

Comment ça marche ?

Facteur de bruit d'une chaîne de réception

Par le radio-club F6KRR

Nous avons vu dans les précédents "Comment ça marche" l'effet du bruit thermique caractérisé par le facteur de bruit et la température équivalente de bruit. Nous allons maintenant voir une manière de calculer le facteur de bruit d'une chaîne de réception en fonction des facteurs de bruits de ses composants.

Facteur de bruit et puissance de bruit

Le facteur de bruit est un rapport qui qualifie l'accroissement de bruit amené par un quadripôle à une source de bruit référencée. Il est exprimé en décibels. On mesure cet accroissement à la sortie du quadripôle et on le ramène à son entrée en tenant compte de son gain. Dans une chaîne de réception, nous avons une suite de quadripôles connectés en série. Chacun d'eux ramène son propre bruit et l'on conçoit que leur contribution au fb à l'entrée du récepteur va dépendre, non seulement de leur propre fb , mais du gain des étages précédents dans la chaîne. Plus le fb de l'étage est élevé, et faible le gain des étages précédents, et plus sa contribution au fb à l'entrée du récepteur sera importante.

Lorsque le récepteur est construit, on mesure un rapport S/B à sa sortie puis connaissant sa bande passante et le niveau d'entrée du signal on en déduit aisément un facteur de bruit.

Prenons un exemple :

Bande passante $B = 2,4 \text{ kHz} = 33,8 \text{ dB}$ ($10 \cdot \text{Log}(2400)$).

Rapport S/B = 10 dB

Signal d'entrée $U_e = -124 \text{ dBm}$.

$fb_e = |P_{\text{réf}}| - (|U_e| + B + S/B)$, soit

$174 - (124 + 33,8 + 10) = 6,2 \text{ dB}$.

Lorsque la chaîne de réception est au stade de l'étude, il est important de pouvoir estimer le facteur de bruit à l'entrée en fonction des choix d'architectures et des composants. On part alors des performances annoncées dans les data-sheets pour faire ses calculs. Comme les performances sont exprimées en dB, et comme nous aurons à ajouter des puissances de bruit en dBm, les calculs ne seront pas simples : conversion en linéaire des valeurs en dBm, addition, puis conversion du résultat en dBm. Ainsi, l'addition d'une puissance de 12 dBm (15,85 mW) avec une puissance de 10 dBm (10 mW) ne donne pas une puissance de 22 dBm (158,5 mW), mais une puissance de 14,125 dBm (25,85 mW). Pour additionner directement des valeurs exprimées en dBm, il est plus simple de se servir de l'abaque de la figure 1.

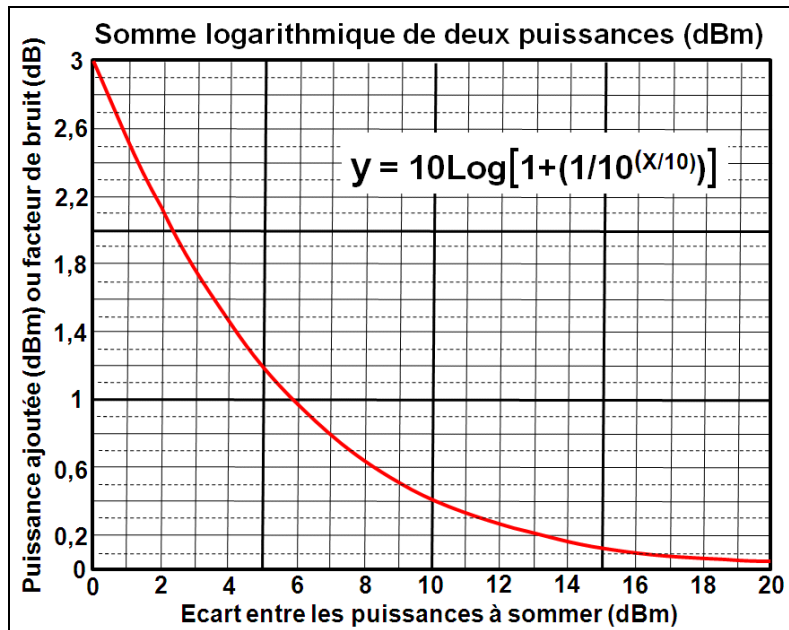


Figure 1: **Addition de deux puissances exprimées en dBm**

Il y a deux manières d'utiliser cet abaque :

- Connaissant un facteur de bruit, on le porte sur l'ordonnée et l'abscisse nous donne la puissance en dBm à retrancher de la puissance de référence (-174 dBm/Hz) pour obtenir la puissance du bruit.
- Connaissant la différence en dBm entre deux puissances à sommer, on la porte sur l'abscisse et l'ordonnée nous donne la puissance en dBm à ajouter à la plus forte puissance pour avoir la puissance totale en dBm.

Exemple : Si un préampli a un facteur de bruit de 0,41 dB, alors la puissance de bruit équivalente qu'il génère à son entrée est égale à : $-174\text{dBm} - 10\text{dB} = -184\text{dBm/Hz}$. Si la puissance du bruit ramené à son entrée par la suite de la chaîne est de -175dBm/Hz , soit une différence de 5 dBm, alors le bruit ajouté à -184dBm sera de 1,2 dBm, soit $-182,8\text{dBm}$. La différence avec la référence (-174dBm) sera maintenant de 8,8 dB, ce qui nous donne un **fb** de 0,54 dB, à comparer avec les 0,41 dB du préampli seul (dégradation).

Facteur de bruit d'une chaîne d'amplification

L'exemple ci-dessus constitue la base du mécanisme utilisé pour calculer le bruit ramené à l'entrée d'une chaîne d'amplification. Pour l'illustrer, nous partirons d'un récepteur VHF large bande comprenant les quatre composants génériques d'une chaîne de réception : oscillateur, préampli, filtre et mélangeur. Nous allons déterminer son facteur de bruit en entrée en fonction des paramètres des composants de la chaîne. Examinons la figure 2.

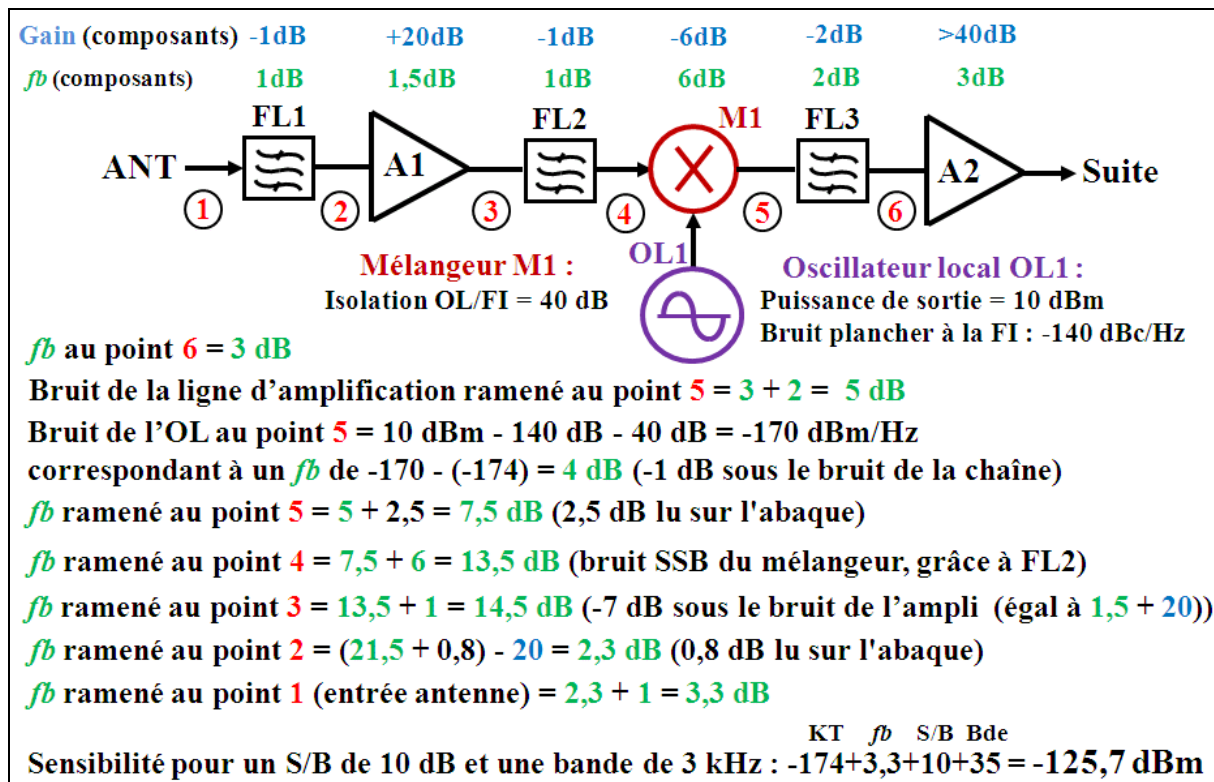


Figure 2 : Calcul du facteur de bruit d'une chaîne de réception

FL1 est le filtre de bande d'entrée. Il a des pertes de 1 dB. Son facteur de bruit est égal à ses pertes.

A1 est le préampli d'entrée faible bruit (LNA).

FL2 est un deuxième filtre d'entrée dont le rôle sera explicité plus loin.

M1 est un mélangeur passif. Son facteur de bruit n'est que légèrement supérieur à ses pertes pour un mélangeur de qualité. Pour simplifier, on prend son bruit égal à ses pertes. Mais attention, il s'agit d'un facteur de bruit SSB. Ici, il faut traduire SSB par "une seule bande de fréquence". En effet, on rappelle succinctement qu'un mélangeur produit une FI pour deux fréquences HF. L'une est celle que nous avons choisie, et l'autre est la fréquence "image" que nous devons filtrer avant le mélangeur, en principe n'importe où dans la chaîne amont. Mais si nous ne la filtrons pas juste devant le mélangeur, alors celui-ci "verra" le bruit généré par l'ampli **A1** à la fréquence image et le facteur de bruit du mélangeur sera augmenté de **3dB**. Pour contrer cela, on "coupe" le filtre d'entrée en deux et on en met une partie devant le mélangeur. Ce 2^{ème} filtre peut être simplifié, car nous pouvons voir avec l'abaque de la fig. 1 qu'une atténuation de 10 dB de la fréquence image suffit à diminuer la puissance de bruit de 2,6 dB. Si nous avons un mélangeur actif, celui-ci aurait un gain et un facteur de bruit comme un ampli, mais avec la même remarque concernant la bande de fréquence image.

OL1 est le premier oscillateur local. Son bruit thermique s'étend sur une large bande qui englobe la fréquence FI. L'isolation OL-FI du mélangeur étant insuffisante, une partie du bruit de l'OL passe dans la FI et contribue ainsi à dégrader le facteur de bruit de celle-ci.

FL3 est le filtre de canal

A2 est l'ampli FI. Son gain est suffisant pour "masquer" le facteur de bruit des composants suivants.

Détermination du facteur de bruit en entrée.

Nous avons déjà vu comment on déterminait le bruit équivalent en entrée d'un quadripôle en connaissant son gain et le bruit à sa sortie. Nous avons vu également comment on additionnait des puissances en dBm. Pour déterminer le bruit en entrée, il suffit de partir de la sortie et de remonter vers l'entrée en répétant ces opérations sur tous les composants.

En l'occurrence, nous partirons du point **6** où le facteur de bruit est celui de **A2**, soit **3dB**. Il n'est pas dégradé par les composants suivants, grâce au gain élevé de l'ampli.

Au point **5**, le **fb** est augmenté des pertes de **FL3**, soit $3 + 2 = 5\text{dB}$, plus le bruit ramené par **OL1** à travers **M1** égal à **-1 dB** sous le bruit de la FI. Le **fb** est alors dégradé de **2,5dB**, soit $5 + 2,5 = 7,5\text{dB}$.

Au point **4**, le **fb** est augmenté des pertes (**SSB**) de **M1**, soit $7,5 + 6 = 13,5\text{dB}$.

Au point **3**, le **fb** est augmenté des pertes de **FL2**, soit $13,5 + 1 = 14,5\text{dB}$. C'est **-7 dB** sous le bruit de l'ampli qui lui est égal à $1,5 + 20 = 21,5\text{ dB}$ (**fb** + Gain). Le facteur de bruit est alors dégradé de **0,8dB** (lu sur l'abaque).

Au point **2**, le **fb** est alors égal à $1,5 + 0,8 = 2,3\text{dB}$.

Au point **1**, le **fb** est augmenté des pertes de **FL1**, soit $2,3 + 1 = 3,3\text{dB}$. C'est le facteur de bruit à l'entrée du récepteur.

Si nous connectons une antenne avec un câble qui a des pertes, le facteur de bruit sera augmenté de ces pertes. C'est pourquoi, pour nous les radioamateurs qui n'avons pas de problème de brouillage en VHF, nous avons intérêt à mettre un **LNA** d'une quinzaine de dB de gain à la sortie de l'antenne pour "masquer" les pertes du câble et du filtre d'entrée.

Cet article clôturera (provisoirement) le sujet sur le facteur de bruit. Dans le prochain "Comment ça marche", nous débuterons une longue série sur les lignes HF.

La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@orange.fr".