

Comment ça marche ?

Gain d'un groupement d'antennes

Par le radio-club F6KRR

L'autre soir au radio-club un OM a demandé comment l'on calculait le gain d'un groupement de deux antennes ayant des gains différents. Lors de la démonstration au tableau, on s'est dit que cela ferait un bon sujet pour un "Comment ça marche" et qu'il pourrait même être intercalé dans la longue série sur les circuits réactifs qui reprendront le mois prochain avec le filtrage.

Quelques définitions.

C'est l'occasion de rappeler quelques fondamentaux que nous avons déjà vus dans des précédents "Comment ça marche" ⁽¹⁾.

Vecteur de Poynting.

Le vecteur de Poynting mesure la densité du flux électromagnétique par unité de surface. Pour une onde plane, nous avons $\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ avec \mathbf{P} (module du vecteur de Poynting) en W/m^2 , \mathbf{E} (module du champ électrique) en V/m et \mathbf{H} (module du champ magnétique) en A/m . Par ailleurs, nous avons $\mathbf{E} = \mathbf{H} \times \mathbf{R}$ avec \mathbf{R} = constante de l'impédance du milieu de propagation, soit 377Ω pour l'air. Alors $\mathbf{P} = \mathbf{E}^2 / \mathbf{R}$ et \mathbf{E} est proportionnel à la racine carrée de \mathbf{P} . Dans un milieu comme l'air, la connaissance du champ \mathbf{E} suffit à déterminer le vecteur de Poynting, donc la puissance.

Composition des champs.

En présence de plusieurs champs électromagnétiques en phase, les vecteurs \mathbf{E} se combinent selon leur direction dans l'espace. S'ils ont même direction, le module du champ \mathbf{E} résultant est la somme des modules de chacun des champs \mathbf{E} . Nous utiliserons donc le champ \mathbf{E} pour nos calculs.

Directivité.

La directivité \mathbf{D} d'une antenne est le rapport entre la puissance rayonnée par l'antenne dans la direction du maximum et la puissance qui serait rayonnée par une antenne isotrope dans cette même direction (\mathbf{P} alimentation = constante). En conséquence, la variation du champ \mathbf{E} est proportionnelle à la racine carrée de la variation de la directivité \mathbf{D} .

Gain isotrope.

Le gain isotrope en **dBi** d'une antenne (si rendement = 100%, hypothèse que nous prendrons pour la suite), est égal à : $\mathbf{G} = 10 \cdot \text{Log}(\mathbf{D})$. Alors la directivité est égale à : $\mathbf{D} = 10^{(\mathbf{G}/10)}$.

PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)

Elle est égale à la puissance fournie à l'antenne multipliée par la directivité \mathbf{D} . C'est la puissance à prendre en compte pour le calcul du vecteur de Poynting à la réception.

Puissance disponible (à la réception)

La puissance disponible à la réception est égale au vecteur de Poynting multiplié par la surface de captation de l'antenne. Celle-ci est égale à la surface de captation isotrope multipliée par la directivité \mathbf{D} du système antennaire. La surface de captation isotrope ne dépend que de la longueur d'onde (indépendante de l'antenne).

Nous voyons que la directivité intervient comme facteur aussi bien en émission (PIRE) qu'en réception (puissance disponible).

Groupement d'antennes.

Hypothèses et données de départ :

- Radiateurs dans le même plan
- Même direction de rayonnement maxi
- Pas de pertes dans le système d'alimentation
- Pas de couplages aériens significatifs entre les antennes
- Soit $P = 1W$ la puissance fournie au système et P_n la puissance effectivement rayonnée par chaque antenne.
- Soit E_P le champ E déterminé par le vecteur de Poynting
- Pour chaque antenne, la fraction du champ E_P est proportionnelle à la racine carrée de la fraction de la puissance totale rayonnée par cette antenne.
- Soit D_T la directivité du système et D_n la directivité de chaque antenne.
- Soit E_T le champ E du système. Il est égal à E_P multiplié par la racine carrée de D_T . L'augmentation de la directivité est proportionnelle au carré de l'augmentation du champ E .

Nous obtenons les formules générales suivantes :

$$E_T = E_P \times [(\sqrt{P_1} \times \sqrt{D_1}) + \dots + (\sqrt{P_n} \times \sqrt{D_n})]$$

$$\text{Et } D_T = [(\sqrt{P_1} \times \sqrt{D_1}) + \dots + (\sqrt{P_n} \times \sqrt{D_n})]^2$$

Alors gain de l'ensemble : $G_T = 10 \times \text{Log}(D_T)$

Exemple 1.

Nous avons sur la figure 1 le schéma d'un système composé de deux antennes alimentées en parallèle ayant des impédances et des gains différents.

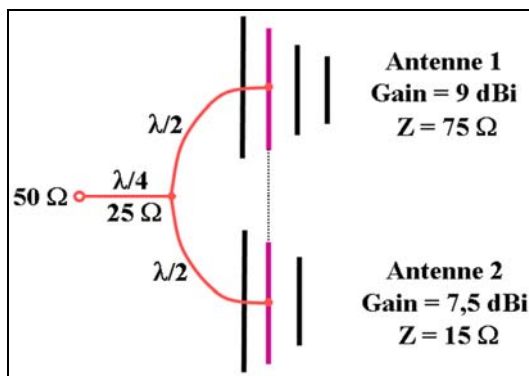


Figure 1

Nous obtenons :

$$\text{Directivité antenne 1} = 10^{0.9} = 7,94$$

$$\text{Directivité antenne 2} = 10^{0.75} = 5,62$$

La tension étant commune aux deux antennes, leur puissance rayonnée sera inversement proportionnelle à leur résistance.

Résistance totale :

$$75\Omega // 15\Omega = 12,5 \Omega.$$

Puissance dans l'antenne 1 :

$$P_1 = 1W \times 12,5 / 75 = \mathbf{0,167 W}$$

Puissance dans l'antenne 2 :

$$P_2 = 1W \times 12,5 / 15 = \mathbf{0,833 W}$$

Directivité D_T de l'ensemble :

$$\left[(\sqrt{0,167} \times \sqrt{7,94}) + (\sqrt{0,833} \times \sqrt{5,62}) \right]^2$$

Soit $D_T = 11$ et $G_T = 10\text{Log}(11) = 10,41 \text{ dBi}$, donc 1,41 dB de plus que l'antenne 1 seule.

Exemple 2.

Nous avons sur la figure 2 le même système antennaire que celui de l'exemple 1, mais les deux antennes ont des impédances identiques.

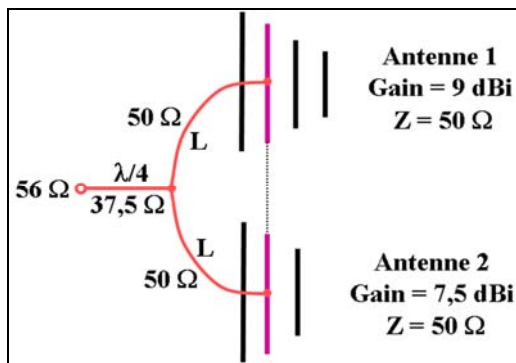


Figure 2

Dans ce cas particulier, mais que l'on rencontre couramment, toutes les antennes rayonnent la même puissance et la formule donnant la directivité totale se simplifie énormément car elle se ramène finalement à la somme des directivités de toutes les antennes. Ainsi dans notre exemple, nous obtenons :

$D_T = 7,94 + 5,62 = 13,56$ et $G_T = 10.\text{Log}(13,56) = 11,32 \text{ dBi}$, soit 2,32 dB de plus que l'antenne 1 seule.

Dans le cas de deux antennes, pour éviter de faire la double conversion entre la directivité et le gain, on peut se servir de l'abaque de la figure 3 qui permet d'avoir le gain total en dB directement à partir des gains des antennes en dB également.

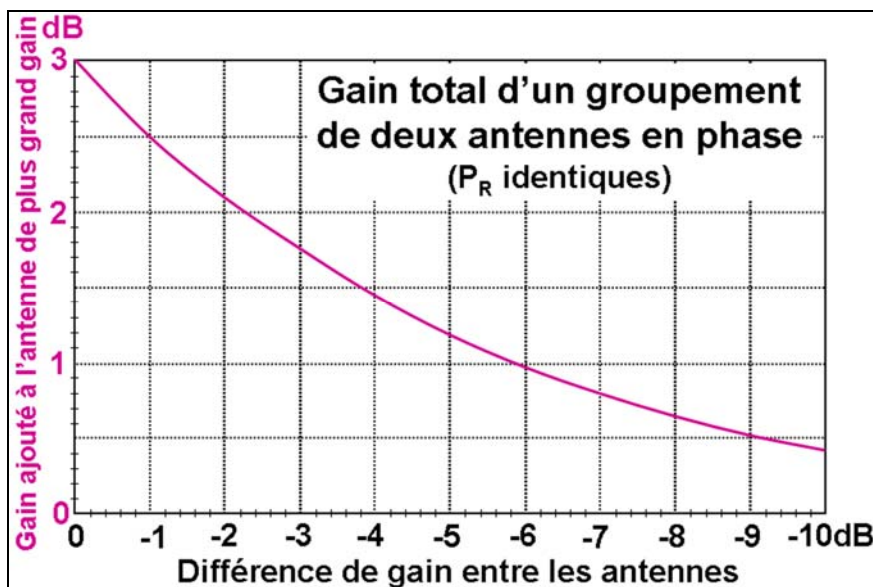


Figure 3

Dans notre exemple, la différence de gain est de 1,5 dB. On lit sur l'abaque que cela correspond à une augmentation de gain de 2,3 dB, à ajouter aux 9 dBi pour avoir un gain total de 11,3 dBi.

Cet abaque est aussi valable pour l'ajout de deux puissances exprimées en dBm comme le bruit. Par exemple, soit un bruit ajouté de -165 dBm à un bruit de -162 dBm (différence 3 dB). L'abaque nous dit qu'il faut ajouter environ 1,75 dB au bruit le plus élevé, soit -162 dBm + 1,75 dB = -160,25 dBm de bruit total.

Lorsque l'on veut ajouter plusieurs puissances ou plusieurs gains, on procède par combinaisons binaires progressives. Exemple :

- $G_A = G_1$ et G_2
- $G_B = G_A$ et G_3
- $G_C = G_B$ et G_4
- etc.

Et pour finir, voici un tableau donnant le gain apporté par un groupement de n antennes identiques :

n	2	3	4	5	6	7	8
$+\Delta\text{Gain}$ dB	3	4,77	6	6,99	7,78	8,45	9

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) Relire les "Comment ça marche" suivants : septembre 2011 "Electromagnétisme"; octobre 2011 "Ondes hertziennes"; novembre 2011 "Rayonnement de l'antenne"; décembre 2011 "Le vecteur de Poynting"; mai 2011 "Hauteur effective d'une antenne"; juin 2011 : "Hauteur efficace d'une antenne"; juillet 2011 "Surface de captation d'une antenne".