

## LE BRUIT DANS LES PRÉAMPLIFICATEURS

F1AFJ, Jean Pierre MERE

**Pour commencer, il faut savoir de quoi on parle !** (voici en termes simples ce que j'aurais aimé trouver dans la littérature, avec des commentaires et des exemples)

■ **ENR :**

C'est (Excess noise ratio en anglais) Rapport de bruit en excès en français !

$$ENR = \frac{(Th - 290)}{290} = \frac{Th}{290} - 1$$

290°K = T Ambiante de 17°C est la température couramment employée dans les calculs, en degrés Kelvin (-273°C + 290 = 17°C)

■ **Facteur Y :**

C'est le rapport de puissance à la sortie de l'amplificateur quand on applique à son entrée une source froide (T = 290, ensuite une source chaude (T = Th):

$$Y = \frac{G(Th + Tn)}{G(290 + Tn)} = \frac{\frac{Th}{290} + \frac{Tn}{290}}{(1 + \frac{Tn}{290})}$$

La mesure du facteur Y est facilement réalisable en insérant un atténuateur à la sortie du préamplificateur pour que le niveau de sortie source chaude (T=Th) soit égal au niveau source froide (T=290). La valeur de l'atténuateur correspond au facteur Y en dB.

■ **Le terme F :**

F exprime le facteur de bruit de l'ampli

$$F = 10 \log \left( \frac{T + 290}{290} \right)$$

$$F = \frac{Tn}{290} + 1$$

$$Y = \frac{\frac{Th}{290} + F - 1}{F} = \frac{(ENR + F)}{F} = \frac{ENR}{F} + 1$$

$$F = \frac{ENR}{Y - 1}$$

Le terme f :

F exprime le " noise figure " de l'ampli (désolé, il n'y a pas de mot français pour traduire)

$$f = 10 \log F = 10 \log ENR - 10 \log (Y - 1)$$

■ **Le terme Tn :**

Tn exprime la température de bruit à l'entrée de l'ampli (en degrés Kelvin)

$$Tn = 290(F - 1)$$

Exemple :

Une source de bruit calibrée à 15,6 dB ENR sur 144 MHz, reliée à l'entrée d'un préamplificateur 144 MHz, sur lequel on doit insérer un atténuateur de 15,3 dB pour ramener la sortie à une valeur identique à celle de la source froide, donne les caractéristiques suivantes :

Le facteur Y :

(rapport de puissance)

$$Y = 10^{(15,3/10)} = 33,9$$

le " noise figure " du préamplificateur :

le facteur de bruit :

$$f = 15,6 - 10 \log(33,9 - 1) = 0,43 \text{ dB}$$

la température de bruit :

$$10^{(0,43/10)} = 1,104 \text{ dB}$$

Facteur de bruit d'une cascade

$$Tn = 290(F - 1) = \frac{290}{(1,104 - 1)} = 30^\circ K$$

d'amplis :

FN est le facteur de bruit de

$$Fn = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3}$$

l'ensemble de la cascade des étages

● F1 est le facteur de bruit de l'étage 1

● F2 est le facteur de bruit de l'étage 2

● F3 est le facteur de bruit de l'étage 3

● F4 est le facteur de bruit de l'étage 4

● G1 est le gain de l'étage 1 (en puissance)

● G2 est le gain de l'étage 2 (en puissance)

● G3 est le gain de l'étage 3 (en puissance)

On pourrait aller plus loin, mais après 3 étages le gain est très grand, et on peut estimer que la dégradation est négligeable.

Exemple :

Notre préamplificateur (de l'exemple précédent) a un gain de 24 dB (256 en puissance) et est suivi par un ampli qui a un F de 1,8 dB :

$$Fn = 1,104 + \frac{(1,8 - 1)}{256} = 1,107 \text{ dB}$$

$$(f = 10 \log 1,107 = 0,44 \text{ dB})$$

On voit que la dégradation est peu importante (0,44 pour 0,43dB) car le gain est grand. Mais si le gain est de 12 dB (16 en puissance) il en est autrement :

$$Fn = 1,104 + \frac{(1,8 - 1)}{16} = 1,154 \text{ dB}$$

(f = 10 log 1,154 = 0,66 dB !...)  
Température équivalente de bruit (pour ceux qui veulent en savoir un peu plus !)

L'entrée du préamplificateur est alimentée par une source de bruit et on dispose d'une puissance P en sortie. On mesure successivement la puissance P pour les 2 valeurs différentes de température de la source.

Dans les 2 cas la puissance P mesurée est égale à

$$P = k T B V$$

● P puissance reçue en watts

● K constante de Boltzmann

● T température en Kelvin

● B bande passante en Hertz

● V amplification du récepteur

Si le préamplificateur était parfait, le rapport de puissance chaud/froid en sortie serait le même que le rapport de température en entrée, mais comme le récepteur génère du bruit, le

rapport de puissance en sortie est plus petit que le rapport de température en entrée.

Ce qu'on peut écrire

$$P_{hot} = k (T_{hot} + Te) B V = Ph$$

$$P_{cold} = k (T_{cold} + Te) B V = Pc$$

Te est la température équivalente du récepteur ; le rapport de puissances mesuré en sortie est le facteur Y

$$\frac{Ph}{Pc} = \frac{Th + Te}{Tc + Te} = Y$$

On en déduit Te :

$$Te = Th \cdot \frac{Y \cdot Tc}{Y - 1}$$

et le NF équivaut :

$$NF = 10 \log \frac{290 + Te}{290}$$

**La théorie est terminée ; venons à la pratique.**

Pour mesurer le bruit d'un ampli, on utilise une source de bruit d'ENR connu. La valeur de l'ENR est généralement autour de 15,5 dB. La tension appliquée à la source est de 28V pour la température de bruit chaude.

Il y a deux méthodes (que je connaisse, il y en a certainement bien d'autres)

■ La première méthode (celle que j'utilisais avant) : une source de bruit " home made ", un préamplificateur dont le NF est connu et un PC avec sa carte son. L'ensemble préamplificateur et récepteur étant raccordé, la carte son du PC connectée à l'audio du récepteur, la source de bruit est raccordée à l'entrée du préamplificateur. La source non alimentée, récepteur avec l'ACG position off, régler l'audio du récepteur pour être en bas de l'échelle de mesure vers 2 à 3 dB (Ah ! j'oubliais : il faut que le logiciel\* de mesure de bruit tourne sur le PC !) Alimenter la source de bruit et chercher à avoir une augmentation du bruit de l'ordre de 5 à 6 dB (pour cela agir sur le courant de la source ou intercaler un atténuateur

entre la source et le préamplificateur), faire une quinzaine de mesures consécutives et les relever, couper l'alimentation de la source et refaire la série de mesures. Faire la moyenne des deux séries de mesures pour déterminer le facteur Y du préamplificateur. Echanger le préamplificateur avec celui dont le NF est connu et refaire la manipulation, maintenant vous connaissez le Facteur Y des deux préamplificateurs, vous êtes à même de calculer le NF

mesure de Y-factor			
ON	OFF	ON	OFF
11,00	4,30	10,90	3,80
11,00	4,10	11,00	3,90
10,90	4,20	11,10	3,80
10,80	4,20	10,90	3,80
10,90	4,20	10,80	3,50
10,90	4,30	11,00	3,90
10,90	4,30	10,70	3,80
11,10	4,40	11,00	3,60
10,80	4,30	11,10	3,70
10,90	4,40	10,90	3,60
10,70	4,10	11,00	3,60
10,90	4,40	11,10	3,80
10,90	4,40	10,70	3,80
11,20	4,40	10,80	3,90
11,00	4,40	10,90	3,70
10,70	4,20	10,90	3,80
174,60	68,60	174,80	60,00
6,625		7,175	

du préamplificateur inconnu ! Pas de panique ! je vous ai fait un récapitulatif qui montre la méthodologie .....

Calcul de l'ENR à partir des données du préamplificateur (celui dont le NF est connu !)

Y-facteur : 6,625 dB

(mesuré voir tableau)

NF : 0,99 dB

$$NF = ENR - 10 \log(10^{\frac{Y}{10}} - 1)$$

ENR : 6,55 dB (déduit)

Mesure de Y-factor

16 mesures consécutives

L'ENR de la source de bruit étant connu, il ne reste plus qu'à calculer le NF du nouveau préamplificateur :

Y-Facteur = 7,175 dB

ENR = 6,55 dB

Reste à calculer le facteur de bruit :

$$Y = 10^{(7.175 / 10)} = 5,22$$

(rapport de puissance)

le noise figure :

$$f = 6,55 - 10 \log(5,22 - 1) = 0,3 \text{ dB}$$

le facteur de bruit :

$$F = 10^{(0,3 / 10)} = 1,072 \text{ dB}$$

La mesure avec le PANFI de cet exemple a donné un NF de 0,27 dB C. Q. F. D. !...

■ La deuxième méthode (celle que j'utilise maintenant) :

beaucoup plus simple, plus rapide, mais aussi plus onéreuse !

C'est avec un PANFI, (quoi que c'est t'y que cette bête ?) c'est :

" Precision Automatic Noise Figure Indicateur " en anglais !

en bon français : Indicateur Automatique de Noise Figure de Précision ! Là, c'est hyper simple :

Relier la source calibrée à l'entrée du préamplificateur, la sortie est reliée à l'entrée du PANFI, juste à lire l'afficheur pour connaître le NF du préamplificateur (simple non !)

Nous avons le résultat de la mesure ! mais est-il valide ?

Malheureusement, en ce monde rien n'est parfait! Même le PANFI de haut de gamme qui coûte plusieurs dizaines de milliers de dollars US a des restrictions dans sa précision de mesure.

Beaucoup de facteurs influent sur la précision de la mesure du bruit. Je vais essayer de les résumer : en premier il y a la température ambiante (voir le tableau joint) ensuite on trouve la désadaptation source / préamplificateur et le câble de liai-

son, le gain du préamplificateur et le facteur de bruit de l'amplificateur qui le suit, les parasites ambiants qui arrivent à traverser malgré les blindages.

En conclusion : la dégradation de la mesure est d'autant plus grande que le facteur de bruit mesuré est petit !

Donc donner un NF en centième de dB absolu est du domaine de l'impossible (avec des moyens amateurs et même de beaucoup de professionnels), par contre noter une amélioration ou une dégradation de X centièmes de dB est possible si les conditions de mesure sont identiques.

C'est pourquoi je suis plus pour le principe de la mesure relative ! (Rien n'empêche de faire mesurer son préamplificateur de réfé-

rence dans un labo ou à Ceigy pour savoir dans quelle fourchette on se situe).

Voilà, nous arrivons au terme de cette partie, j'espère que vous aurez un autre regard sur le bruit en général, et que vous ne direz plus (comme moi-même je l'ai fait avant de savoir) : j'ai un préamplificateur qui a un NF de 0,37 dB (dire plutôt : environ 0,4 dB). J'ai essayé d'être le plus simple possible, mais comme vous avez pu le voir rien n'est très simple quand on touche au problème du bruit dans les récepteurs.

J'ajouterai ceci : que ceux qui savent (ou qui croient savoir) ne me jettent pas la pierre, car cet article ne leur est pas destiné !

Logiciel\* : WSJT de K1JT en position mesure, ce logiciel est freeware le télécharger à :

<http://pulsar.princeton.edu/~joe/K1JT/>

Dégradation de la mesure en fonction de la température ambiante de la source de bruit (Graphique<sup>(1)</sup> de la doc du PANFI Ailtech)

Un autre graphique<sup>(2)</sup> qui tient compte du NF mesuré et du gain du préamplificateur (document Agilent)

On notera sur ce graphique que dans tous les cas, l'incertitude est au minimum de 0,1 dB !

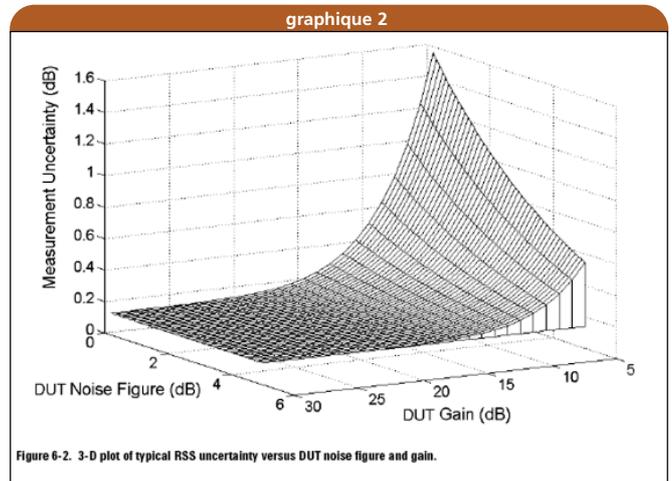


Figure 6-2. 3-D plot of typical RSS uncertainty versus DUT noise figure and gain.

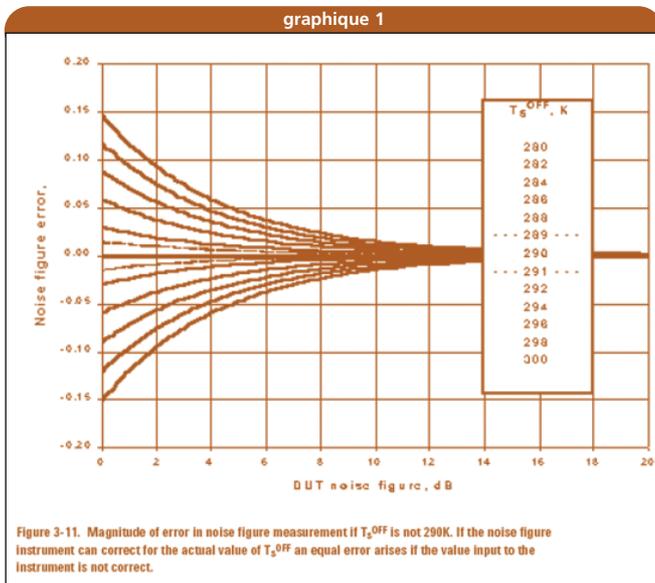


Figure 3-11. Magnitude of error in noise figure measurement if T<sub>g,OFF</sub> is not 290K. If the noise figure instrument can correct for the actual value of T<sub>g,OFF</sub> an equal error arises if the value input to the instrument is not correct.