

# Comment ça marche ?

## Calcul du champ électrique rayonné

Par le radio-club F6KRRK

*On demande au radioamateur de préciser si la puissance rayonnée par son système antennaire répond aux normes de champ maximum admissible vis-à-vis des tiers (hors du domaine personnel qui peut être très restreint dans le cas d'une habitation collective). Une fois les normes en main, le problème est pour l'OM de calculer le champ électrique rayonné par ses antennes. Le calcul exact est en général très complexe, mais si l'on prend le pire cas, cela reste abordable pour des antennes simples et pour des distances supérieures à la longueur d'onde.*

L'Administration nous demande par ailleurs de donner la Puissance Apparente Rayonnée (P.A.R.) par nos antennes. Nous allons ici décrire une méthode pour calculer le champ électrique d'un dipôle demi onde en ligne, puis nous remplacerons la puissance totale (réelle) rayonnée par la PAR de l'antenne. Ce calcul correspondra à la direction de propagation en espace libre pour laquelle la PAR a été calculée.

### Calcul de la P.A.R.

La PAR est la "Puissance Apparente Rayonnée" comparée à la puissance rayonnée par un dipôle demi onde, pour la même puissance d'alimentation.

La PIRE est la "Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente" comparée à la puissance rayonnée par une antenne isotrope, pour la même puissance d'alimentation.

La PIRE est égale à la puissance d'alimentation multipliée par la directivité.

La PAR est égale à la puissance d'alimentation multipliée par le rapport entre la directivité de l'antenne en question et la directivité du dipôle demi onde.

La directivité peut être exprimée par un gain en décibels qui est égal à  $10 \times \text{Log (D)}$ , (D = directivité).

Exemples concrets pour une puissance d'alimentation de 100 W :

PIRE d'une antenne isotrope :  $100 \times 1 = 100$  W (directivité unité).

PIRE d'un doublet demi onde =  $100 \times 1,64 = 164$  W (D = 1,64 correspond à un gain de 2,15 dBi, ("i" pour une référence à l'antenne isotrope. De même nous aurons un "d" pour une référence au doublet demi onde).

PAR d'un doublet demi onde =  $100 \times (1,64 / 1,64) = 100$  W.

PIRE d'une YAGI 2 él. avec un gain de 7,5 dBi :  $100 \times 10^{0,75} = 562,3$  W

PAR de la même YAGI avec un gain de 5,35 dBd (7,5 – 2,15) :  $100 \times 10^{0,535} = 342,8$  W

### Calcul du champ électrique du doublet demi onde.

#### *Options de calcul.*

Nous calculerons **E** à partir de la formule  $E^2 = W \times R$ , avec :

**E** = champ électrique en volts par mètre,  
**W** = puissance rayonnée par unité de surface (watts par mètre carré) à la distance **r** de l'antenne en mètres,  
**R** = impédance du milieu de propagation en ohms.

### *Calcul de l'impédance du milieu de propagation.*

C'est le rapport entre le champ **E** en volts par mètres et le champ **H** en ampères par mètres. En divisant des volts par des ampères, on obtient des ohms.

A partir des lois de l'électromagnétisme, nous avons les relations suivantes :

$$\mathbf{E} = \nu \cdot \mathbf{B},$$

**B** est l'induction magnétique,

$\nu$  est la vitesse de propagation, soit  $3 \cdot 10^8$  m/s dans l'air.

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu \cdot \mu_0,$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  est la constante de perméabilité du vide,

$\mu = 1$  est le facteur de perméabilité de l'air.

Alors **R** = **E** / **H**, soit :

$$\frac{3 \cdot 10^8 \times \mathbf{B} \times 4\pi \cdot 10^{-7}}{\mathbf{B}} = 120\pi$$

ce qui donne les  $377\Omega$  de l'impédance de l'air.

### *Calcul de la puissance par unité de surface (rayonnement isotrope)*

Il s'agit de la surface d'une sphère qui est égale à  $4\pi \cdot r^2$  (**r** étant le rayon de la sphère) <sup>(1)</sup>.

Donc pour avoir la puissance rayonnée par unité de surface à la distance **r**, il suffit de diviser la puissance totale rayonnée par  $4\pi \cdot r^2$ .

### *Calcul du champ électrique d'une antenne isotrope (espace libre).*

A partir des constantes que nous avons calculées ci-dessus, et en appliquant la formule  $\mathbf{E}^2 = \mathbf{W} \times \mathbf{R}$ , nous obtenons :

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \sqrt{\frac{\mathbf{W}}{4\pi \cdot r^2}} \times 120\pi = \sqrt{\frac{30 \times \mathbf{W}}{r^2}} \\ &= \frac{\sqrt{30 \times \mathbf{W}}}{r} = \frac{5,478}{r} \times \sqrt{\mathbf{W}} \end{aligned}$$

Dans laquelle **W** est la puissance fournie à l'antenne isotrope (rendement 100%).

### *Calcul du champ électrique d'un doublet demi onde (espace libre).*

Il suffit de multiplier le champ **E** calculé pour l'antenne isotrope par la racine carrée de la directivité du doublet demi onde (la directivité s'exprime en rapport de puissances) <sup>(2)</sup>. Nous obtenons :

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \sqrt{\frac{\mathbf{W} \times 1,64}{4\pi \cdot r^2}} \times 120\pi = \sqrt{\frac{49 \times \mathbf{W}}{r^2}} \\ &= \frac{\sqrt{49 \times \mathbf{W}}}{r} = \frac{7}{r} \times \sqrt{\mathbf{W}} \end{aligned}$$

Dans laquelle **1,64** est la directivité et **W** est la puissance fournie au dipôle demi onde (rendement 100%).

### ***Calcul du champ électrique de son antenne (espace libre).***

Il suffit d'appliquer la formule du doublet demi onde en remplaçant la puissance fournie au doublet par la P.A.R. de son antenne, calculée à partir de son gain en dBd. Nous avons à une distance de 20 m avec notre YAGI et son gain de 5,35 dBd (PAR de 342,8 W) :

$$E = \frac{7}{20} \times \sqrt{342,8} = 6,48 \text{ V/m}$$

Il s'agit du champ dans la direction où a été mesuré la directivité (ici, gain maxi dans l'axe du boom de l'antenne). Noter que nous sommes restés en espace libre et que l'on a négligé le champ réactif (champ proche). Avec une distance inférieure à la longueur d'onde, nous ne pourrions plus le faire.

**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) La puissance totale rayonnée s'obtient en intégrant le flux du vecteur de Poynting sur la surface d'une sphère passant par le point de mesure et ayant comme centre l'antenne d'émission. Cette puissance est constante et indépendante de la distance de mesure. Elle est égale à la puissance consommée par l'antenne (rendement 100%). Mais si nous considérons la puissance par unité de surface, celle-ci diminue en  $1/r^2$ , donc le champ électrique diminue en  $1/r$  ( $r$ =distance émetteur-récepteur).*
- (2) Le calcul est simplifié, car nous connaissons la directivité du doublet demi onde. Sinon, il faudrait calculer directement le champ  $E$  maxi rayonné par le doublet. Ensuite en faisant le rapport (au carré) des champs  $E$  entre lui et l'antenne isotrope, nous obtiendrions la directivité (il a bien fallu le faire, au moins une fois).*