

F5XG

Corrélation de mesure de puissance entre PowerMeter et analyseur de spectre

Pierre Marie GAYRAL

23/01/2021

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Préambule

Lors de la mise au point de son installation satellite DATV pour QO100, Pierre F4JXP s'est trouvé confronté à des mesures de puissance non concordantes entre celles données par son PowerMeter Bird43 et son analyseur de spectre HP 8594E.

En effet l'analyseur de spectre donnait des valeurs d'environ 10 dB inférieures à celles lues sur le PowerMeter Bird43 ?

Pourquoi ?

Vérifications de l'installation

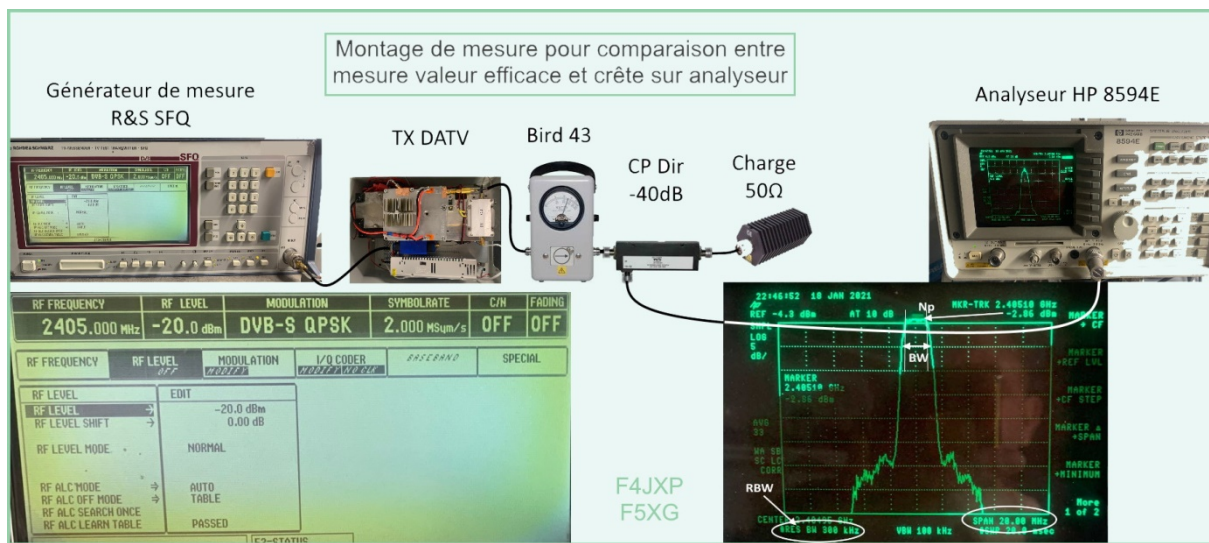


Figure 1 Le montage de vérification

La figure 1 ci-dessus montre le montage réalisé.

Un générateur de test R&S SFQ génère un signal de référence en QPSK DVB-S, avec un niveau de sortie réglé à -20dBm, qui attaque un préamplificateur, suivi d'une chaîne d'amplification quasi linéaire fournissant une puissance de sortie pouvant aller jusqu'à 100 watts à 2405MHz.

Pour ces essais le niveau de puissance de sortie a été ajusté à environ 20-25W.

En sortie de cette 1^{ère} chaîne est inséré un PowerMeter Bird43 équipé d'un bouchon 50L (50W @ 1700-2200 MHz) la différence de précision à 2405MHz est négligeable.

Ensuite un coupleur directionnel de précision de -40dB est inséré sur une charge de 50Ω/100W sur sa sortie passante.

Sa sortie -40dB est reliée à l'entrée de l'analyseur de spectre par un câble coaxial dont la perte d'insertion est de 0,6dB à 2405MHz.

L'analyseur 8594E n'est pas saturé, un coupleur directionnel de -40dB à la fréquence de mesure (2405MHz) est inséré entre le Bird43 et la charge 50Ω, et reçoit à son entrée un niveau d'environ 0dBm.

Un moyennage sur 50 mesures « lisse » la réponse amplitude/fréquence pour intégrer les pointes de quelques dB sur la partie supérieure de la courbe.

Le marqueur sans cette possibilité fluctue trop pour être utilisable.

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Relevé de mesures

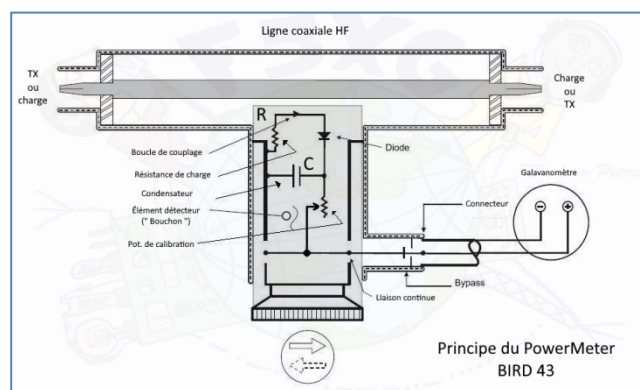
Type porteuse	Porteuse sur analyseur dBm		Bird43 + bouchon 50L	
	lue	réelle	Watts	dBm
Pure	4.21	44.81	22	43.42
QPSK	-8.9	31	24	43.80

Effectivement la différence des niveaux lus est conséquente, 31 comparé à 43.8 dBm.
Ceci est la conséquence des systèmes de mesures différents mis en œuvre.

Le PowerMeter

Sur le schéma ci-contre, et en simplifiant, l'élément de mesure est constitué par une résistance de charge R, une diode et un condensateur C, la tension détectée est calibrée par le potentiomètre, et le signal est appliqué à un galvanomètre.

Ceci est un détecteur d'enveloppeⁱ avec une intégration constituée par le circuit RC.



Le PowerMeter Bird43 indique sur son galvanomètre l'intégration des signaux détectés par l'élément de mesure, vulgairement appelé « bouchon ».

Il mesure simplement l'enveloppe du signal détecté par la diode via la boucle de couplage HF.

Ceci sans relation avec la fréquence du signal traversant la ligne coaxiale HF, ni notion de sa largeur de bande.

Pour l'amplitude du niveau de puissance, il appartient à l'utilisateur de mettre un « bouchon » correspondant à la fréquence du signal à mesurer et également à son niveau de puissance présumé.

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

L'analyseur de spectre

Petit rappel du fonctionnement

Tout comme un oscilloscope la fonction première d'un analyseur de spectre est de présenter une visualisation graphique du signal. Mais il y a de grandes différences ...

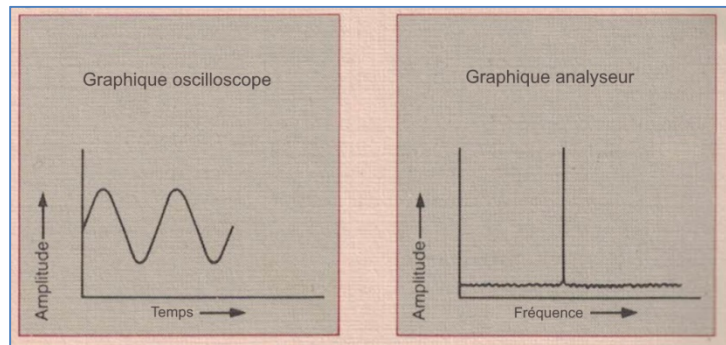


Figure 2 Différence de représentation graphique entre un oscilloscope et un analyseur de spectre

Figure 2 :

Les deux axes d'un analyseur de spectre sont la fréquence et l'amplitude du signal par comparaison à l'oscilloscope qui sont le temps et l'amplitude.

L'analyseur de spectre affiche graphiquement et individuellement chaque composante du signal par une déviation (un pic) verticale.

Par exemple un signal sinusoïdal pur sera représenté par une déviation verticale à la fréquence de ce signal. Un signal complexe affichera en plus les produits de distorsion, les harmoniques, etc.

Fondamentalement un analyseur de spectre est un récepteur syntonisé associé à un afficheur graphique.

Par le balayage de l'oscillateur local et la variation de la largeur (span) fréquentielle, il devient possible d'analyser une bande de fréquence(s).

En sélectionnant la largeur de bande de la fréquence intermédiaire (FI), le filtrage vidéo, une détection linéaire ou logarithmique, etc. il devient possible d'observer également les signaux voisins du signal principal

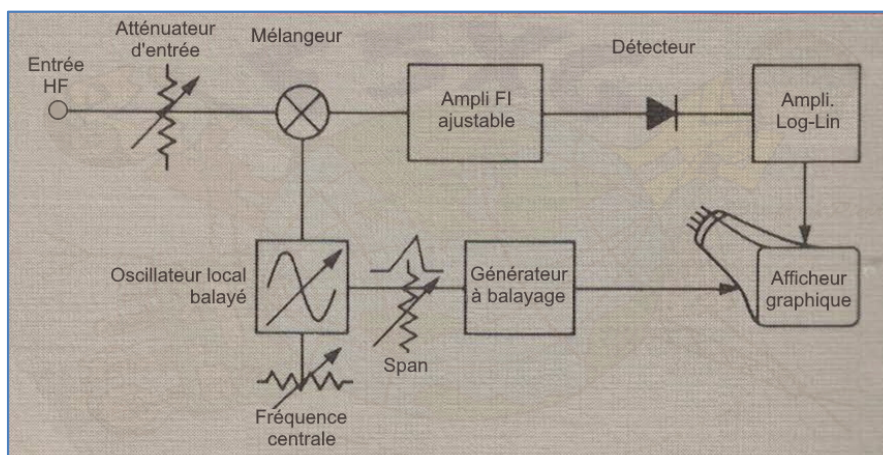


Figure 3 Synoptique simplifié d'un analyseur de spectre

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Corrélation des mesures

Nous venons de voir que les mesures relevées sont justes, mais,

Le PowerMeter donne une valeur efficace (RMS) sur tout ce qui est présenté à son entrée (produits de distorsion, les harmoniques, bruit, etc.).

Tandis que l'analyseur échantillonne le signal par une suite de mesure lors du balayage et cette mesure se fait dans une largeur définie du filtre de bande FI (Fréquence Intermédiaire)

Il analyse donc le signal par pas, lors du balayage.

Formule de correction

Il est nécessaire pour retrouver la puissance totale du signal modulé numériquement de réaliser une compensation mathématique en tenant compte de :

C_n :	niveau porteuse en dB μ V, dBmV ou dBm, tel que mesuré au point de mesure sélectionné (mesuré comme s'il y avait du bruit).
BW :	largeur de bande du canal mesuré
RBW :	largeur de la bande de résolution de l'analyseur de spectre (dans les mêmes unités que BW).
k :	facteur de correction pour la forme du filtre de l'analyseur de spectre.

La formule de correction est la suivante :

$$C = C_n + 10 * \log_{10} \left(\frac{BW}{RBW} \right) - k + 2,15dB$$

C : puissance porteuse moyenne dans les mêmes unités que C_n .

[Document J.142 \(05/2000\)](#) § I.5.1

U.I.T. Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UITⁱⁱ

Mesurer avec l'analyseur

Sur la capture d'écran ci-contre, les points remarquables sont en blanc :

- N_p : niveau maxi mesuré à 2,4051 GHz, pour obtenir le C_n réel, Il faudra ajouter la valeur :
 - ✓ de l'atténuation du coupleur directionnel
 - ✓ La perte du câble de mesure
- BW : largeur de bande du canal
- RBW : largeur de bande du filtre FI
- $SPAN$: envergure de balayage par division horizontale, soit 200MHz

Et d'autres informations sur la configuration de l'appareil.

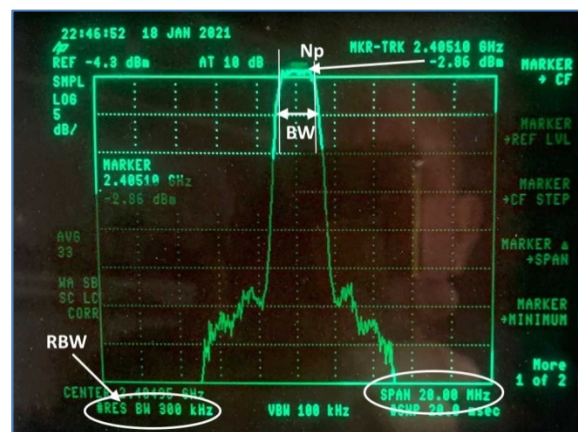


Figure 4 Capture d'écran analyseur

Pour obtenir une mesure précise, le SPAN devra être inférieur à 10 fois la largeur de bande du canal mesuré.

La largeur du canal utilisé est quasi équivalente au débit-symbole en QPSK.

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Précision des mesures

N'oubliez pas l'adage : « qui mesure se trompe »

La précision des appareils de mesure est souvent négligée, à tort.

Bird43

Si l'on consulte les spécifications de powermeter Bird43, la précision à pleine échelle est de $\pm 5\%$, ce qui nous donne pour les 20Watts lus :

$$\begin{aligned} \text{Imprécision en Watts :} & \quad 20_W * 5\% = \pm 1_W \\ \text{Pour 19 Watts :} & \quad P_{dBm} = 10 * \log_{10}([20-1]*1^{e3}) \cong 42,8 \text{ dBm} \\ \text{Pour 21 Watts :} & \quad P_{dBm} = 10 * \log_{10}([20+1]*1^{e3}) \cong 43,2 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Ce qui nous donne une erreur totale, possible, de 0,4dB.

Analyseur de spectre

Dans notre cas un HP8594E.

Ce n'est pas un appareil parfait, si on lit les spécifications de ce type d'appareil, la précision est de $\pm 20\%$!

Ce qui veut dire que la mesure est précise à 80% ou 120%

En dB :
$$I_{\text{imprécision}} = 10 * \log_{10}(0.8) = 0,97 \text{ dB} \cong 1 \text{ dB}$$

Ce qui nous donne une erreur de ± 1 dB, sans tenir compte de l'incertitude de la résolution du filtre en fréquence intermédiaire.

Dans le meilleur des cas, et cela après $\frac{1}{4}$ d'heure de chauffe et calibration.

D'autres appareils ont une précision de $\pm 1,5$ à 2,5dB.

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Analyseur Agilent E4402B

Mesures complémentaires à différents débits symboles.

On observe en utilisant le même exciter DATV d'un niveau de sortie de ~ 0 dBm, que suivant le débit symbole (engl. SR : Symbol Rate) le niveau de puissance mesuré sur l'analyseur est différent, ce qui est tout à fait normal.

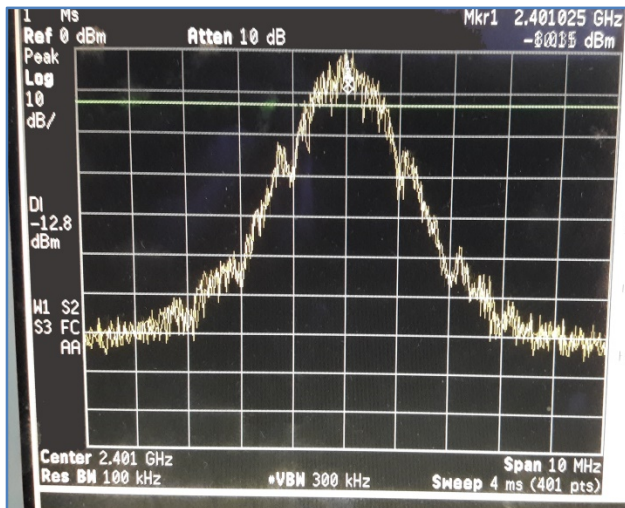


Figure 5 1Ms sans moyennage

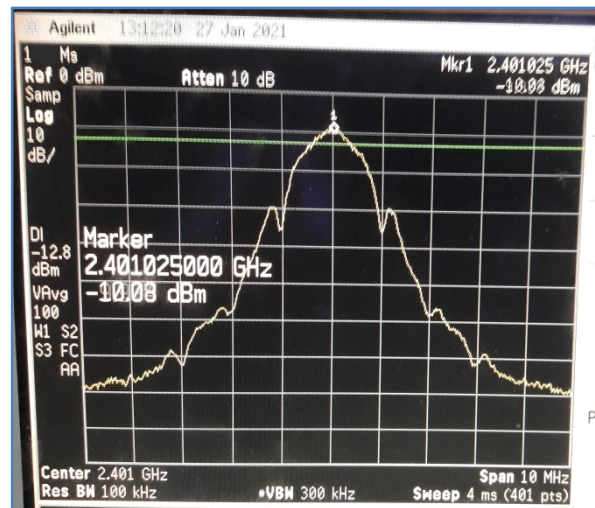


Figure 6 1Ms avec moyennage

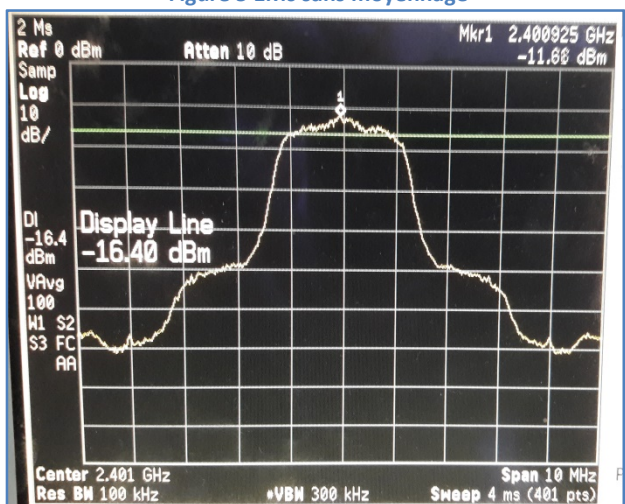


Figure 7 2Ms avec moyennage

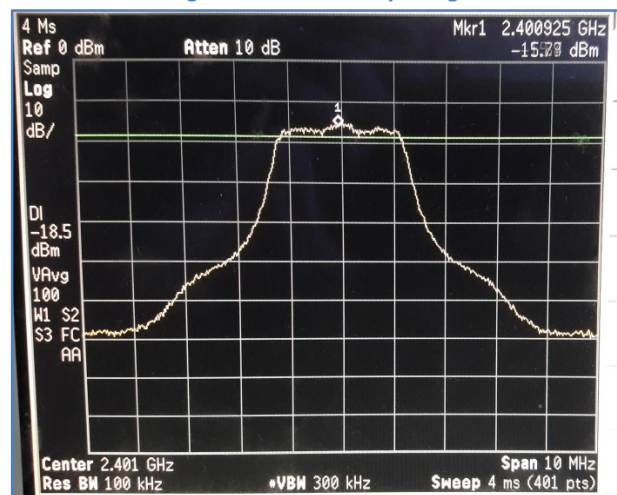


Figure 8 4Ms avec moyennage

La figure 5 ci-dessus, relevée sans moyennage, est affectée de beaucoup de « bruit », en fait ce sont les puissances spectrales instantanées du signal. Toutes les mesures suivantes ont été réalisées avec moyennage.

La ligne « Display Line » est placée à ~ -3 dB, ce qui donne la largeur du canal.

La figure 8 donne une largeur de canal inexacte, ceci est du aux filtres passe-bas I&Q de largeur fixe à 2Ms placés devant les circuits de modulation QPSK, dans mon montage exciter DATV. Ce qui limite de fait la largeur du canal pour un débit symbole (SR) > 2Ms.

Voir le schéma du modulateur I-Q figure 10, page suivante.

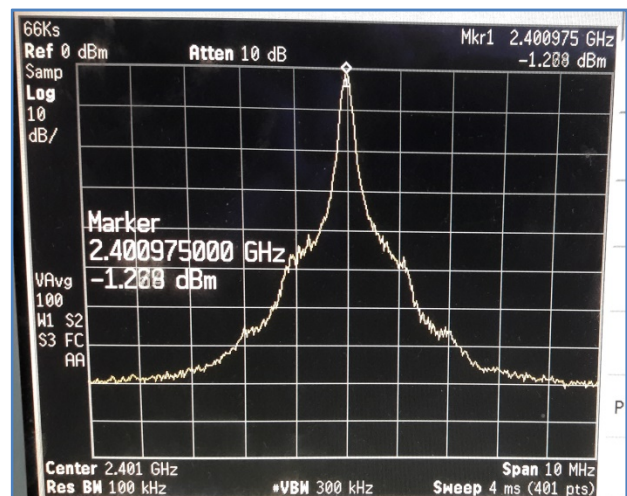


Figure 9 66ks avec moyennage

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

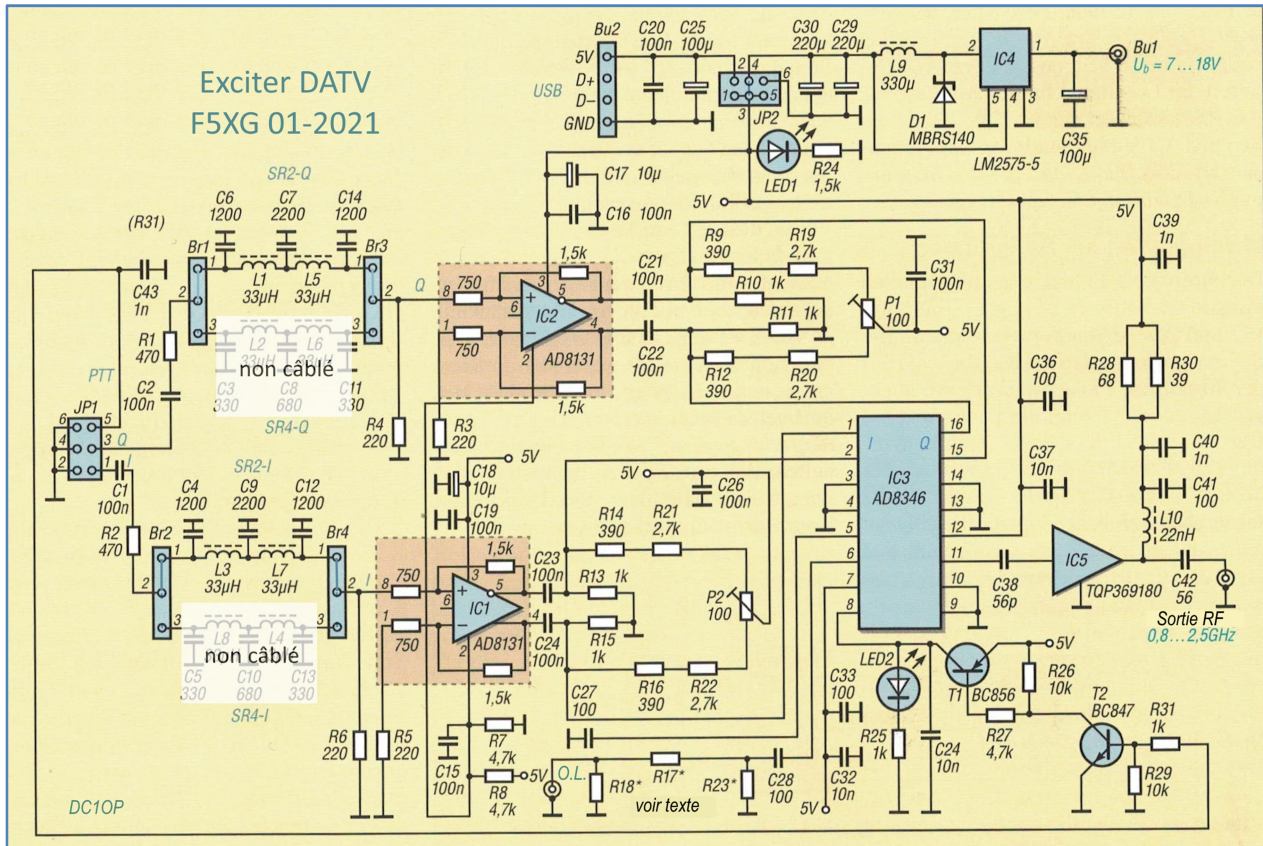


Figure 10 Exciter pour mesures de puissances à différents débits symbole

Conclusion

On constate en fonction du débit symbole, que la puissance instantanée observée sur l'analyseur est différente. Ce qui est tout à fait normal.

En utilisant un débit symbole de 66ks, on remarque que l'on est très proche de la valeur lue sur un PowerMeter détecteur d'enveloppe.

Néanmoins la feuille de calcul que j'ai écrite, (voir page suivante) permet de faire une corrélation assez précise entre la valeur mesurée en watts (ou milliwatts) et la valeur crête suivant le débit symbole utilisé, la largeur de bande du canal mesuré et le filtre de résolution de l'analyseur utilisé.

Corrélation des mesures de puissance Entre analyseur de spectre et PowerMeter

Feuille de calcul EXCEL

J'ai écrit une feuille de calcul pour simplifier cette correction, uniquement en dBm.

Puissance d'un signal modulé numériquement, sur un analyseur de spectre		Mesure sur PowerMeter RMS (Ex. : Bird 43)	
Niveau porteuse mesuré sur l'analyseur avec atténuateur [Np] =	-8,9	Puissance en Watts lue sur le PowerMeter [Pw] =	24
Atténuateur en entrée [Att] =	40,0	Puissance Moyenne RMS en dBm =	43,80
Atténuation du câble de mesure à FO [PerteCable] =	0,6		
Niveau porteuse réel analysé [Cn] =	31,7		
Largeur de bande du canal mesuré de spectre [BW] =	1 500 000,0		
Largeur de bande de résolution de l'analyseur de spectre [RBW] =	100 000,0		
Facteur de correction [k] =	1,5		
Compensation 10log10 (BW/RBW) -k +2,15 [dB] =	12,4		
Puissance moyenne [C] =	44,1		
Puissance moyenne Watts	25,8		

$$C = C_n + 10 * \log_{10} \left(\frac{BW}{RBW} \right) - k + 2,15dB$$

C : puissance porteuse moyenne dans les mêmes unités que Cn.
 Cn : niveau porteuse en dBµV, dBmV ou dBm, tel que mesuré au point de mesure sélectionné (mesuré comme s'il y avait du bruit).
 BW : largeur du canal mesuré
 RBW : largeur de bande de résolution de l'analyseur de spectre (dans les mêmes unités que BW).
 k : facteur de correction pour la forme du filtre de l'analyseur de spectre.

$C_n = N_{p_{dBm}} + Att_{dB} + PerteCable_{dB}$

Seules les cellules de couleur verte sont utilisées pour entrer les valeurs nécessaires.
Lors d'un clic sur la cellule, un commentaire est donné.

Figure 11 Copie d'écran de la feuille de calcul « Puissance en numérique.xlsx »

J'ai mentionné dans ma feuille de calcul Excel :

C_n : niveau porteuse en dBµV, dBmV ou dBm,

Si vous avez une mesure en dBµV, ou dBmV :

- 0dBm = 107 dBµV
- 0dBm = 67 dBmV

Utilisez le calculateur R&S par exemple, copie d'écran à droite,
 Lien de téléchargement : [dB Calculator](#)
 Et la notice d'utilisation : [Application Note](#)

Références

The Tektronix Spectrum Analysis Primer

ⁱ Wikipédia détecteur d'enveloppe : <https://tinyurl.com/y4vboy3q>

ⁱⁱ Document UIT : <https://www.itu.int/rec/T-REC-J.142-200005-1/fr>