

Comment ça marche ?

La HAUTEUR EFFICACE

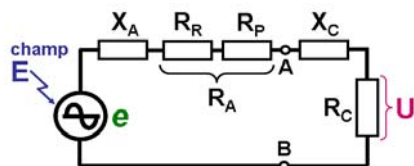
Par le radio-club F6KRK

Nous allons voir la hauteur efficace d'une antenne en réception, à ne pas confondre avec sa hauteur effective, notion abordée dans un précédent "Comment ça marche".

Hauteur efficace.

Alors que la hauteur effective caractérise physiquement une antenne, aussi bien en émission qu'en réception, la hauteur efficace caractérise l'adaptation de l'antenne à la réception ⁽¹⁾.

La figure 1 représente l'équivalent électrique d'une antenne à la réception.



Hauteur effective : $e = E \times H_{EFF}$ (fem)

Hauteur efficace : $U = E \times h_{eff}$ (ddp) Figure 1.

En réception, la hauteur **effective** représente le rapport entre la **f.e.m.** e de la source "antenne" et le champ électrique E à la réception, $H_{EFF} = e / E$.

La hauteur **efficace** représente le rapport entre la **d.d.p.** U aux bornes d'une charge R_C et le champ électrique E à la réception, $h_{eff} = U / E$.

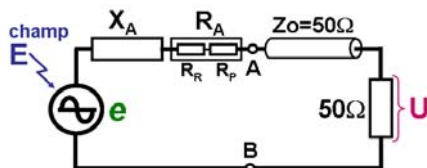
En cas d'adaptation parfaite ($R_C = R_R$, $X_C = -X_A$) et sans pertes, h_{eff} est égale à $H_{EFF} / 2$. Dans ce cas, tout ce qui concerne l'une concerne l'autre, d'où la confusion qui est souvent faite.

Avec les pertes et la désadaptation, nous avons la relation suivante :

$$h_{eff} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{0,42 D \frac{4 \cdot R_C \cdot R_R}{(R_C + R_R + R_P)^2 + (X_A + X_C)^2}} \quad (D = \text{directivité})$$

Facteur d'antenne.

Preons le cas particulier de la figure 2.



$$h_{eff} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{0,42 D \eta \frac{4s}{(s+1)^2}}$$

$\eta = \text{rendement}$
 (R_R / R_A)
 $s = \text{ROS connu}$
 (à l'émission)

$$FA_{(dB)} = 20 \text{ Log} \left(\frac{E}{U} \right)$$

Figure 2.

Le facteur d'antenne F_A est l'inverse de la hauteur efficace de l'antenne pour une résistance de charge de 50Ω ($F_A = E / U_{(50\Omega)}$). Il est généralement exprimé en décibels : $F_{A(dB)} = 20 \text{ Log}(E/U)$. Nous avons sur la figure 3 un exemple de facteur d'antenne pour un doublet de mesure du champ électrique.

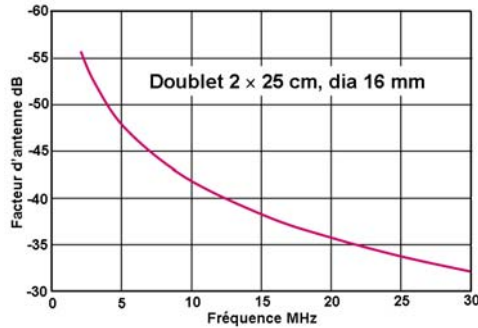


Figure 3.

A partir de la mesure du niveau de puissance à l'entrée 50Ω d'un analyseur de spectre ou d'un mesureur de champ, il suffit d'ajouter le facteur d'antenne plus les pertes dans le coaxial de liaison, puis de convertir la puissance obtenue en tension, pour avoir la valeur du champ E en V/m (en prenant toutes les précautions d'usage pour ce type de mesure).

Facteur d'antenne d'une boucle.

La hauteur effective, la hauteur efficace et le facteur d'antenne s'appliquent à toutes les antennes, quelles que soient leurs formes. Pour les champs lointains, la mesure du champ électrique suffit à connaître aussi le champ magnétique ($E=377H$). Pour les champs proches, le champ électrostatique se combine au champ électrique, et le rapport entre E et H n'est plus de 377. Pour mesurer le champ H , il faut utiliser une boucle élémentaire car, n'étant sensible qu'à l'induction B , sa h_{eff} n'est représentative que du champ électrique, et pas du champ électrostatique. Alors on obtient H en multipliant U par le facteur d'antenne puis en divisant le résultat par 377. Attention, les mesures en champ proche ne sont pas représentatives du champ lointain, car les rapports sont fonction du Q de l'antenne.

Hauteur efficace optimum.

Cette notion va nous obliger à appréhender la problématique antenne - réception dans son ensemble. Celle-ci est résumée sur la figure 4.

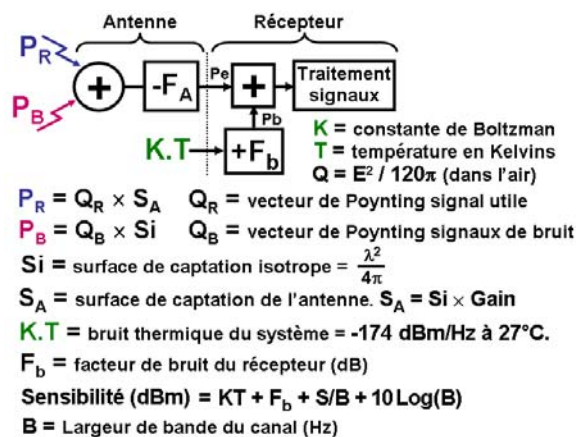


Figure 4.

Noter que tous les paramètres de la Fig. 4 sont exprimés en dB et dBm. Ils sont valables pour $T = 27^\circ\text{C}$, température de définition du facteur de bruit (transmissions terrestres)⁽²⁾.

Bruits atmosphériques attendus.

En dehors des parasites (QRM), les bruits (QRN) ont deux provenances : les bruits atmosphériques ayant pour origine les orages, et les bruits industriels et domestiques. Ces bruits sont variables selon le lieu, la saison et l'heure. Le CCIR publie une courbe donnant le minimum du bruit atmosphérique attendu sous forme de facteur de bruit par rapport au bruit thermique, comme pour le F_b d'un récepteur. Elle est reproduite sur la figure 5 avec la valeur du bruit galactique.

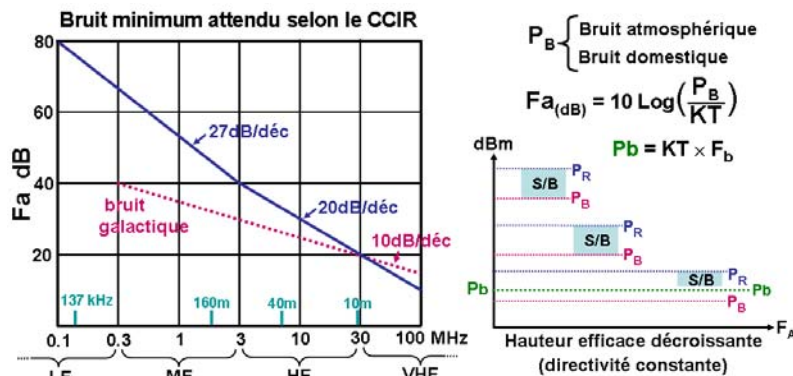


Figure 5.

Sur la partie droite de la figure, nous avons un graphique montrant l'effet de la hauteur efficace sur le rapport S/B en réception. La valeur du champ utile P_R est choisie pour avoir un rapport S/B (bruit atmosphérique) minimum pour une bonne démodulation. Noter qu'ici la bande passante n'est pas prise en compte, car elle n'a qu'un effet de translation sur l'échelle verticale. Ce graphique suppose que la diminution de la h_{eff} ne soit pas liée à la diminution de la directivité, ce qui est vrai pour les antennes filaires $< \lambda/2$ (cas des bandes basses). Nous voyons qu'avec une faible hauteur efficace, le bruit atmosphérique ramené à l'entrée du récepteur est inférieur à son bruit thermique, ce qui diminue le rapport S/B. Mais nous voyons également qu'au-delà d'une certaine hauteur efficace, le rapport S/B ne change pas. Par compte les niveaux absolus augmentent, et arrivent dans la région de non linéarité du récepteur, d'où distorsion et intermodulation⁽³⁾.

La hauteur efficace minimum pour laquelle le rapport S/B n'est pas dégradé s'appelle "hauteur efficace optimale".

Conclusions.

De tout ce que nous venons de voir, nous tirerons les enseignements suivants :

- En HF, le facteur de bruit du récepteur n'est pas critique si l'on utilise l'antenne d'émission en réception ($G \geq 0\text{dBi}$). Un F_b de 10 dB est largement suffisant, même à 30 MHz.
- Plus la fréquence de travail est basse, et plus la hauteur efficace optimale est faible. La meilleure antenne à l'émission ne l'est plus à la réception⁽⁴⁾. Une manière de diminuer h_{eff} est d'insérer un atténuateur convenable entre l'antenne et le récepteur⁽⁵⁾.
- Au dessus de 30 MHz, le bruit galactique devient prépondérant. Donc, en VHF et au dessus, nous avons les mêmes conditions en ville et à la campagne, sous réserve

d'absence de parasites proches. Sinon, le bruit industriel étant notablement plus faible à la campagne, plus la bande utilisée est basse, et plus il y a une différence de h_{eff} optimale (jusqu'à 30 dB pour la bande 137 kHz).

- Le bruit atmosphérique est considéré avoir une provenance isotrope. C'est pourquoi on utilise une surface de captation isotrope, et pas celle de l'antenne ⁽⁶⁾. En conséquence la puissance du bruit reçu est indépendante du gain de l'antenne, qui augmente par ailleurs la puissance du signal utile, donc le rapport S/B. Ceci est entièrement valable en VHF et au dessus, où le bruit galactique est prépondérant, mais en HF et au dessous, le bruit atmosphérique provient des régions équatoriales et le bruit industriel des grandes agglomérations. Alors une antenne directive (à gain) n'améliore pas le rapport S/B quand elle est dirigée vers ces sources.
- En VHF et au dessus, en transmission terrestre ($K_T = -174 \text{ dBm/Hz}$), un facteur de bruit du récepteur inférieur à 1 dB n'améliore rien. Mais ne pas oublier que le F_b est dégradé par les pertes dans la liaison coaxiale. Dans ce cas, il est nécessaire d'insérer un préamplificateur à la sortie de l'antenne avec un gain limité aux pertes du coaxial plus une dizaine de dB. Au dessus, cela ne sert qu'à augmenter la dégradation de la dynamique de réception ⁽⁷⁾.

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@ref-union.org".

Notes.

- 1) *D'une certaine manière, on pourrait dire que la hauteur efficace d'une antenne caractérise l'efficacité de sa hauteur effective.*
- 2) *Dans le cas d'une liaison spatiale, la formule du calcul de la sensibilité serait fausse. Lire l'article "Bruit thermique et réception" sur le site du radio club (articles F5NB).*
- 3) *Qui n'a pas remarqué l'apparition d'"oiseaux" le soir sur les bandes 40 et 80 m ?*
- 4) *C'est pourquoi on trouve les antennes raccourcies moins bruyantes.*
- 5) *On voit que pour ces bandes, il ne faut pas tester une antenne émission avec la réception du trafic.*
- 6) *Prochain "Comment ça marche" sur la surface de captation.*
- 7) *L'idéal est encore de ne pas avoir de pertes dans la liaison antenne - récepteur.*