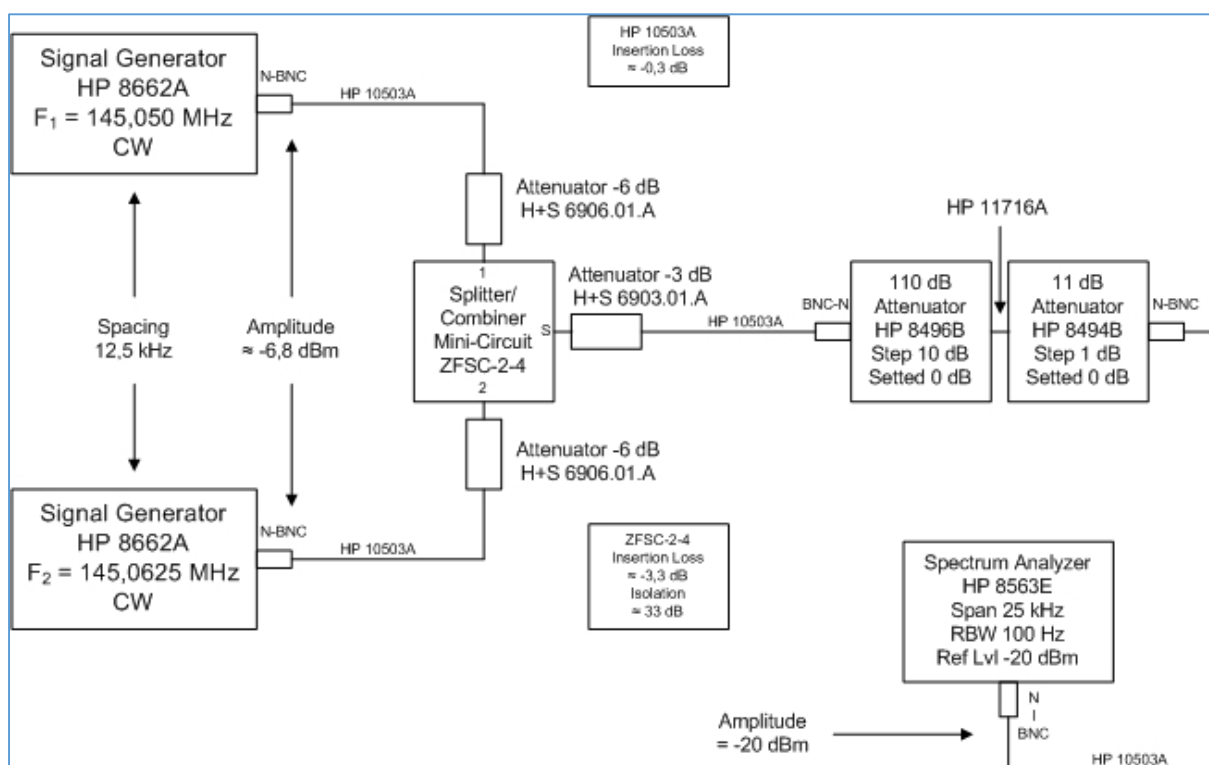


Fig. 3 : *Set-up* de mesure pour la combinaison de deux signaux radiofréquence : le signal utile et le signal perturbateur. Le raccordement de la sortie du combineur vers un analyseur de spectre permet de régler l'amplitude des deux générateurs et surtout de vérifier l'absence d'intermodulation entre les deux générateurs HF. Le résultat de la mesure sur l'analyseur de spectre est illustré à la figure précédente. Graphisme : ON4IJ.

## Réglage de l'amplitude de sortie des générateurs

Le réglage des amplitudes de sortie des générateurs s'effectue avec la mesure de celles-ci sur l'analyseur de spectre de façon à obtenir un niveau absolu de **-20 dBm** sur les deux porteuses non modulées. En tenant compte de toutes les pertes d'insertions (**-13,2 dB**), on arrive selon le *Set-up* illustré ci-dessus à une amplitude de **-6,8 dBm** directement à la sortie des deux générateurs. Le relevé spectral permet de vérifier que les deux porteuses sont rigoureusement au même niveau. La fonction de calibrage interne de l'analyseur de spectre aura été préalablement activée juste avant d'effectuer les relevés des mesures.

### Vérification du niveau absolu de chaque porteuse des deux générateurs au moyen d'un bolomètre (*Power Meter*)

Afin de vérifier que le niveau absolu de chaque porteuse est bien respectivement de -20 dBm, l'analyseur de spectre est substitué par un bolomètre (*Power Meter*) avec une sonde bolométrique appropriée (*Power Sensor*). Attention : il s'agit de vérifier le niveau absolu d'une seule porteuse à la fois et non les deux en même temps !

La méthode pour mesurer une seule porteuse à la fois est très simple : il suffit d'activer la fonction « *Amplitude Off* » sur le premier générateur et ensuite de répéter la même opération sur le deuxième générateur en rétablissant le niveau d'amplitude nominale au générateur dont le niveau absolu doit être vérifié à la sortie du combinateur. Lorsque la fonction « *Amplitude Off* » est activée à un générateur HP 8662A, le niveau absolu d'amplitude de sortie est paramétré à une valeur de -139,9 dBm, autant dire que ce niveau est « infiniment » petit et qu'il ne va pas perturber la mesure de l'amplitude de l'autre générateur. Cette méthode permet surtout de conserver une impédance de source de 50  $\Omega$  sur les deux ports d'entrée du combinateur afin de ne pas déséquilibrer celui-ci. L'erreur à ne pas commettre est de débrancher une des entrées du combinateur car dans ce cas, il y aurait une erreur de mesure.

Le bolomètre et sa sonde sont alimentés au moins une heure à l'avance pour permettre à cet équipement de mesure d'atteindre sa température d'équilibre de fonctionnement. Cette remarque est évidemment valable pour tout appareil de mesure. Le bolomètre est calibré en fonction de la table de linéarisation de la sonde utilisée. Certains bolomètres disposent d'une fonction de mémorisation des tables de plusieurs sondes. La fonction de mise à zéro du bolomètre est activée, ensuite la fonction de calibrage de la sonde est activée lorsque celle-ci est raccordée sur la sortie du calibre interne au bolomètre.



Fig. 4 : Vérification de mesure du niveau absolu de la porteuse d'un seul générateur au moyen d'un bolomètre (*Power Meter*). Le niveau absolu de la porteuse mesurée à la sortie du combinateur est bien de -20 dBm comme cela avait déjà été mesuré au moyen de l'analyseur de spectre. Il s'agit ici d'une vérification de mesure. Photo : ON4IJ.

## Vérification de la déviation de la modulation FM d'un générateur HF

Lors des mesures de réjection du canal adjacent d'un récepteur sous test, les deux générateurs vont devoir produire des signaux modulés FM avec une déviation standard en NBFM de **3 kHz** et avec respectivement des fréquences modulantes de **1 kHz** et de **400 Hz**. Il s'agit de vérifier la précision de la déviation en fréquence et celle de la fréquence modulante des modulateurs internes des deux générateurs.

Le moyen le plus efficace et le plus précis pour effectuer cette vérification est d'utiliser un analyseur de spectre pour effectuer deux contrôles :

- Écart des raies spectrales de part et d'autre de la fréquence porteuse à des multiples entiers de la fréquence modulante ;
- Vérification des amplitudes de la raie spectrale de la porteuse et des raies latérales au moyen des fonctions de Bessel.

Un modulo-mètre peut être utilisé pour cette vérification, mais ce modulo-mètre est-il correctement étalonné et donne-t-il une précision suffisante pour les mesures qui doivent être effectuées selon le protocole ci-décrit ? Tous les modulo-mètres sont calibrés avec un analyseur de spectre et avec les fonctions de Bessel. Cela est laissé à votre réflexion.

### Bref rappel sur les fonctions de Bessel

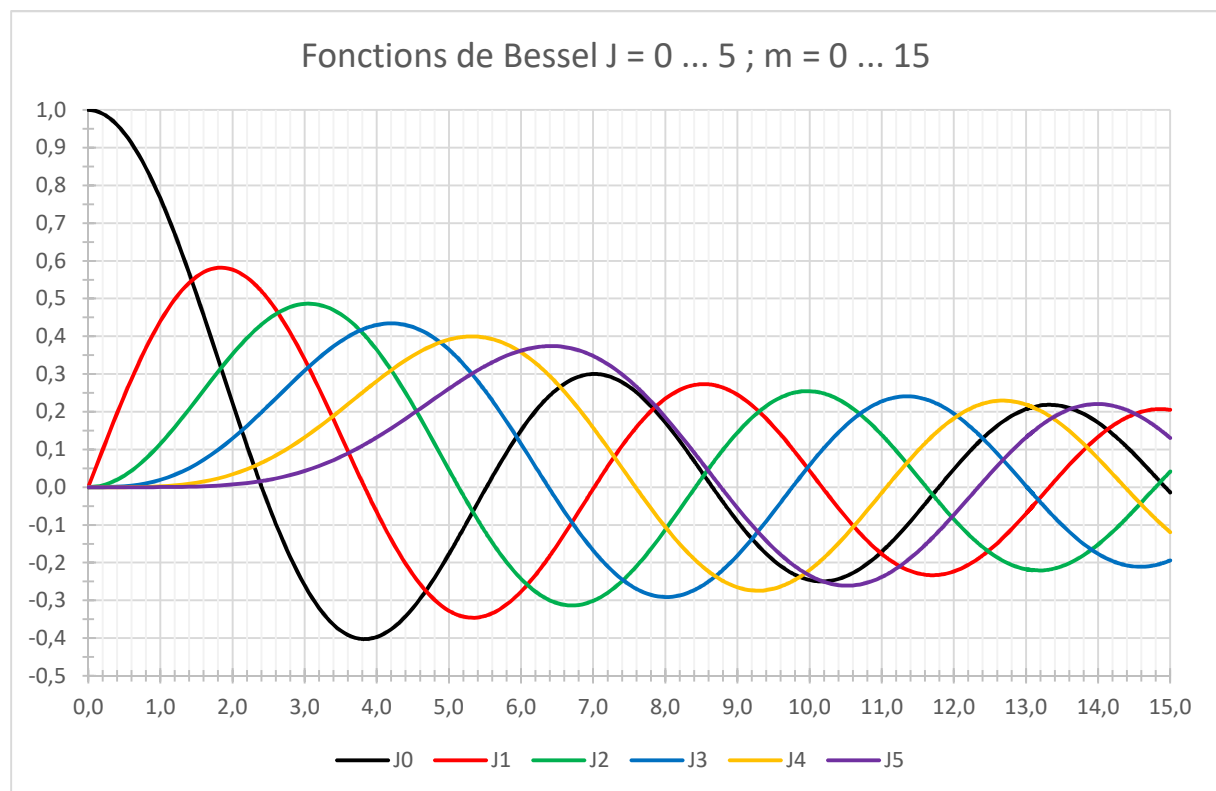


Fig. 5 : Graphe des fonctions de Bessel pour  $J = 0 \dots 5$  et  $m = 0 \dots 15$ . Les fonctions de Bessel permettent de calculer l'amplitude des raies spectrales d'une porteuse modulée en FM pour un indice de modulation donné. Graphisme : ON4IJ.

Sans trop rentrer dans les mathématiques, il y a lieu de retenir que le graphe illustré ci-dessus permet de calculer les amplitudes de toutes les raies spectrales d'une



modulation FM pour un indice de modulation donné. L'indice de modulation est le rapport entre la déviation de fréquence et la fréquence modulante.

$$m = \frac{\Delta f_{peak\ dev}}{f_{mod}}$$

$m$  : indice de modulation ;

$\Delta f_{peak\ dev}$  : crête d'excursion ou de déviation de fréquence ;

$f_{mod}$  : fréquence du signal modulant.

Dans le cas d'une déviation de 3 kHz et d'une fréquence modulante de 1 kHz, l'indice de modulation  $m = 3$ .

Dans le cas d'une déviation de 3 kHz et d'une fréquence modulante de 400 Hz, l'indice de modulation  $m = 7,5$ .

Sur le graphe de la figure précédente, il suffit de lire l'ordonnée de chaque courbe pour une abscisse donnée  $m$  de 3 ou de 7,5. La courbe  $J_0$  correspond à la variation d'amplitude de la raie de la porteuse en fonction de l'indice de modulation. La courbe  $J_1$  correspond aux premières raies spectrales de la modulation FM et ainsi de suite pour  $J_2, J_3, \dots$ . Les ordonnées lues sur le graphique donnent les coefficients de Bessel de 1<sup>ère</sup> espèce pour un indice de modulation donné. Le tableau ci-dessous donne ces coefficients pour divers indices de modulation ( $m = \beta$ ).

$\beta$	$J_0(\beta)$	$J_1(\beta)$	$J_2(\beta)$	$J_3(\beta)$	$J_4(\beta)$	$J_5(\beta)$	$J_6(\beta)$	$J_7(\beta)$	$J_8(\beta)$	$J_9(\beta)$	$J_{10}(\beta)$	$J_{11}(\beta)$
0	1	0										
0.2	0.99	0.099	0.005	0.0002								
0.25	0.98	0.12										
0.4	0.9604	0.196	0.0157	0.0013								
0.6	0.912	0.2867	0.0437	0.0044								
0.8	0.8463	0.3688	0.0758	0.0102	0.001							
1	0.7652	0.4401	0.1149	0.0195	0.0025							
1.2	0.6711	0.4983	0.1593	0.0329	0.005							
1.4	0.5669	0.5419	0.207	0.0505	0.009							
1.6	0.4554	0.5699	0.2570	0.0725	0.01439							
2	0.2239	0.5767	0.3528	0.1289	0.034							
2.4	0.0025	0.5202	0.4311	0.1981	0.0643							
2.8	-0.261	0.3391	0.4783	0.2728	0.1067							
3	-0.2601	0.3391	0.4861	0.3091	0.132	0.043	0.0114					
4	-0.3971	-0.066	0.3641	0.4302	0.2811	0.1321	0.0491	0.0152	0.004			
5	-0.1776	-0.3276	0.0466	0.3648	0.3912	0.2611	0.131	0.0534	0.0184	0.0055		
6	0.1506	-0.2767	-0.2429	0.1148	0.3576	0.3621	0.2458	0.1296	0.0565	0.0212	0.0069	
7	0.3001	-0.0047	-0.3014	-0.1676	0.1578	0.3479	0.3392	0.2336	0.128	0.0589	0.0235	0.0083

Fig. 6 : Tableau des coefficients de Bessel de 1<sup>ère</sup> espèce permettant de calculer les amplitudes des raies spectrales d'une modulation FM pour quelques indices de modulation ( $m = \beta$  de 0 à 7). Source : P. Poulichet, Mars 2010 ; ESIEE Paris ; Ecole de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris ; Modulation analogique en amplitude et en fréquence.

Ces coefficients peuvent être calculés au moyen d'un tableur Microsoft Excell en activant la fonction « Bessel ».

## Comment convertir les coefficients de Bessel en dBm sur un analyseur de spectre ?

Les coefficients de Bessel expriment une fraction de l'amplitude de la porteuse non modulée lorsque celle-ci est modulée avec un indice de modulation donné et cela raie par raie spectrale. Attention : il s'agit d'une fraction d'amplitude et non pas de puissance. Pour convertir cette fraction d'amplitude en rapport de puissance exprimé en dB, il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$n \text{ [dB]} = 20 \log[J_x(\beta)]$$

$x$  : ordre de la fonction de Bessel (0 = porteuse ; 1 = 1ères raies ; etc.);

$\beta$  : indice de modulation (m) ;

$J_x(\beta)$  : coefficient de Bessel pour un indice de modulation donné

et pour une raie spectrale donnée.

En pratique, pour une modulation FM d'une déviation de 3 kHz et d'une fréquence modulante de 1 kHz, l'indice de modulation est  $m = \beta = 3$ .

Les coefficients de Bessel pour  $m = \beta = 3$  sont repris dans le tableau ci-dessous avec leurs conversions en rapport de puissance par rapport à une porteuse non modulée. La dernière colonne mentionne le niveau absolu des raies spectrales du signal modulé lorsque la porteuse non modulée de ce signal a une valeur d'un niveau absolu de -20 dBm. C'est cette dernière colonne qu'il y a lieu de lire pour vérifier l'amplitude des raies spectrales d'un signal FM sur l'analyseur de spectre. Pour le calcul du rapport exprimé en dB, on prendra la valeur absolue du coefficient de Bessel (sans tenir compte du signe).

Coef. Bessel $m = 3$	Puissance relative à la porteuse non modulée	Niv. absolu des raies spectrales pour un signal non modulé de -20 dBm
$J_0(3) = -0,2601$	-11,7 dB	- 31,7 dBm
$J_1(3) = 0,3391$	-9,4 dB	-29,4 dBm
$J_2(3) = 0,4861$	-6,3 dB	-26,3 dBm
$J_3(3) = 0,3091$	-10,2 dB	-30,2 dBm
$J_4(3) = 0,132$	-17,6 dB	-37,6 dBm
$J_5(3) = 0,043$	-27,3 dB	-47,3 dBm
$J_6(3) = 0,0114$	-38,8 dB	-58,8 dBm

Fig. 7 : Tableau de conversion entre les coefficients de Bessel pour un indice de modulation  $m = 3$  et les rapports de puissance relative par rapport à celle de la porteuse non modulée. La dernière colonne donne les niveaux absolus en dBm pour chaque raie spectrale du signal modulé pour une porteuse non modulée d'un niveau absolu de -20 dBm. Ces valeurs peuvent être lues et vérifiées sur un analyseur de spectre. Source : ON4IJ.

Un raisonnement similaire peut être établi pour un signal modulé FM avec une déviation de 3 kHz et d'une fréquence modulante de 400 Hz ( $m = 7,5$ ). Le lecteur est invité à relever les coefficients de Bessel pour  $m = \beta = 7,5$  et de les convertir en rapports de puissance exprimés en dB, enfin de les convertir en niveaux absolus des raies spectrales exprimés en dBm. C'est à vous de calculer ces coefficients pour cet indice de modulation, par exemple au moyen d'un logiciel tableur.

## Vérification de la déviation de la modulation FM d'un générateur par la lecture des amplitudes des raies spectrales sur un analyseur de spectre

C'est le moment de mettre en pratique la théorie des fonctions de Bessel en utilisant un analyseur de spectre. Les clichés ci-dessous illustrent les mesures d'amplitude de la raie spectrale de la porteuse et celle d'une des deux 6<sup>èmes</sup> raies latérales.

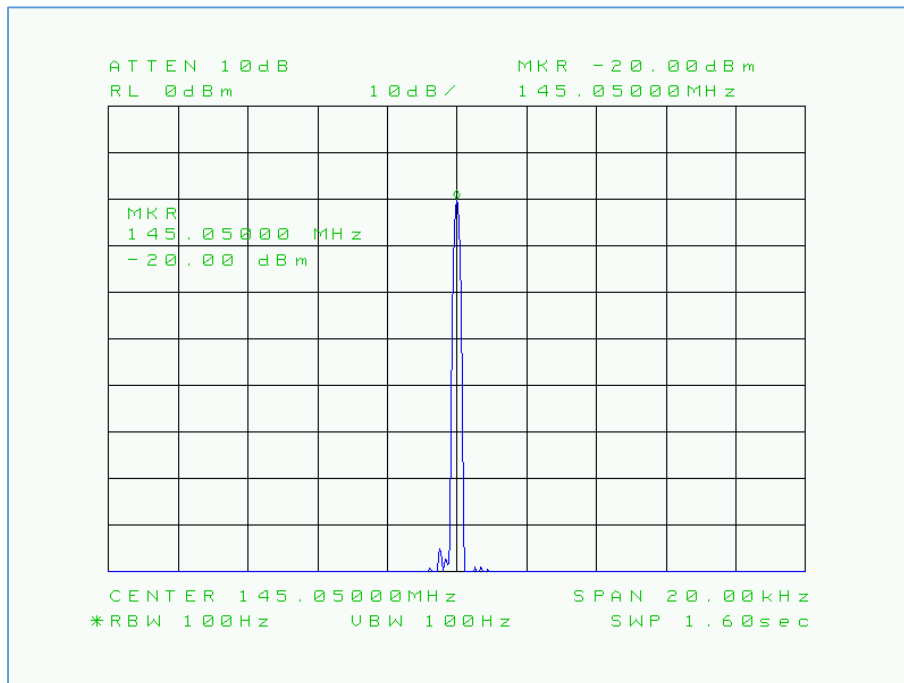


Fig. 8 : Niveau absolu de la porteuse non modulée : la lecture de la mesure donne bien une valeur de -20 dBm. Le niveau de référence de l'analyseur de spectre est ici paramétré à 0 dBm. Cliché : ON4IJ.

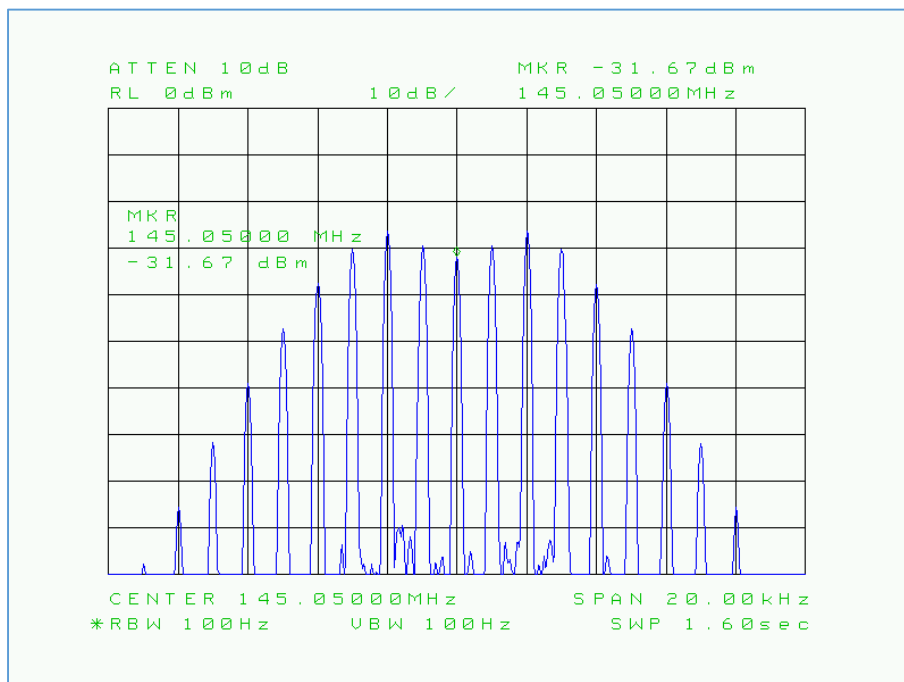


Fig. 9 : Niveau absolu de la raie spectrale de la porteuse modulée : le niveau théorique doit être de -31,7 dBm ; la mesure donne une valeur de -31,67 dBm ( $f = 145,050$  MHz). Cliché : ON4IJ.

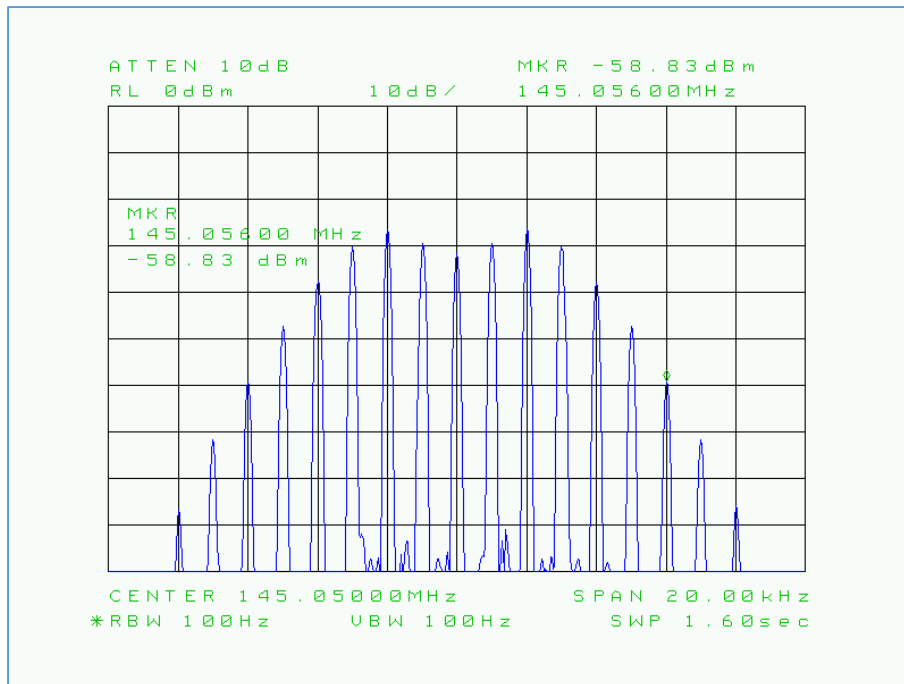


Fig. 10 : Niveau absolu d'une des deux 6<sup>èmes</sup> raies spectrales de la porteuse modulée : le niveau théorique doit être de -58,8 dBm ; la mesure donne une valeur de -58,83 dBm (f = 145,056 MHz). Cliché : ON4IJ.

Sur les trois figures qui précèdent, les vérifications des mesures effectuées prouvent que le modulateur interne du générateur HF est correctement étalonné au point de vue de la déviation de fréquence et que la valeur de la fréquence modulante est précise (la 6<sup>ème</sup> raie spectrale se situe à 6 kHz d'écart par rapport à la raie de la porteuse).

#### Dernière vérification de l'absence d'intermodulation entre les générateurs lorsque ceux-ci injectent tous deux des signaux modulés FM vers le combinateur

Le but est de vérifier s'il ne subsiste aucune interférence ou intermodulation entre les deux générateurs lorsque les signaux combinés sont modulés avec la même déviation de **3 kHz** et respectivement avec des fréquences modulantes de **1 kHz** et de **400 Hz**.

Si le combinateur est « robuste », c'est-à-dire s'il offre une isolation nécessaire et suffisante avec le raffinement apporté par l'adjonction d'atténuateurs fixes de -6 dB et d'un atténuateur de -3 dB, alors il ne devrait y avoir aucune interférence entre les deux signaux modulés. Pour le prouver, il y a lieu de le vérifier sur l'analyseur de spectre avec une résolution de bande passante relativement poussée (ici de 100 Hz) et un *Span* un peu plus large (50 kHz illustré sur la figure suivante) pour permettre de visualiser la totalité du spectre occupé par les deux signaux modulés et combinés. Le *Span* est ensuite paramétré sur le calibre de 100 kHz pour pouvoir visualiser les fréquences où interviennent les potentielles intermodulations du 3<sup>ème</sup> ordre (et éventuellement du 5<sup>ème</sup> ordre) pour un espacement de 12,5 kHz des deux porteuses. Pour une fréquence centrale de l'analyseur de spectre paramétrée sur la valeur de la moyenne arithmétique des deux porteuses, le *Span* doit être paramétré sur calibre immédiatement supérieur à trois fois la valeur d'espacement entre les deux porteuses pour visualiser les produits d'intermodulation du 3<sup>ème</sup> ordre (calibre cinq fois supérieur à l'espacement des porteuses pour visualiser les produits du 5<sup>ème</sup> ordre).

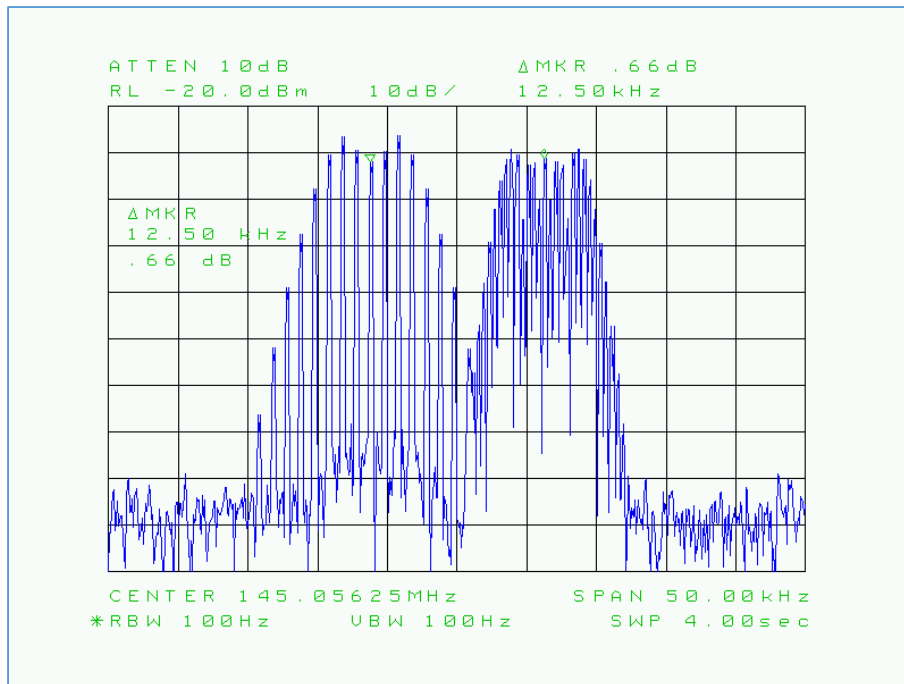


Fig. 11 : Visualisation de signaux HF modulés FM tous deux avec une déviation de 3 kHz ; le premier signal est modulé avec une fréquence modulante de 1 kHz (à gauche), le deuxième avec une fréquence modulante de 400 Hz (à droite). Le niveau de référence de l'analyseur de spectre a été paramétré sur une valeur de -20 dBm afin de profiter du maximum de la dynamique de mesure affichable par l'appareil de mesure. Cliché : ON4IJ.

Sur la figure ci-dessus, les deux signaux combinés apparaissent bien distinctement sur l'analyseur de spectre. Aucune intermodulation, aucune interférence ni *Spurious* parasite entre les deux signaux modulés n'est à constater.

Remarque : les tests décrits ci-dessus ont été effectués avec un espacement de **12,5 kHz** qui correspond à l'écart le plus petit entre deux canaux FM. Il s'agit ici des conditions les plus sévères au point de vue de la combinaison de deux signaux sans intermodulation. Pour un espacement plus important en fréquence entre les deux signaux, le risque d'intermodulation est moindre entre les deux générateurs. Cela donne une certaine assurance pour tous les tests qui vont être réalisés par la suite.

#### Première étape : mesurer la sensibilité (MDS) du récepteur FM sous test

Le principe de cette mesure consiste à injecter un seul signal HF modulé (signal utile) à l'entrée HF du récepteur et de mesurer le rapport signal sur bruit et distorsion (SINAD pour une modulation FM) du signal audio démodulé par le récepteur. Cette mesure s'effectue au moyen d'un analyseur audio équipé de la fonction SINAD (HP 8903A). L'amplitude du 2<sup>ème</sup> générateur est paramétrée sur « *OFF* ». La fréquence du signal HF correspond à celle de l'accord du récepteur : ici la fréquence de réception du récepteur est 145,050 MHz. La modulation FM du signal HF est d'une déviation de **3 kHz** et la fréquence modulante est de **1 kHz**. Au moyen de l'atténuateur par pas, on ajuste le niveau HF injecté à l'entrée HF du récepteur de façon à obtenir un rapport **SINAD de 12 dB** à la sortie audio du récepteur.

Comme le niveau du signal HF du générateur est de -20 dBm à la sortie du combinateur, il suffit de rajouter l'atténuation des atténuateurs par pas pour effectuer la mesure de sensibilité.

**Attention** : avant de raccorder la sortie du combinateur à l'entrée HF du récepteur sous test, il faut impérativement placer l'atténuateur par pas de 10 dB sur une position de **-90 dB** de façon à ce que le niveau absolu du signal injecté vers le récepteur ne soit pas excessif pour son étage d'entrée. Avec un signal de -20 dBm et une atténuation de -90 dB, le niveau absolu à l'entrée RX sera donc de -110 dBm (0,707  $\mu$ V), ce qui correspond à un signal proche de S6 en VHF. Pour information, selon la recommandation technique de l'IARU Région 1 de 1990, un signal S9 en VHF est d'un niveau absolu de -93 dBm (5  $\mu$ V) et un signal S6 correspond à -111 dBm (0,630  $\mu$ V). Cette échelle S en VHF n'est pas la même que celle qui est utilisé en ondes courtes (où S9 en décamétrie correspond à -73 dBm).

Dans les expérimentations qui suivent, les mesures ont été effectuées dans un premier temps sur un *transceiver* mobile Kenwood TM-V7 afin d'obtenir des valeurs repères et de se familiariser avec le protocole de mesure. Les mesures sont effectuées dans un deuxième temps sur un *rack* répéteur Yaesu DR-1X. Ne pas oublier de raccorder la sortie TX du *rack* répéteur sur une charge fictive !

### Set-up pour la mesure de la sensibilité (MDS) d'un répéteur FM

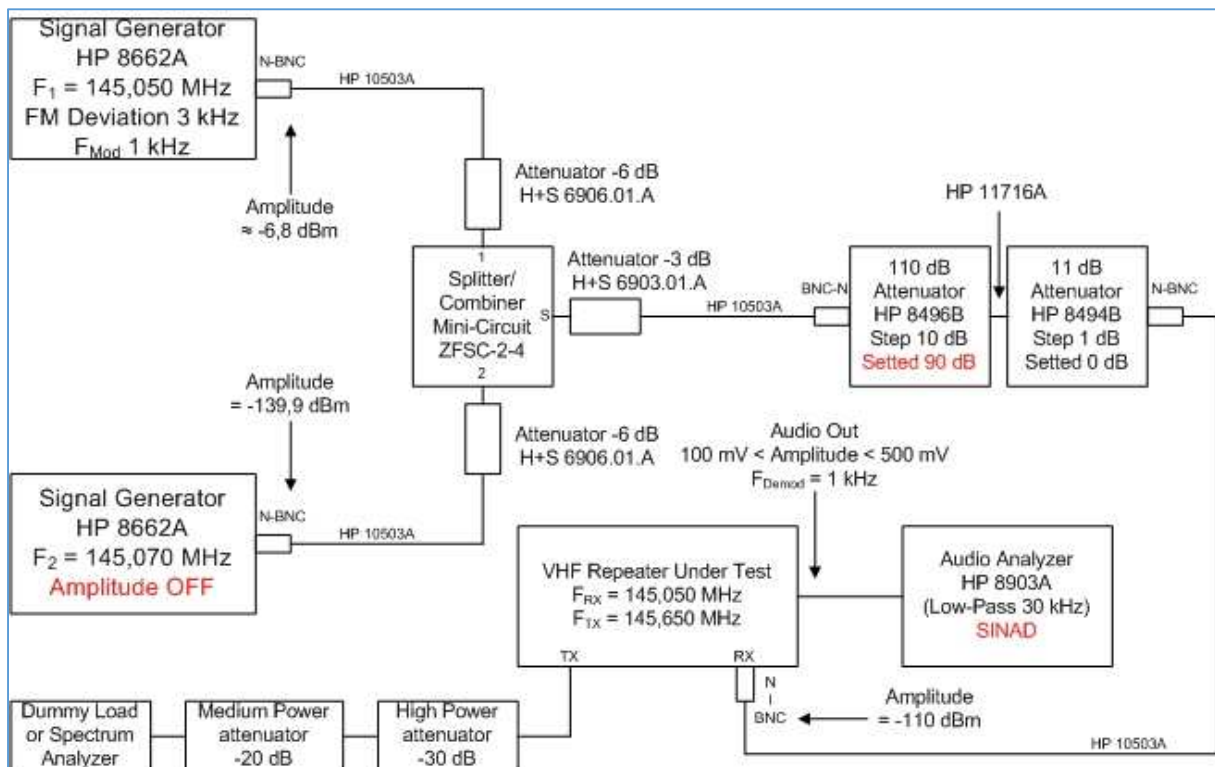


Fig. 12 : Set-up de mesure de la sensibilité d'un répéteur FM sous test dans le cadre d'un protocole de mesure sur la réjection du canal adjacent de la partie réceptrice. Graphisme : ON4IJ.

L'analyseur audio est raccordé à la sortie BF du récepteur sous test. Le signal audio peut être prélevé par dérivation sur le haut-parleur interne du récepteur FM ou bien sur le connecteur Jack 3,5 mm prévu pour le raccordement d'un haut-parleur externe ou d'un casque audio. Dans le cas de figure d'un *rack* répéteur Yaesu DR1X, le signal de sortie audio est prélevé à partir du connecteur mini Sub-D 15 pins « Control I/O » accessible sur le panneau arrière du *rack*. Le signal de sortie AF Out se situe sur la pin 9 et la masse se situe sur la pin 10 du connecteur mini Sub-D du DR-1X. Un câble coaxial adaptateur d'une longueur d'environ 20 cm devra être fabriqué avec d'un côté un connecteur Jack 3,5 mm ou un connecteur mini Sub-D 15 pins mâle et de l'autre côté un connecteur BNC femelle. La liaison entre ce câble adaptateur et l'entrée de l'analyseur audio (HP 8903A) s'effectue par un câble BNC - BNC HP 10503A.



Fig. 13 : *Lay-out* du connecteur mini Sub-D « control I/O » accessible sur le panneau arrière du *rack* répéteur Yaesu DR-1X. Source : Yaesu, manuel utilisateur DR-1X.

9	AF OUT	Output	Up-link RX AF output (w/ de-emphasis). 300 mV peak to peak Analog audio output during uplink reception. Does not affect the operation mode of the repeater. This pin is an output for AF signal (300 mVp-p), being extracted after the de-emphasis. Demodulated digital signals can be output as well.
10	GND	GND	Chassis ground for all logic levels and power supply return

Fig. 14 : Assignment des pins du connecteur mini Sub-D « Control I/O » du *rack* Yaesu DR-1X pour la sortie du signal audio démodulé ; ce signal est prélevé après le circuit de désaccentuation du signal démodulé FM. Source : Yaesu, manuel utilisateur DR-1X.

### Choix de l'amplitude du signal audio à la sortie du répéteur FM sous test

Le réglage de l'amplitude de la sortie audio du signal démodulé d'un récepteur FM s'effectue en général au moyen du bouton de réglage du volume audio de l'appareil. Il y a lieu de placer ce réglage sur « un niveau sonore confortable d'écoute ». Cette notion relativement suggestive ne rencontre pas la rigueur et la rigidité d'un protocole de mesure.

Afin de déterminer un niveau audio optimal, les lignes directrices suivantes peuvent être adoptées. Le signal audio démodulé doit avoir une amplitude compatible avec celle de l'étendue de mesure de l'analyseur audio pour un rapport signal sur bruit acceptable. Le réglage de volume du récepteur sous test ne doit pas placer son étage de sortie BF dans des conditions de distorsion inacceptable. Ces deux notions sont encore toutes relatives, mais elles fixent les bornes d'un minimum et d'un maximum à ne pas franchir.

Qu'est-ce qu'une amplitude BF minimale pour un rapport signal sur bruit acceptable ?  
Qu'est-ce qu'une amplitude BF maximale pour une distorsion acceptable ?

L'étendue de mesure d'un analyseur audio HP 8903A pour une mesure de rapport signal sur bruit ou de rapport SINAD est comprise entre 50 mV<sub>RMS</sub> et 300 V<sub>RMS</sub>. Le niveau audio mesuré à la sortie démodulée du récepteur doit donc être plus grand que 50 mV<sub>RMS</sub>. Pour une mesure valable avec le moins d'incertitude possible, le niveau audio à la sortie du récepteur peut raisonnablement être estimé à une valeur minimale de l'ordre de **100 mV<sub>RMS</sub>**.

La distorsion sur le signal audio à la sortie d'un récepteur est relativement constante pour une plage de réglage du volume de l'appareil entre ¼ et ¾ par rapport au fond de réglage. La distorsion devient prohibitive lorsque le volume est réglé à fond. L'ARRL Lab préconise une mesure de la distorsion audio d'un récepteur pour une valeur de 1 V<sub>RMS</sub>. Pour une mesure valable avec le moins d'incertitude possible, le niveau audio à la sortie du récepteur peut raisonnablement être estimé à une valeur maximale de l'ordre de **500 mV<sub>RMS</sub>**.

La distorsion du signal audio à la sortie du récepteur due au réglage de volume ne doit pas être excessive au départ lorsque ce récepteur reçoit un signal HF confortable (S6 ou S9). La mesure de la sensibilité et de la réjection du canal adjacent d'un récepteur FM s'effectue par l'intermédiaire d'un rapport SINAD (signal sur bruit et distorsion) à la sortie audio du récepteur. Une mesure avec un signal audio entaché d'une distorsion excessive au départ pourrait introduire des erreurs dans les mesures de rapport SINAD.

**Une fois que le réglage optimum du volume audio du récepteur sous test est effectué, ce réglage de volume n'est plus jamais modifié lors des mesures de sensibilité et de réjection du canal adjacent du récepteur FM.**

Dans le cas d'un *rack* répéteur Yaesu DR-1X, le niveau audio à la sortie « Control I/O » est fixe et est d'une valeur de 300 mV<sub>pp</sub>, ce qui correspond à 106 mV<sub>RMS</sub>.

#### Procédure pour la mesure de la sensibilité (MDS) d'un récepteur FM

Dans les conditions du *Set-up* de mesure illustrées à la figure 12, le récepteur reçoit un signal HF modulé FM d'un niveau absolu de -110 dBm (proche de S6). Les atténuateurs par pas de 10 dB et par pas de 1 dB sont à présent réglés de façon à obtenir une lecture de rapport **SINAD de 12 dB** sur l'analyseur audio. En ajoutant l'atténuation totale des deux atténuateurs par pas par rapport au niveau absolu HF de départ de -20 dBm, on obtient la sensibilité du récepteur.

Exemple pour un récepteur Kenwood TM-V7 : atténuateurs par pas réglés sur -104 dB pour obtenir un rapport SINAD de 12 dB. La sensibilité de ce récepteur est donc de : -20 dBm - 104 dB = -124 dBm, soit une sensibilité de 0,14 µV sur 50 Ω. La caractéristique annoncée par le constructeur Kenwood pour le modèle TM-V7 est de 0,16 µV *or less* (ou moins). La mesure effectuée selon le protocole ci-décrit est donc cohérente dans ce cas-ci avec les caractéristiques annoncées par le constructeur.



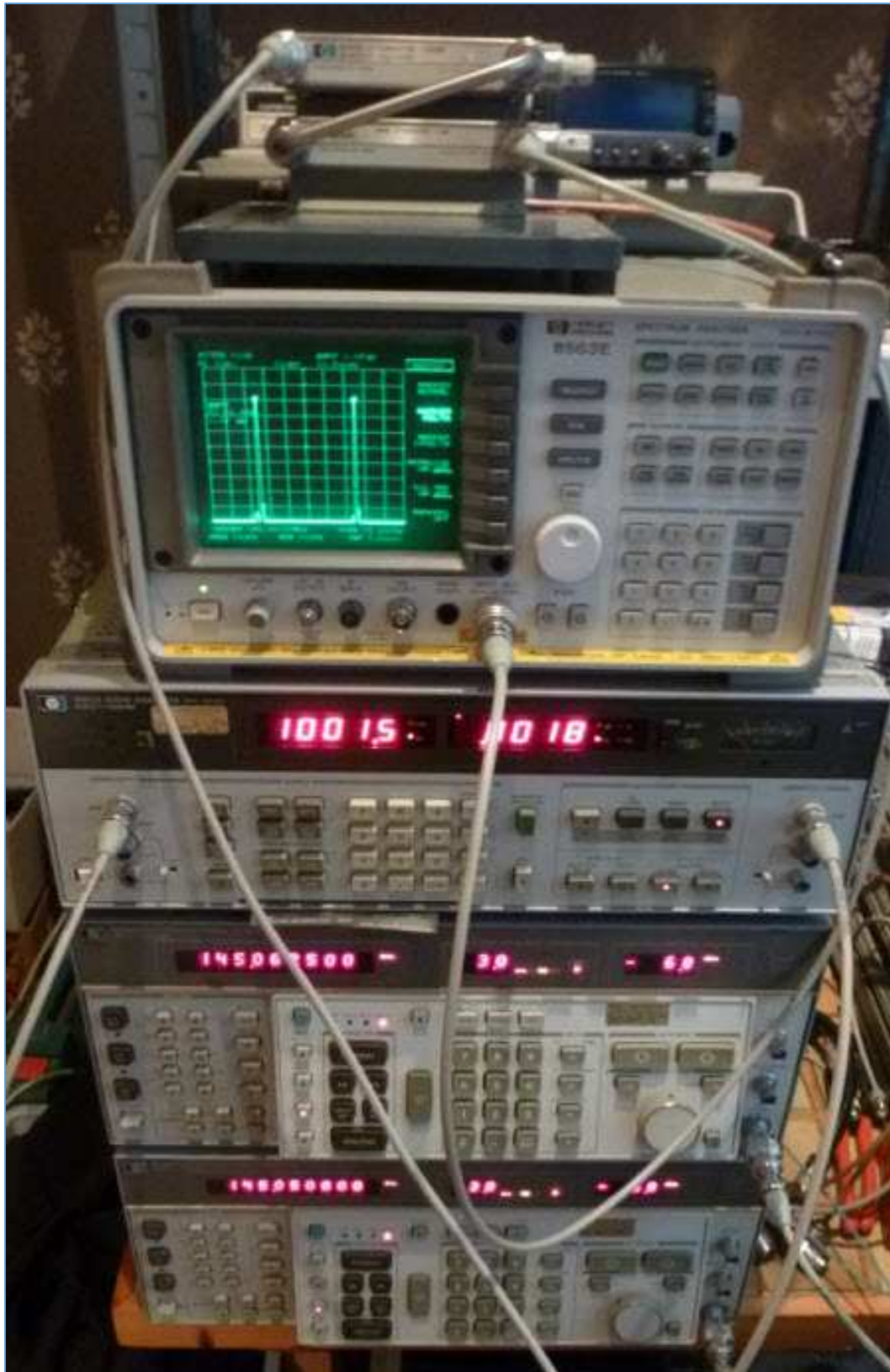


Fig. 15 : Appareils pour la mesure de la sensibilité et de la réjection du canal adjacent d'un récepteur FM. De bas en haut : 2 générateurs HF HP 8662A, analyseur audio HP 8903A, analyseur de spectre 8563E, atténuateurs par pas HP 8496B et HP 8494B avec liaison coaxiale HP 11716A. Photo : ON4IJ.

## Remarques sur l'analyseur audio HP 8903A

Les mesures de distorsion et de rapport SINAD de cet instrument sont effectuées par l'intermédiaire d'un filtre *Notch* de l'appareil et dont la fréquence d'accord est corrélée à celle de son générateur interne. Il y a donc lieu de paramétrer l'analyseur audio sur une fréquence de 1 kHz. Le générateur interne de cet appareil est complètement analogique : il ne s'agit pas d'un générateur à synthèse de fréquence piloté par quartz, mais bien d'un oscillateur à triple réseau RC de précision. L'écart de fréquence entre celle du modulateur interne du générateur HF (HP 8662A) et celle de l'oscillateur de l'analyseur audio peut être de l'ordre de quelque Hertz à quelques dizaines de Hertz. La validité de la mesure est garantie par le HP 8903A lorsque cette différence de fréquence n'excède pas 5 %.

Le signal démodulé à la sortie audio du récepteur comporte une composante de bruit non négligeable lorsque le signal HF modulé est paramétré à une amplitude proche du seuil de sensibilité du récepteur. Il en résulte une fluctuation de la mesure SINAD lors de l'évaluation de la sensibilité du récepteur sous test. Il en sera de même en ce qui concerne la mesure de réjection du canal adjacent. Toutefois, dans ces conditions, la mesure du rapport SINAD ne fluctue pas au-delà de  $\pm 0,5$  dB SINAD par rapport à la valeur nominale de mesure. Dans une application radioamateur, on peut estimer que cette fluctuation dans la précision de mesure reste acceptable. Il y aura lieu de lire le minimum et maximum des valeurs SINAD affichées sur une période d'observation prolongée et d'en faire la moyenne arithmétique pour arriver à une mesure valable. Pour une facilité de lecture d'une mesure SINAD légèrement fluctuante, l'analyseur HP 8903A est équipé d'un galvanomètre analogique à aiguille en complément de l'affichage numérique de la mesure SINAD.

Dernière remarque : la bande passante de l'analyseur audio est limitée volontairement avec l'activation d'un filtre passe-bas de 30 kHz afin de diminuer l'influence du souffle hors bande audio (bande audio normalisée de 20 Hz à 20 kHz).



Fig. 16 : Mesure d'un rapport SINAD de 12 dB sur un analyseur audio HP 8903A. Un filtre passe-bas de 30 kHz est activé afin de limiter le souffle hors bande audio. Photo : ON4IJ.



Fig. 17 : Vue de détail sur le réglage des atténuateurs par pas, ici sur -104 dB. Le niveau absolu du signal HF à la sortie du combinateur étant de -20 dBm, on obtient ici une sensibilité de -124 dBm (0,14  $\mu$ V) pour le récepteur sous test Kenwood TM-V7. Photo : ON4IJ.

### Préparation des réglages des appareils pour la mesure de réjection du canal adjacent

Dans la mesure de la sensibilité d'un récepteur FM qui vient d'être effectuée sur un récepteur Kenwood TM-V7, le signal à la sortie du combinateur est d'un niveau absolu de -20 dBm (niveau vérifié à l'analyseur de spectre et contrôlé par un *Power Meter*). Un niveau de -124 dBm à l'entrée du récepteur a été obtenu grâce aux atténuateurs par pas réglés sur -104 dB. Ces atténuateurs étant d'un modèle de précision destinés à l'usage de laboratoires de mesure, on peut estimer avoir obtenu une certaine certitude dans la mesure de sensibilité qui a été effectuée (pour autant que l'atténuateur soit calibré).

Dans le cadre de la mesure de réjection du canal adjacent, le signal perturbateur devra être d'un niveau absolu bien plus élevé que le signal utile qui lui devra conserver un niveau absolu correspondant à celui de la sensibilité (MDS) de la partie réceptrice du récepteur sous test.

L'ordre de grandeur de la réjection du canal adjacent d'un récepteur FM est de -65 dB à -85 dB pour les récepteurs les plus performants. Le signal perturbateur devra donc être paramétré à un niveau absolu supérieur d'un tel rapport de puissance vis-à-vis du signal utile. Dans l'exemple des mesures sur un récepteur TM-V7, il devient ainsi illusoire d'augmenter le niveau absolu à la sortie du combinateur de :

-20 dBm + 65 dB = +45 dBm ou encore de :

-20 dBm + 85 dB = +65 dBm.

Un générateur HF est parfaitement incapable de produire des niveaux absolus de telles valeurs et en outre, le combinateur n'est pas prévu pour accepter de telles puissances de signaux HF.

### À tout problème, il y a une solution

La solution est de diminuer de 90 dB le niveau absolu de sortie du 1<sup>er</sup> générateur HF accordé sur la fréquence RX du répéteur. Dans le *Set-up* de la figure 12, le niveau absolu présent directement à la sortie du générateur est de -6,8 dBm. En diminuant de 90 dB le niveau de ce signal on arrive à une valeur de  $-6,8 \text{ dBm} - 90 \text{ dB} = -96,8 \text{ dBm}$  à la sortie du 1<sup>er</sup> générateur HF ; cette opération s'effectue automatiquement par l'intermédiaire de l'atténuateur interne du générateur lors de la diminution de son niveau d'amplitude de sortie. Pour compenser la diminution de 90 dB à la sortie du 1<sup>er</sup> générateur HF, le calibre de l'atténuateur par pas de 10 dB est réduit de 90 dB.

Dans l'exemple de la mesure de sensibilité d'un récepteur TM-V7, l'atténuateur avait été réglé sur une valeur de -104 dB. En réduisant cette valeur de 90 dB, on arrive à un réglage de :  $-104 \text{ dB} + 90 \text{ dB} = -14 \text{ dB}$ . On se retrouve dans la situation suivante : le niveau absolu du signal HF à la sortie du combinateur vient de passer d'une valeur de -20 dBm à une valeur de  $-20 \text{ dBm} - 90 \text{ dB} = -110 \text{ dBm}$ . Après une atténuation à l'atténuateur par pas de -14 dB, on arrive bien au niveau absolu du seuil de sensibilité du récepteur TM-V7 :  $-110 \text{ dBm} - 14 \text{ dB} = -124 \text{ dBm}$ .

Attention : il faut commencer par diminuer l'amplitude du générateur HF avant de réduire l'atténuation de l'atténuateur par pas.

Une dernière vérification peut être effectuée à la sortie audio du récepteur par la lecture du rapport SINAD qui ne doit pas avoir changé de valeur : 12 dB SINAD. Ceci prouve que le niveau absolu du signal HF modulé à l'entrée du récepteur n'a pas changé en diminuant l'amplitude à la sortie du générateur HF et en réduisant du même rapport l'atténuation à l'atténuateur par pas.

### Procédure de la mesure de réjection du canal adjacent

Une fois que la préparation des réglages du 1<sup>er</sup> générateur HF et de l'atténuation de l'atténuateur par pas a été effectuée selon la description ci-dessus, ces réglages ne sont plus modifiés par la suite. Seulement les paramètres du 2<sup>ème</sup> générateur HF vont être ajustés pour effectuer la mesure de réjection du canal adjacent d'un répéteur FM sous test.

Premier paramètre à ajuster : la fréquence HF du générateur. Celle-ci se situera à un écart normé de **20 kHz** recommandé par l'ARRL Lab par rapport à la fréquence RX du répéteur sous test. D'autres mesures seront effectuées ensuite avec un écart de **12,5 kHz** et enfin avec un écart de **600 kHz** dans le cadre d'un répéteur VHF 2 m radioamateur. Une dernière mesure sera effectuée sur une fréquence de **100 MHz** pour évaluer l'immunité du *rack* répéteur VHF par rapport à la bande de radiodiffusion FM comprise entre 88 MHz et 108 MHz.

Deuxième paramètre à ajuster : il s'agit d'activer la modulation FM du 2<sup>ème</sup> générateur HF avec une déviation de **3 kHz** et avec une fréquence modulante de **400 Hz**. La précision de la déviation en fréquence et de la fréquence modulante sera vérifiée au moyen d'un analyseur de spectre en utilisant les fonctions de Bessel.

Troisième paramètre à ajuster : « *Amplitude ON* » et régler le niveau d'amplitude HF du 2<sup>ème</sup> générateur jusqu'à obtenir une dégradation du rapport SINAD à la sortie audio de la partie réceptrice du répéteur d'une valeur de **12 dB SINAD à 6 dB SINAD**.

Set-up pour la mesure de la réjection du canal adjacent d'un répéteur FM

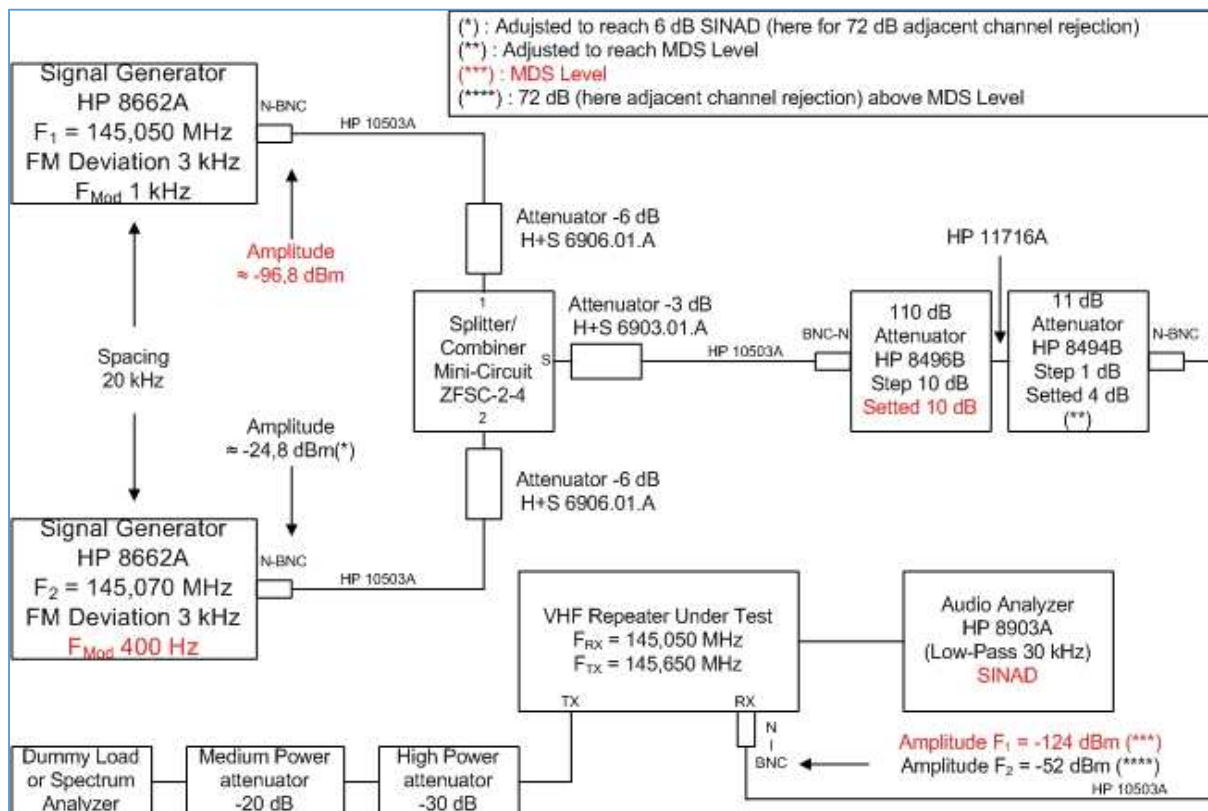


Fig. 18 : *Set-up* de mesure pour le relevé de la réjection du canal adjacent d'un répéteur FM. Ici, les valeurs indicatives sont données pour la réjection du canal adjacent d'un récepteur TM-V7 sous test offrant une sensibilité de -124 dBm et une réjection du canal adjacent de 72 dB pour un espacement en fréquence de 20 kHz. Graphisme : ON4IJ.

Le niveau d'amplitude HF du 2<sup>ème</sup> générateur modulé FM (dev. 3 kHz / F<sub>Mod</sub> 400Hz) est donc progressivement augmenté jusqu'à ce que la lecture du rapport SINAD sur l'analyseur audio diminue **de 12 dB SINAD jusqu'à 6 dB SINAD**. Le niveau absolu HF du 2<sup>ème</sup> générateur est comparé à celui du 1<sup>er</sup> générateur HF. La différence entre ces deux niveaux absolus HF donne le rapport de réjection du canal adjacent du répéteur sous test pour un espacement en fréquence de **20 kHz**.

Les mesures sont répétées avec un espacement de **-20 kHz** et comparées à celles obtenues pour un espacement de **20 kHz**.

Ce type de mesure est répété pour d'autres espacements en fréquence : **12,5 kHz, -12,5 kHz et +600 kHz** (écart entre la fréquence TX et RX d'un répéteur et non pas le *Shift* de -600 kHz d'un *transceiver* utilisé par un OM). Enfin, la fréquence du 2<sup>ème</sup> générateur est paramétrée sur **100 MHz** afin de déterminer la réjection de la bande de radiodiffusion FM (88 MHz - 108 MHz).

Dans l'exemple des mesures effectuées sur un récepteur TM-V7, voici les résultats des performances de réjection du canal adjacent pour différents espacements en fréquence.

F <sub>1</sub> [MHz]	F <sub>2</sub> [MHz]	Esp. Fréq.	Niv. Gén. 1	Niv. Gén. 2	Réjection
145,050	145,070	20 kHz	-96,8 dBm	-25,8 dBm	71 dB
145,050	145,0625	12,5 kHz	-96,8 dBm	-68,8 dBm	28 dB
145,050	145,650	600 kHz	-96,8 dBm	-6,8 dBm	90 dB
145,050	100,000	-45,050 MHz	-96,8 dBm	-5,8 dBm	91 dB

Fig. 19 : Tableau des mesures de réjection du canal adjacent pour différents espacements en fréquence sur un récepteur Kenwood TM-V7. Les niveaux absolus indiqués sont ceux qui sont présents directement à la sortie des générateurs HF. Source : ON4IJ.

Le tableau suivant exprime les amplitudes absolues des deux signaux HF modulés FM qui sont directement présents à l'entrée du récepteur TM-V7 sous test en tenant compte des pertes d'insertions du combinateur et des câbles de raccordement ; ces pertes d'insertion ont été mesurées à -13,2 dB. En tenant compte du réglage des atténuateurs par pas à une valeur de -14 dB, on arrive à une différence d'amplitude entre la sortie du générateur et l'entrée HF du récepteur de  $-13,2 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = \underline{-27,2 \text{ dB}}$ .

F <sub>1</sub> [MHz]	F <sub>2</sub> [MHz]	Esp. Fréq.	Niv. RX F <sub>1</sub>	Niv. RX F <sub>2</sub>	Réjection
145,050	145,070	20 kHz	-124 dBm	-53 dBm	71 dB
145,050	145,0625	12,5 kHz	-124 dBm	-96 dBm	28 dB
145,050	145,650	600 kHz	-124 dBm	-34 dBm	90 dB
145,050	100,000	-45,050 MHz	-124 dBm	-33 dBm	91 dB

Fig. 20 : Tableau des mesures de réjection du canal adjacent pour différents espacements en fréquence sur un récepteur Kenwood TM-V7. Les niveaux absolus indiqués sont ceux qui sont présent directement à l'entrée HF du récepteur en tenant compte des pertes d'insertion du combinateur et de la valeur réglée aux atténuateurs par pas. Source : ON4IJ.



Fig. 21 : Deux générateurs HF HP 8662A modulés en FM pour la mesure de la réjection du canal adjacent d'un répéteur sous test. Les afficheurs numériques et des témoins d'activation des touches de fonction permettent la lecture directe des fréquences HF, des amplitudes HF, de la déviation de la modulation de fréquence et des fréquences modulantes. Photo : ON4IJ.

## Quels enseignements peut-on tirer des mesures sur un simple récepteur FM TM-V7 ?

Les performances de la réjection du canal adjacent pour un espacement de 20 kHz sont appréciables : meilleures que 70 dB (ici 71 dB réellement mesuré). L'ARRL Lab considère qu'une réjection du canal adjacent d'un tel rapport est bon. Soit ! Mais que dire de plus en ce qui concerne la réjection pour un espacement de 12,5 kHz qui atteint à peine une valeur de 28 dB ?

Cela pourrait signifier que le niveau du signal perturbateur espacé de 12,5 kHz par rapport à la fréquence de réception pour ce type de récepteur ne pourrait pas dépasser un niveau absolu de -96 dBm (voir figure 20) pour une sensibilité (MDS) de -124 dBm ; -96 dBm correspond à un signal de 3,54  $\mu$ V sur 50  $\Omega$  (entre S8 et S9).

Cette approche reste relativement trop simpliste car elle ne tiens pas compte du rapport de protection qui puisse exister *de facto* entre des canaux adjacents dans le cadre de la répartition des champs électriques radiofréquences entre deux répéteurs, à un certain endroit de l'espace situé entre ceux-ci, et à un moment donné selon les conditions statistiques dans le temps des conditions de propagation de ce champ électrique . Il est donc vivement recommandé pour comprendre cet aspect des choses d'aller lire et de comprendre l'article « interférences entre relais radioamateurs » rédigé par ON7PC. Cet article technique est accompagné d'un programme qui permet de réaliser des simulations entre un signal désiré et un signal perturbateur (brouilleur).

On peut aussi émettre l'hypothèse que ce récepteur TM-V7, bien que très sélectif, puisse avoir une bande passante de sa fenêtre de réception légèrement trop large pour une exploitation avec des canaux FM espacés de 12,5 kHz (à la place de 25 kHz).

Ceci peut donner une indication sur la pertinence de la mesure de la réjection du canal adjacent avec un espacement de 12,5 kHz pour un *rack* répéteur VHF. En effet, les fréquences pour les répéteurs VHF d'un pays (et des régions limitrophes) devraient dans le meilleur des cas être attribuées en tenant compte d'un rapport de protection minimum acceptable devant exister entre les zones de couverture des différents répéteurs. Ce rapport de protection, bien qu'il puisse être tout-à-fait acceptable, doit être pourtant évalué objectivement par des mesures dans la situation réelle d'un répéteur donné.

En ce qui concerne la perturbation éventuelle de la partie réceptrice d'un *rack* répéteur sur un canal adjacent avec un espacement de 12,5 kHz, il y a lieu d'effectuer des relevés de la force des signaux HF reçus directement à l'antenne de l'installation sur site d'un répéteur donné et en provenance des autres répéteurs situés sur les canaux adjacents avec un espacement de 12,5 kHz. Ces mesures ne peuvent être effectuées que s'il y a de l'activité radio présente sur les autres répéteurs situés sur les canaux adjacents (faut-il le dire ?). Les répéteurs peuvent être facilement identifiés par leur fréquence TX dont l'espacement en fréquence est de +12,5 kHz ou de -12,5 kHz par rapport à la fréquence RX du *rack* répéteur sous test. Il suffit de consulter la liste des répéteurs existant dans la bande VHF exploitée et situés aux abords de la zone de couverture de l'installation du *rack* répéteur sous test.

Lorsque les répéteurs situés sur les canaux adjacents sont identifiés, on peut déterminer leur localisation, leur puissance EIRP (Puissance Isotrope Équivalente Rayonnée) et leur hauteur d'antenne. Ceci permet de calculer le *Path Loss* (affaiblissement de propagation ou affaiblissement de parcours, c'est-à-dire l'affaiblissement que subit la puissance d'une onde électromagnétique lorsqu'elle parcourt une certaine distance). Plusieurs programmes existent sur Internet pour calculer automatiquement le *Path Loss* (*RF Link Budget Calculator*). Les résultats de ces calculs doivent être comparés avec les expérimentations effectuées sur le terrain.

La mesure de la réjection du canal adjacent avec un espacement de 12,5 kHz peut donc devenir pertinente en fonction de la situation d'un répéteur donné vis-à-vis des répéteurs voisins situés sur ces canaux adjacents et en fonction de la force des signaux HF reçus sur ces canaux par l'antenne de l'installation du répéteur sous test.

Que penser de la mesure de la réjection du canal adjacent avec un espacement de 600 kHz donnant une valeur de 90 dB à la place de 71 dB avec un espacement normalisé de 20 kHz sur un récepteur FM TM-V7 ?

C'est une bonne nouvelle pour l'installation d'un répéteur avec une partie réceptrice d'une telle performance de réjection d'un signal perturbateur situé à un espacement de fréquence correspondant à la valeur du *Shift* de 600 kHz d'un répéteur VHF 2 m. En effet, cela a une conséquence directe sur le calcul du rapport de protection d'un duplexeur devant équiper l'installation d'un répéteur.

Avant de se lancer dans le calcul du rapport de protection d'un duplexeur pour un répéteur, il y a lieu d'examiner le comportement d'un récepteur au point de vue de la réjection d'un signal perturbateur situé à un espacement supérieur à celui d'un canal adjacent. Cela nécessite un bref rappel entre deux notions distinctes : la bande passante de la fenêtre de réception d'un récepteur et la sélectivité de ce récepteur.

En résumé, un récepteur se comporte à ce point de vue comme un filtre passe-bande. La bande passante (bande utile) de ce type de filtre est mesurée à **-3 dB** de part et d'autre de sa fréquence d'accord. La sélectivité d'un filtre passe-bande se déduit de deux mesures : la largeur de bande mesurée à **-6 dB** et la largeur de bande mesurée à **-60 dB**. Cela donne une indication sur la raideur de pente d'atténuation du filtre et donc sur son aptitude à rejeter des signaux perturbateurs en dehors de sa bande passante et en fonction de l'écart de fréquence entre la fréquence d'accord du filtre et la fréquence d'un signal perturbateur situé sur un large écart de fréquence.

En d'autres mots, un filtre passe-bande peut avoir une bande très étroite mais être peu sélectif ou très sélectif ; un filtre passe-bande à plusieurs cellules peut être conçu pour être à large bande tout en étant très sélectif.



Pour mémoire et d'une manière anecdotique, certains anciens récepteurs (en général à tubes radio des années '50) étaient équipés d'un dispositif « *Q multiplier* » (associé à un amplificateur à réaction positive ; ce principe a été développé par Edwin Armstrong en 1914) pour améliorer l'étroitesse de la bande passante de leur fenêtre de réception. Ces dispositifs permettant d'affiner la bande passante de la fenêtre de réception, ne pouvaient pas améliorer la sélectivité d'ensemble du récepteur. En effet, un dispositif « *Q multiplier* » n'agit pas sur la raideur de pente d'atténuation d'un filtre passe-bande.

La notion de sélectivité d'un récepteur devient donc un paramètre primordial en matière de performance de réjection du canal adjacent pour un espacement en fréquence de 20 kHz et en particulier pour un espacement de 600 kHz dans le cadre de l'installation d'un répéteur VHF. En effet, un récepteur très sélectif se comporte comme un filtre passe-bande à pente très raide d'atténuation hors bande ; la réjection du canal adjacent est donc d'autant meilleure pour un récepteur très sélectif. Cela a pour conséquence que plus l'on s'écarte de la fréquence d'accord, plus le signal perturbateur est atténué. Cela explique donc que la réjection du canal adjacent d'un *rack* répéteur VHF sur un espacement de 600 kHz est (en principe) toujours meilleure que celle sur un espacement normalisé de 20 kHz. Pour en avoir l'absolue certitude, il y a lieu d'effectuer des mesures réelles sur les équipements utilisés dans l'installation d'un répéteur. Cela permet de quantifier la réjection au *Shift* du répéteur.

#### Pertinence de la mesure de la réjection du canal adjacent à un espacement correspondant au *Shift* d'un répéteur et conséquence sur le calcul du rapport de protection du duplexeur d'un répéteur

« Quand une installation ne fonctionne pas correctement, un radioamateur doit être capable d'en expliquer la (ou les) raison(s) ; quand une installation fonctionne bien, un radioamateur doit aussi être capable d'en déduire les hypothèses tangibles et les plus probables ; toutefois, cette tâche se révèle souvent plus ardue pour une installation qui fonctionne bien ». (« Et pourtant ça marche alors que cela ne devrait pas fonctionner »). Pensée du jour de ON4IJ).

Première simulation des données du projet d'un répéteur radioamateur pour le calcul du rapport de protection d'un duplexeur :

TX : 50 W (+47 dBm) ;

RX : réjection du canal adjacent (espacement 20 kHz) -65 dB ;

RX : sensibilité (MDS) -121 dBm (0,2  $\mu$ V).

Signal maximum admissible par le RX sur la fréquence TX :

$$-121 \text{ dBm} + 65 \text{ dB} = -56 \text{ dBm.}$$

Rapport de protection calculé pour le duplexeur :

$$+47 \text{ dBm} - (-56 \text{ dBm}) = 103 \text{ dB.}$$

Rapport de protection réel mesuré du duplexeur existant : 90 dB.

L'installation ne devrait pas pouvoir fonctionner en théorie, et pourtant ça marche ; pourquoi ???

En effectuant une mesure réelle du canal adjacent de la partie RX du *rack* répéteur, avec un espacement de fréquence correspondant à la valeur du *Shift* de celui-ci (dans cet exemple) on obtient une valeur de 80 dB.

En réitérant les calculs ci-dessus on obtient :

Signal maximum admissible au RX sur la fréquence TX :

$$-121 \text{ dBm} + 80 \text{ dB} = -41 \text{ dBm} ;$$

Rapport de protection nouvellement calculé pour le duplexeur :

$$+47 \text{ dBm} - (-41 \text{ dBm}) = 88 \text{ dB}.$$

Voilà pourquoi l'installation du répéteur fonctionne avec un tel duplexeur d'un rapport de protection de 90 dB.

Deuxième simulation du projet d'un répéteur radioamateur :

Toutes les données sont les mêmes que celles de la 1<sup>ère</sup> simulation, et pourtant, l'installation ne fonctionne pas correctement ; Pourquoi ?

« Il y a ce à quoi on a pensé et il y a ce à quoi on n'a pas pensé ». (Autre pensée du jour de ON4IJ).

Dans cette deuxième simulation, le phénomène constaté est une désensibilisation de la partie réceptrice du *rack* répéteur (il est difficile de « rentrer » dans le relais alors que l'on peut capter son signal de balise à des localisations géographiques très éloignées par rapport à celle de l'antenne du répéteur).

Des mesures effectuées sur le site de l'installation du répéteur au moyen d'un analyseur de spectre raccordé directement à l'extrémité du *Feeder* d'antenne révèlent la présence de signaux perturbateurs très puissants situés hors bande de la gamme de fréquences sur laquelle se situe le répéteur sous test. L'installation du répéteur se situe en zone urbaine et doit cohabiter (sur le même pylône d'antennes) avec d'autres services de télécommunications publiques ou privées, entre autres une ou plusieurs stations de radiodiffusion FM très puissantes de la bande 88 MHz - 108 MHz.

Sur le site du répéteur, un signal (parmi d'autres) de la bande FM 88 MHz - 108 MHz mesuré sur le *Feeder* de l'antenne de ce répéteur VHF atteint un pic de **+10 dBm** (10 mW HF à l'entrée du duplexeur du répéteur !).

Que se passe-t-il ?

- l'antenne du répéteur, bien qu'accordée sur la gamme VHF 2 m capte malgré tout un signal puissant hors bande situé sur la bande de radiodiffusion FM (100 MHz) à cause de la proximité immédiate de l'antenne d'émission de cette station puissante avec celle du répéteur ;
- après vérification sur un analyseur de réseau vectoriel, le duplexeur BpBr du répéteur n'offre qu'une faible atténuation des signaux hors bande (mesure réelle d'atténuation : -8 dB à 100 MHz par rapport à la perte d'insertion de -2 dB à la fréquence d'accord des cavités RX du duplexeur du répéteur !!!) ;
- la mesure réelle de la réjection du canal adjacent du *rack* répéteur VHF pour un signal perturbateur situé sur 100 MHz est de 82 dB.

Dans ces conditions le niveau absolu du signal perturbateur à 100 Mhz est de :

+10 dBm - 8 dB - 2 dB = **0 dBm** (en tenant compte de l'atténuation hors bande des cavités RX du duplexeur du répéteur VHF et de la perte d'insertion de ces cavités).

Avec une réjection du « canal adjacent » à 100 MHz du *rack* répéteur ayant une valeur réelle mesurée de 82 dB par rapport au MDS, le signal perturbateur doit avoir niveau absolu maximum admissible de :

-121 dBm + 82 dB = **-39 dBm**.

On constate donc que le signal perturbateur de 0 dBm à 100 MHz est largement supérieur à la valeur maximale admissible de -39 dBm, ce qui a pour conséquence de complètement désensibiliser la partie réceptrice du répéteur (phénomène de blocage).

Pour remédier à une telle situation, il y a lieu d'insérer un filtre éliminateur de la bande FM 88 MHz - 108 MHz ou un filtre passe-haut entre le duplexeur et l'entrée RX du répéteur. L'atténuation de la bande rejetée de ce filtre doit donc être meilleure que 39 dB dans l'exemple illustré ci-dessus.

Une autre solution consiste à insérer des cavités passe-bande entre le duplexeur et l'entrée RX du répéteur pour autant que la sélectivité de ces cavités assure une réjection suffisante à la fréquence du signal perturbateur de 100 MHz.

Une ultime solution consiste à combiner les deux solutions décrites ci-dessus : insérer des cavités passe-bande à la sortie RX du duplexeur et insérer un filtre éliminateur de bande FM 88 MHz - 108 MHz raccordé juste à l'entrée du connecteur coaxial RX du *rack* répéteur. L'adjonction des cavités passe-bande sur la branche RX du répéteur contribue à améliorer de quelques dB le rapport de protection offert par le duplexeur seul.

## Mesures sur un rack répéteur Yaesu DR-1X

Les mesures ont été effectuées sur un rack Yaesu DR-1XE dont le numéro de série est 6E260698 aimablement prêté par ON6DP. Le paramétrage du DR-1X est le suivant :

- les fréquences choisies sont celles du répéteur VHF ON0LG (voir figure 22) ;
- la puissance est réglée sur « Low » ( $\pm 5$  W) ;
- la fonction du CTCSS a été désactivée ;
- le *squelch* de la réception est réglé juste un cran au-dessus de sa valeur minimale ;
- le mode de fonctionnement est « FIX » sur une modulation analogique FM ;

Le *rack* répéteur est alimenté sous une tension de 13,84 V lorsqu'il est au repos (*Idle*) ; cette tension retombe à une valeur de 13,57 V lorsque le répéteur se met en émission (résistance interne de l'alimentation et résistances des câbles de connexion).

Le connecteur HF de la sortie TX du DR-1X est raccordé à l'entrée d'un atténuateur de puissance de 30 dB suivi d'un atténuateur de 20 dB, soit au total 50 dB et dont la sortie de celui-ci est raccordée sur un analyseur de spectre.

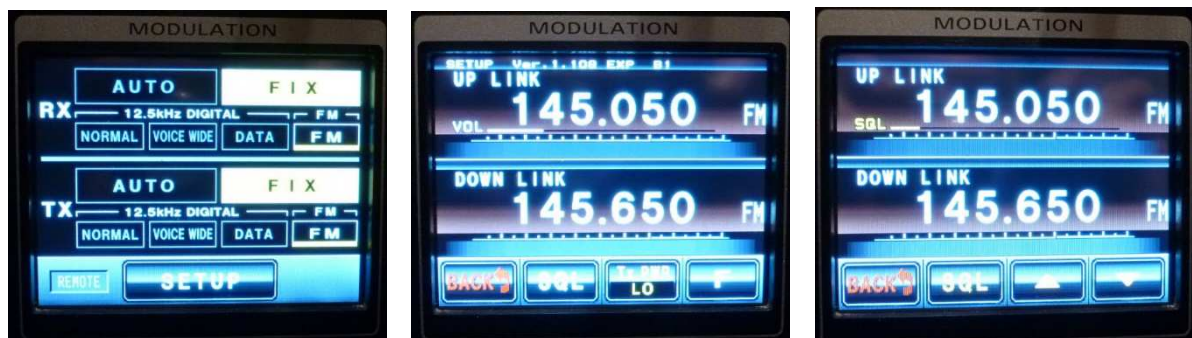


Fig. 22 : Écrans de paramétrage du DR-1X sous test (« FIX » FM, TX « Low » et réglage du *Squelch*.  
Photo : ON4IJ.

Le *Setup* de mesure est illustré à la figure suivante.

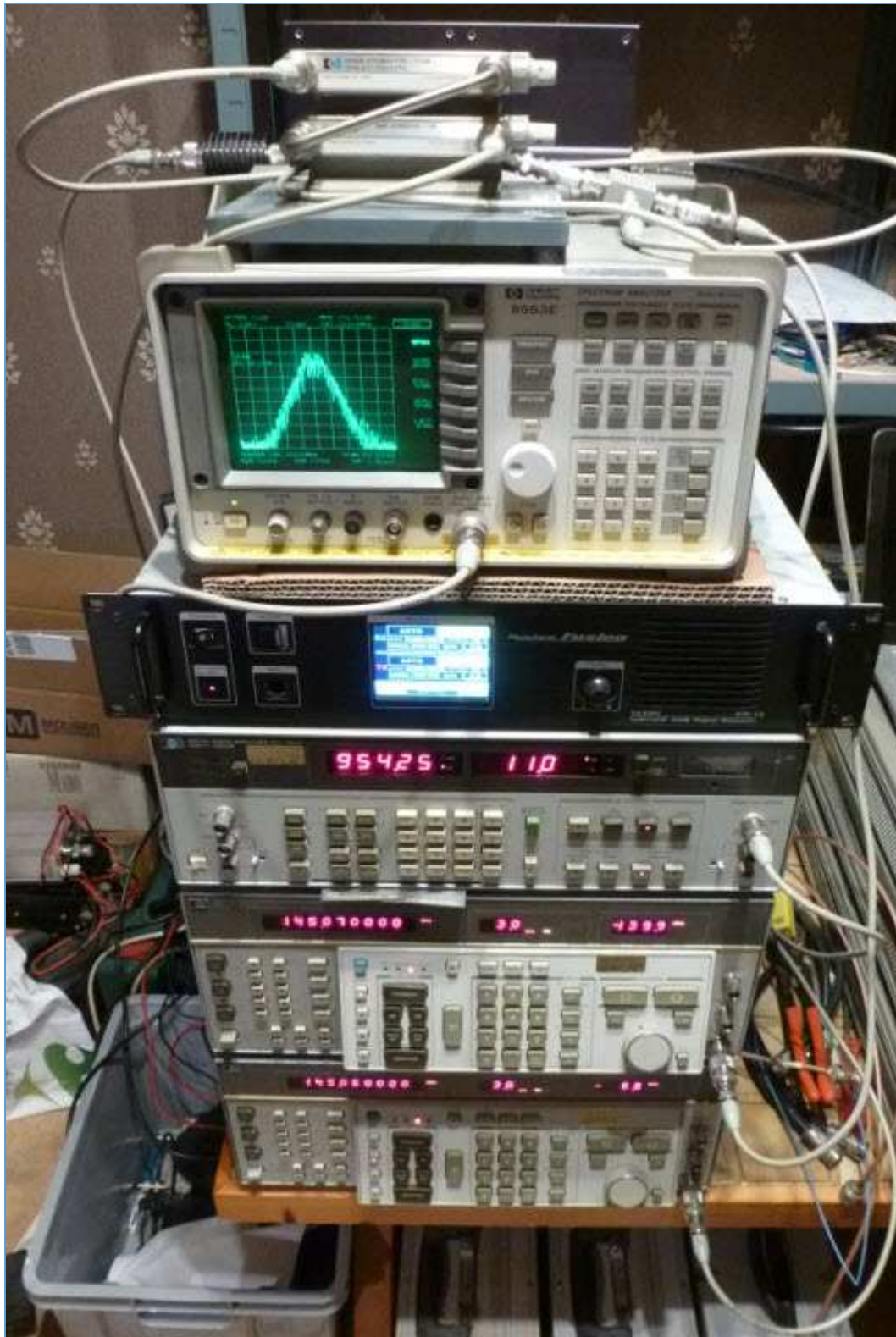


Fig. 23 : *Setup* pour les mesures effectuées sur un rack répéteur Yaesu DR-1X. Photo : ON4IJ.

## Caractéristiques annoncées par le constructeur Yaesu pour un répéteur DR-1X

- Sensibilité (MDS) : -120 dBm (0,2  $\mu$ V) @ 12 dB SINAD ;
- Réjection du canal adjacent : 65 dB @ [supposé à 20 kHz d'écart en fréquence].

## Résultat des mesures effectuées sur le DR-1X sous test

La sensibilité (MDS) mesurée est de **-122 dBm** (0,18  $\mu$ V) pour 12 dB SINAD avec un signal modulé FM à 1 kHz et d'une déviation de 3 kHz.

Les mesures de réjection du canal adjacent pour différents écarts de fréquence sont reprises dans le tableau ci-dessous.

F <sub>1</sub> [MHz]	F <sub>2</sub> [MHz]	Esp. Fréq.	Niv. RX F <sub>1</sub>	Niv. RX F <sub>2</sub>	Réjection
145,050	145,070	20 kHz	-122 dBm	-53 dBm	<b>69 dB</b>
145,050	145,0625	12,5 kHz	-122 dBm	-89 dBm	33 dB
145,050	145,650	600 kHz	-122 dBm	-26 dBm	<b>96 dB</b>
145,050	100,000	-45,050 MHz	-122 dBm	-21 dBm	101 dB

Fig. 24 : Tableau des mesures de réjection du canal adjacent pour différents espacements en fréquence sur un *rack* répéteur Yaesu DR-1X. Les niveaux absolus indiqués sont ceux qui sont présent directement à l'entrée HF du récepteur en tenant compte des pertes d'insertion du combinateur et de la valeur réglée aux atténuateurs par pas. Source : ON4IJ.

## Interprétation des résultats de mesure

Les mesures de la sensibilité et de la réjection du canal adjacent effectuées selon le protocole de mesure décrit ci-dessus et avec les instruments de mesure qui sont à notre disposition donnent des résultats dont les valeurs sont relativement proches de celles annoncées par le constructeur. Cela pourrait nous conforter sur la validité de la méthode (protocole) de mesure utilisée qui offrirait ainsi des conditions de mesures reproductibles.

Malgré que l'étage d'entrée HF de la partie réceptrice des équipements modernes (à l'usage des radioamateurs, comme par exemple un répéteur DR-1X) soient conçus à large bande (comme des « portes cochères »), il semble que la sélectivité d'ensemble de la partie réceptrice de l'équipement DR-1X soit relativement bonne, en particulier en dehors du canal adjacent, c'est-à-dire pour un espacement en fréquence correspondant au *Shift* d'un répéteur VHF (600 kHz) et hors bande pour un espacement entre la bande des 2 mètres des radioamateurs (144 MHz - 146 MHz) et la bande de radiodiffusion FM (88 MHz - 108 MHz).

Les performances d'un DR-1X sont ce qu'elles sont et il y a sans doute moyen de relever de meilleures performances dans d'autres types d'équipements, par exemple à usage professionnel. Toutefois, ces performances devraient être vérifiées par des mesures réelles et sur plusieurs équipements du même type afin de pouvoir établir certaines statistiques.

## Conclusions

Le protocole de mesure proposé et décrit dans ce document n'a aucune prétention et celui-ci ne constitue pas une vérité absolue ; il s'agit d'une approche méthodologique qui se veut essentiellement pratique pour les radioamateurs.

La pertinence des mesures de la réjection du canal adjacent de la partie réceptrice d'un équipement répéteur radioamateur à des écarts de fréquences supérieurs à la valeur normée de 20 kHz - en particulier à la valeur du Shift d'un répéteur - peuvent contribuer à affiner le calcul du rapport de protection d'un duplexeur dans le cadre d'un nouveau projet.

Les mesures de la réjection des fréquences hors bande peuvent se révéler précieuses afin de prévoir, en cas de nécessité, l'installation de filtres éliminateurs de bande ou filtres passe-haut dans le contexte de l'installation d'un répéteur VHF devant cohabiter avec des stations puissantes de radiodiffusion FM.

Enfin, il y a ce que l'on mesure et ce que l'on croit mesurer. Il est donc primordial de respecter un protocole strict afin que ces mesures soient reproductibles et significatives dans n'importe quel environnement.

Pouvons-nous ajouter que les caractéristiques annoncées par un constructeur constituent une chose ; réaliser des mesures réelles dans un laboratoire avec un protocole strict et clairement défini en constitue une autre.

En annexes ci-dessous : mesures sur le signal TX d'un DR-1X.





Signal TX pour un signal RX S9 modulé à 1 kHz avec déviation de 3 kHz (TX « High »)

L'occupation du canal à -40 dBc par le signal TX modulé à 1 kHz est de 12,75 kHz.

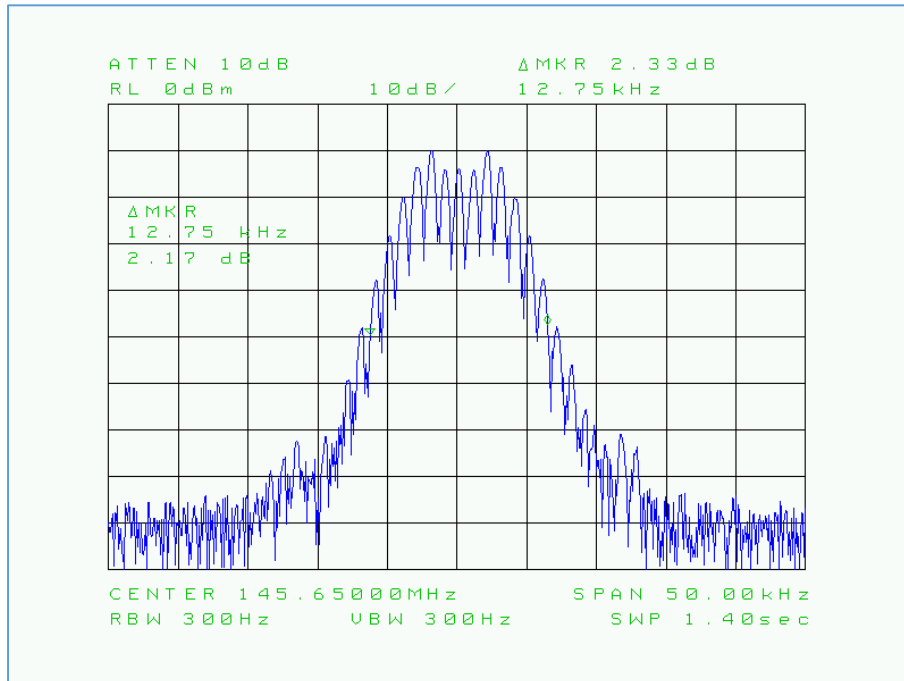


Fig. 27 : Mesure du signal modulé et occupation du canal par le signal FM. Cliché : ON4IJ.

Signal TX pour un signal RX S6 (-111 dBm) non modulé

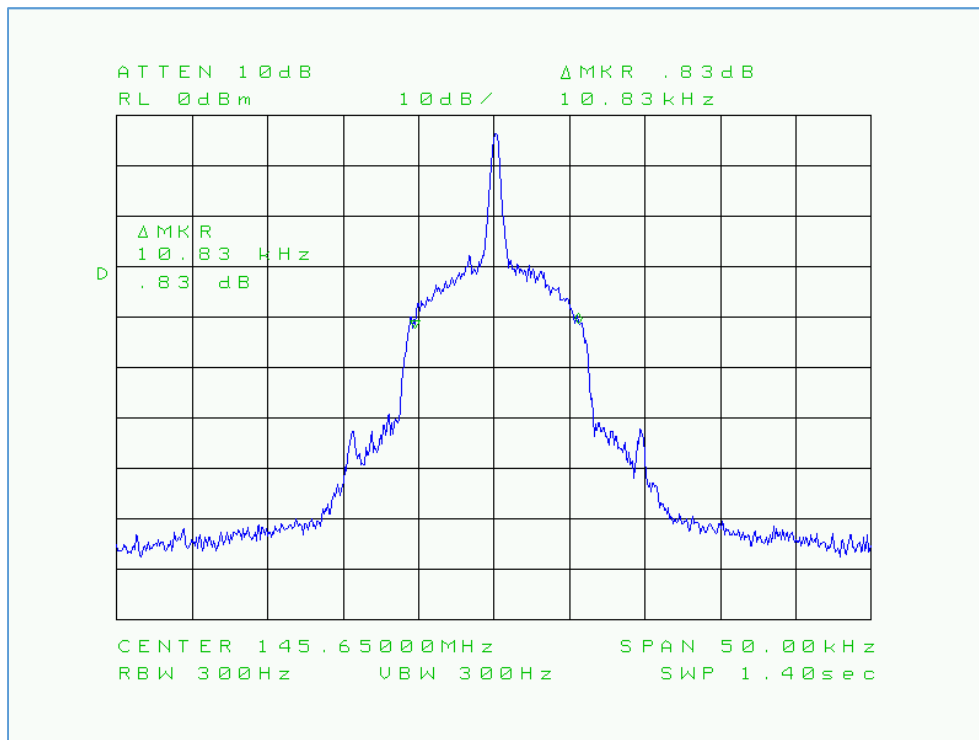


Fig. 28 : Mesure du signal TX pour un signal RX S6. On constate la présence du souffle du signal RX et est réémis par le TX. Le souffle occupe une largeur de bande d'environ 10 kHz et commence à se manifester à partir de -28 dBc. Comparer avec la figure 26. Cliché ON4IJ.

## Signal TX pour un signal RX du niveau du MDS (-122 dBm) non modulé

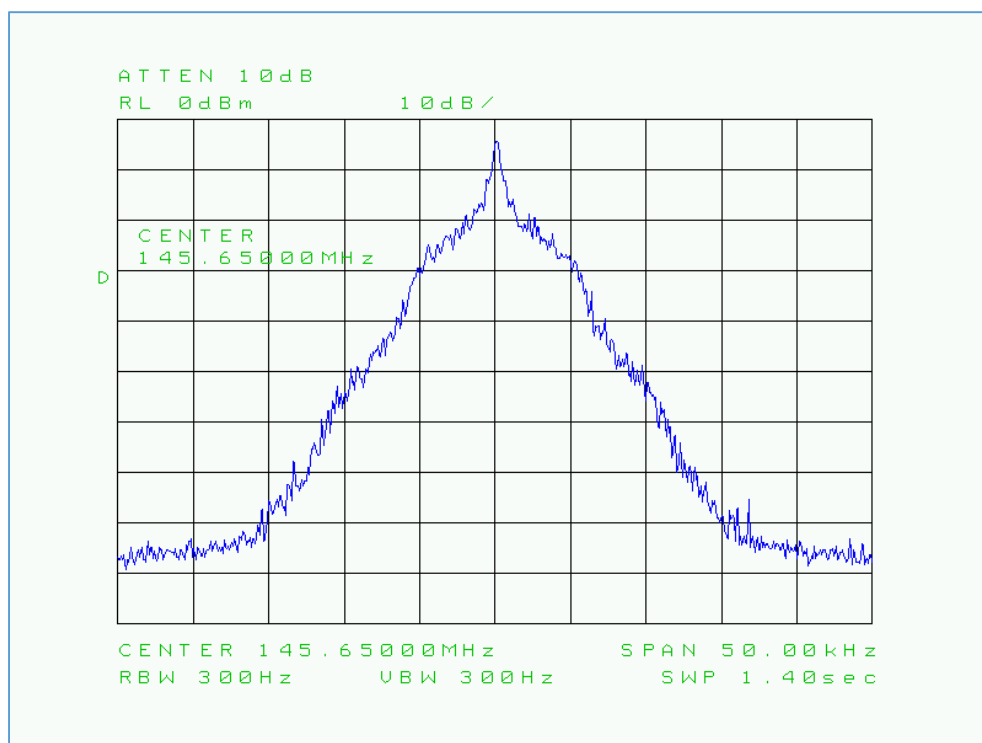


Fig. 29 : Idem figure précédente. Le souffle commence à se manifester à partir de -10 dBc. Cliché : ON4IJ.

## Bruit de phase du signal TX pour un signal RX S9

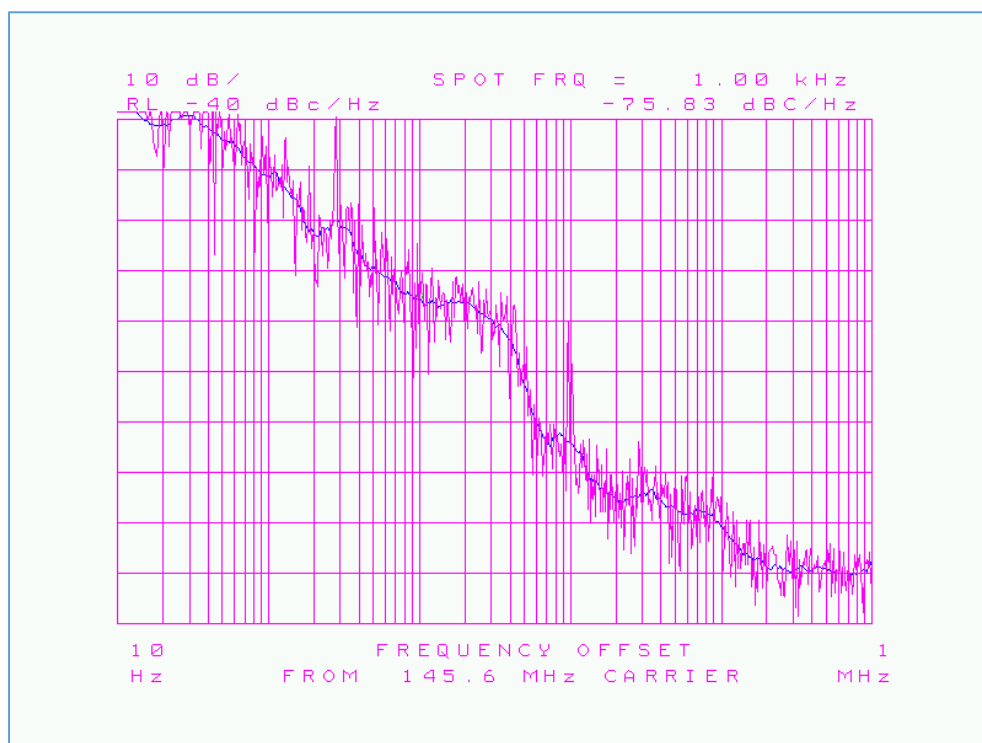


Fig. 30 : Bruit de phase du signal TX pour un signal RX S9. Cette mesure est peu significative quant au bruit de phase, mais illustre tout simplement l'étalement du souffle sur le signal TX. Cliché ON4IJ.