

# Comment ça marche ?

## Le facteur de bruit

Par le radio-club F6KRR

*Le facteur de bruit est un paramètre un peu mystérieux pour beaucoup d'OM qui n'en savent seulement qu'en réception il doit être le plus faible possible en UHF et en Hyperfréquences pour augmenter la sensibilité. Cette petite série d'articles a pour but de démythifier les notions de facteur de bruit et de température de bruit et d'en montrer l'utilisation.*

### Le bruit thermique dans les conducteurs

On sait qu'un matériau conducteur est caractérisé par une facilité d'échanges des électrons périphériques de ses atomes entre eux. Ces échanges erratiques sont d'autant plus importants que la température du conducteur est élevée. On peut aussi les forcer en soumettant le conducteur à une différence de potentiel, mais ce n'est pas notre sujet.

Si un matériau plus ou moins conducteur fait partie d'un dipôle, celui-ci se comporte comme une source de bruit blanc <sup>(1)</sup> dont la puissance disponible obéit à la loi :

$P = K.T.B$  avec :

$P$  = puissance en watts, mais généralement exprimée en dBm.

$K$  = constante de Boltzmann =  $1,3806488.10^{-23}$  (joules par Kelvins).

$T$  = température en Kelvins (température absolue).

$B$  = bande passante de l'appareil de mesure en Hz (bande de mesure).

En prenant une température de **288 K** (+15°C) et une bande de **1Hz**, la puissance de bruit est égale à -174,005 dBm, soit **-174 dBm**. <sup>(2)</sup> C'est la puissance de référence qui nous servira à calculer le facteur de bruit.

La figure 1 nous montre d'une façon imagée à quoi correspond électriquement la puissance de bruit d'une résistance.

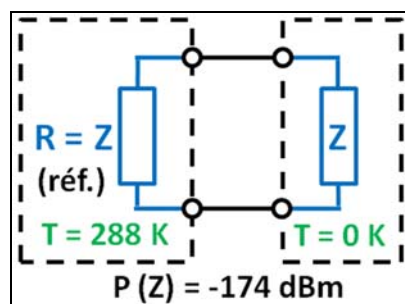


Figure 1 : Bruit thermique d'une résistance

L'impédance  $Z$  est ici fictive car elle ne produit aucun bruit. Dans la réalité ce n'est pas le cas. Même si c'est une impédance électronique (non matérielle), elle produit du bruit sauf si l'électronique fonctionne au zéro absolu.

En pratique, on ne peut pas mesurer la puissance dans  $Z$  <sup>(3)</sup> mais celle-ci fait toujours partie d'un quadripôle et alors on fait la mesure à la sortie du quadripôle.

## Facteur de bruit d'un quadripôle

La mesure du facteur de bruit exige que la résistance de bruit (la référence) soit toujours adaptée à l'impédance d'entrée du quadripôle <sup>(4)</sup>. Par ailleurs, nous admettrons que les températures du quadripôle et de la référence soient les mêmes, ce qui est généralement le cas <sup>(5)</sup>.

### 1 - Quadripôles actifs

Ce sont souvent des amplificateurs. La figure 2 montre le principe de la mesure de leur facteur de bruit. D'une manière générale, il s'agit de mesurer l'accroissement de bruit que l'ampli apporte à une source de bruit connue qui sert de référence.

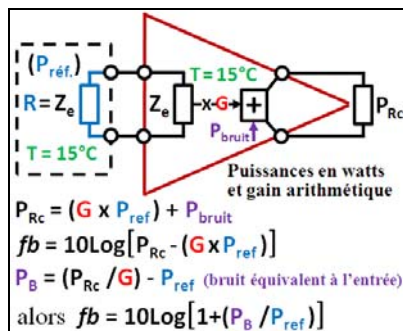


Figure 2 : Calcul du facteur de bruit

Si les puissances sont exprimées en dBm et le gain en dB, cela se simplifie. Alors le facteur de bruit est égal à :

$$fb = P_{Rc} - G + 174 \text{ dBm.}$$

L'appareil qui mesure  $P_{Rc}$  doit avoir un facteur de bruit nettement inférieur à celui de l'amplificateur additionné de son gain en dB. Auparavant on aura mesuré le gain de l'ampli à l'aide d'un signal à la fréquence de travail et avec une amplitude nettement plus élevée que le bruit équivalent à l'entrée de l'ampli.

### 2 - Quadripôles passifs

Un quadripôle passif ne peut pas avoir du gain en puissance, seulement des pertes. Il se comporte donc comme un atténuateur. La figure 3 pose le problème.

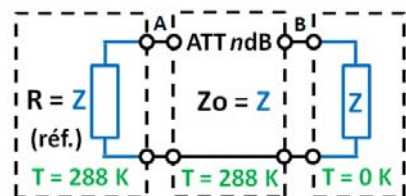


Figure 3 : Bruit d'un atténuateur

Approche par le raisonnement : Avec une atténuation nulle (B relié à A), nous obtenons le schéma de la figure 1. On peut dire que la charge Z "voit" le bruit d'une résistance à 288K, soit la référence. Avec une atténuation quelconque, les propriétés du quadripôle sont telles que Z "voit" une impédance image encore égale à R, ayant donc un bruit toujours égal à la référence si l'atténuateur est à 288K. Si l'on ramène ce bruit à l'entrée de l'atténuateur, il est augmenté de la valeur de l'atténuation. En conséquence le facteur de bruit du quadripôle passif est égal à son atténuation <sup>(6)</sup>. On peut le confirmer mathématiquement en utilisant la

formule de calcul du facteur de bruit avec les valeurs en décibels, et en considérant qu'une atténuation est un gain négatif. Il vient :

$$fb = -174 \text{ dBm} - (-G) + 174 \text{ dBm},$$

Alors  $fb = -G = \text{ATT}$ .

Mais attention, si c'est un quadripôle actif qui présente une atténuation, son facteur de bruit peut être plus élevé que l'atténuation.

### Facteur de bruit d'un mélangeur

Si l'on admet que l'oscillateur local n'a aucune action sur le bruit FI <sup>(7)</sup>, un mélangeur peut être considéré comme un quadripôle, actif ou passif, caractérisé par son gain ou sa perte de conversion. Mais attention, on ne peut plus appliquer les règles de calcul que l'on a vues ci-dessus sans précaution. En effet, la fonction de transfert d'un mélangeur est une multiplication de sinus et/ou de cosinus. Le produit contient deux termes (deux fréquences) dont l'un correspond à la FI et l'autre est filtré. Mais il reste une ambiguïté car on obtient une même FI pour deux fréquences à convertir. L'une est choisie pour fréquence d'entrée et l'autre, la "fréquence image" est éliminée par filtrage. Ce qui vaut pour le signal vaut aussi pour le bruit. Si un préamplificateur est inséré entre le filtre d'entrée et le mélangeur, le bruit généré par celui-ci l'est dans les deux bandes, donc deux fois plus élevé après conversion en FI. Ainsi le rapport S/B diminue de 3 dB, comme si le facteur de bruit du mélangeur avait augmenté de 3 dB. La figure 4 pose le problème et apporte la solution.

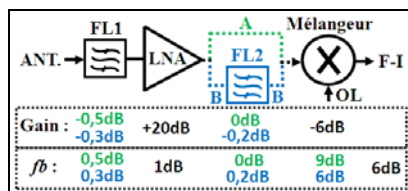


Figure 4 : Mélangeur et facteur de bruit

Comme on le voit, la solution consiste à insérer un second filtre de bande entre l'ampli et le mélangeur. En calculant le facteur de bruit à l'entrée ANT, on trouve 2,46 dB pour la configuration A (en vert) et 1,84 dB pour la configuration B (en bleu). Dans ce cas, le fait d'ajouter le filtre FL2, qui n'a pas besoin d'atténuer plus que 20 dB la fréquence image, permet d'alléger FL1 (et ses pertes) et de garder globalement la même perte d'insertion. La méthode de calcul du  $fb$  à partir des valeurs de la fig. 4 fera l'objet du troisième article sur le facteur de bruit.

Ce problème de bruit reste valable pour les mélangeurs actifs (avec gain). Les facteurs de bruit des mélangeurs sont toujours donnés pour une seule bande de bruit (bruit SSB).

### Facteur de bruit d'une antenne

Une antenne peut être considérée comme un quadripôle passif inséré entre la source (le champ électromagnétique) et la charge (le récepteur).

Il s'agit ici du facteur de bruit propre de l'antenne en espace libre, c'est à dire séparée de son environnement, en la mettant par exemple dans une cage de Faraday. Alors nous avons vu que son facteur de bruit est lié à son atténuation, donc à son rendement. En effet, seule sa résistance de perte est source de bruit. Mais comme la charge est complètement désadaptée vis-à-vis de cette source, seule une petite partie de la puissance de bruit est transférée.

En réalité, une antenne n'a aucun intérêt si elle est séparée de son environnement et son facteur de bruit intrinsèque n'a pas beaucoup d'importance pour une antenne ayant un bon rendement. Il faut alors considérer le facteur de bruit du **système antennaire**. Pour cela on est

amené à utiliser une notion différente du facteur de bruit : la **température de bruit**. Elle fera l'objet du prochain "Comment ça marche".

**La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@orange.fr".**

## Notes.

- 1) *Un bruit blanc est un bruit qui contient également toutes les fréquences du spectre. Si l'on considère une bande passante limitée, un bruit est considéré comme "blanc" quand il remplit les conditions à l'intérieur de cette bande.*
- 2)  *$P(\text{dBm}) = 10 \times \text{Log}_{10}[P(\text{mW})]$*
- 3) *D'autant qu'il est souvent impossible de localiser Z.*
- 4) *On lit parfois qu'une certaine désadaptation à l'entrée de l'ampli, identique pour le bruit et pour le signal peut entraîner une petite augmentation du rapport S/B, l'effet étant plus important pour le bruit que pour le signal. Cela relève du domaine de l'expérimentation, car lié au composant d'entrée.*
- 5) *Nous verrons avec la notion de température équivalente de bruit (prochain "Comment ça marche") que ce n'est pas toujours le cas.*
- 6) *Le signal étant atténué de la valeur de l'atténuateur, et le bruit restant inchangé, le rapport signal sur bruit (S/B) diminue de cette valeur. Ceci équivaut à un facteur de bruit de cette même valeur. Ceci, lorsque la température de l'atténuateur est celle de la référence.*
- 7) *Condition que le concepteur s'oblige à satisfaire.*