

# Comment ça marche ?

## L'IMPEDANCE D'UN MILIEU DE PROPAGATION

Par le radio-club F6KRR

*L'impédance d'un milieu de propagation est une notion assez vague pour la plupart des radioamateurs qui n'en connaissent que la valeur de  $377 \Omega$  qui est l'impédance du vide. Nous allons essayer de débroussailler cette notion.*

### Vecteur de Poynting.

Loin de l'antenne d'émission, l'onde électromagnétique est une onde plane, ce qui veut dire que les vecteurs qui caractérisent l'énergie transportée par l'onde se situent sur un plan et sont en quadrature. La valeur de l'énergie qui traverse une surface de ce plan est donnée par le calcul du flux du vecteur de Poynting qui se résume **dans ce cas là** à :

$$\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \text{ avec :}$$

$\mathbf{P}$  = Flux du vecteur de Poynting en Watts par mètre carré

$\mathbf{E}$  = Champ électrique en Volts par mètre

$\mathbf{H}$  = Champ magnétique en Ampères par mètre

### Impédance du milieu

Le rapport entre la valeur du champ  $\mathbf{E}$  et celle du champ  $\mathbf{H}$  est fonction du milieu de propagation de l'onde, plus exactement, en fonction de sa permittivité ( $\epsilon$ ) et de sa perméabilité ( $\mu$ ). Ce rapport a la dimension d'une résistance (des volts divisés par des ampères) appelée "impédance du milieu". Elle s'obtient en appliquant les lois fondamentales de l'électromagnétisme suivantes :

$$\mathbf{E} = v \cdot \mathbf{B} \text{ avec :}$$

$v$  = vitesse de propagation dans le milieu

$\mathbf{B}$  = induction magnétique en Weber par mètre carré

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H} \text{ avec :}$$

$\mu$  = perméabilité relative du milieu

$\mu_0$  = perméabilité du vide =  $4\pi \cdot 10^{-7}$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \text{ avec :}$$

$c$  = vitesse de la lumière dans le vide =  $3 \cdot 10^8$  m/s

$\epsilon$  = permittivité relative du milieu

$\mu$  = perméabilité relative du milieu

Alors dans le vide ou dans l'air, avec  $\epsilon = 1$  et  $\mu = 1$ , nous obtenons :

$$\mathbf{Z}_m = \mathbf{E} / \mathbf{H} = v \cdot \mu_0 \cdot \mathbf{H} / \mathbf{H},$$

$$\text{donc } \mathbf{Z}_m = 3 \cdot 10^8 \times 4\pi \cdot 10^{-7},$$

alors  $Z_m = 120\pi = 377 \Omega$ .

L'impédance du milieu  $Z_m$  augmente comme la racine de la perméabilité ( $\mu$ ) et diminue comme la racine de la permittivité ( $\epsilon$ ).

Toutes ces formules s'appliquent à des milieux homogènes, sans hystérésis et non conducteurs. Dans ce cas, il n'y a pas d'amortissement de l'onde (pas de pertes). Quand l'onde change de milieu, elle change de vitesse et subit une réfraction (comme pour les rayons lumineux).

Si l'onde passe de l'air à un milieu semi conducteur, comme le sol, il y a à la fois réfraction et réflexion selon un rapport dépendant du coefficient de réflexion du milieu semi conducteur. De plus, il y a amortissement de la partie réfractée de l'onde qui se dissipe en pertes par effet Joule. Nous en avons parlé dans le "Comment ça marche" sur la formation du diagramme de rayonnement <sup>[1]</sup>.

La propagation dans les milieux ionisés à densité variable comme l'ionosphère est encore différente et sa description a été faite dans un autre "Comment ça marche" sur l'ionosphère <sup>[1]</sup>.

### Application à l'antenne.

Nous nous intéresserons à l'antenne de réception considérée comme une source de force électromotrice **f.é.m.** d'impédance interne  $R \pm jX$  avec :

**F.é.m.** en volts

**R** = résistance de rayonnement en ohms.

**X** = réactance de l'antenne en ohms.

La **f.é.m.** est égale au champ **E** multiplié par la hauteur effective **H<sub>EFF</sub>** de l'antenne.

La hauteur effective d'une antenne est fonction de sa géométrie et de son procédé d'alimentation <sup>(1)</sup>.

Voyons maintenant l'effet produit sur l'antenne par un environnement différent de l'air.

- a) milieu avec  $\epsilon > 1$  : Dans ce cas,  $Z_m$  diminue comme  $v$ , donc comme racine de  $\epsilon$ . Alors le champ **E** diminue comme la racine de la diminution de  $Z_m$  et la f.é.m. également <sup>(2)</sup>.
- b) milieu avec  $\mu > 1$  : Dans ce cas  $Z_m$  augmente comme racine de  $\mu$  (car  $v$  diminue comme racine de  $\mu$ ). Alors le champ **E** augmente comme la racine de l'accroissement de  $Z_m$  et la f.é.m. également.

Difficile d'imaginer un fouet noyé dans un bloc de ferrite. Le bénéfice de l'augmentation de  $\mu$  sera mieux exploité avec les boucles <sup>(3)</sup> (ferrite à l'intérieur de la boucle).

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".

### Bibliographie.

[1] Précédents Radio-REF ou sur "[www.blog.f6krk.org](http://www.blog.f6krk.org)", catégorie "Bulletins et Gazettes" puis "Comment ça marche ?".

### Notes.

- 1) Revoir le "Comment ça marche" sur la hauteur effective <sup>[1]</sup>.
- 2) Prenons un exemple en comparant en espace libre un doublet demi onde en fil de cuivre nu avec le même en fil de cuivre gainé d'un isolant HT épais. Du fait de la diminution de la vitesse de propagation le long du fil gainé, celui-ci a une longueur

*réduite de 6% pour garder la résonance, ce qui correspond à un  $\epsilon$  apparent de 1,12. Alors la résistance de rayonnement diminue d'une part de 12% (carré de la diminution de la longueur), et d'autre part comme  $Z_m$  qui diminue de 6%. La résistance de rayonnement diminue alors de 18% et elle est égale à  $73 \times 0,82$ , soit  $\approx 60\Omega$ . L'antenne gainée est donc moins efficace (en l'occurrence, on s'en fiche car cela ne pose pas de problème d'adaptation).*

- 3) *Il s'agit de boucles circulaires ou carrées très petites devant la longueur d'onde et ayant un comportement proche de la boucle élémentaire, encore appelée "doublet magnétique". Développer dans un futur "Comment ça marche".*