

Comment ça marche ?

Formation du diagramme de rayonnement

La théorie des images (2)

Par le radio-club F6KRK

Dans le précédent "comment ça marche", nous avons vu la théorie des images appliquée à une antenne en polarisation horizontale. Qu'en est-il pour la polarisation verticale ?

Monopôle vertical au sol.

Prenons un monopôle, très court devant λ , disposé verticalement au ras d'un sol parfaitement conducteur et de surface infinie. Examinons son rayonnement sur la figure 1.

Monopôle vertical court ($l \ll \lambda$) Propagation par onde de sol

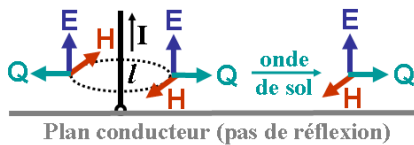


Figure 1.

Le vecteur de Poynting étant parallèle au plan conducteur, il n'y a pas réflexion de l'onde, elle chemine le long du plan. Si celui-ci s'incurve, l'onde le suit. C'est ainsi que se propagent, bien au-delà de l'horizon, les ondes de longueurs hectométriques et au dessus. Mais attention, la propagation par onde de sol n'a lieu que pour des antennes au sol et en polarisation verticale.

Gain et directivité (polarisation verticale)

Pour un même courant, le vecteur de Poynting (parallèle au plan) est deux fois plus important pour un monopôle de longueur l sur plan réflecteur, par rapport à un dipôle de $2l$ en espace libre (gain de 3dBd). En conséquence, la résistance de rayonnement du monopôle l est deux fois plus faible que celle du dipôle $2l$. Or sa longueur étant deux fois plus courte, sa résistance de rayonnement devrait être quatre fois plus faible. Tout s'explique en faisant appel à la théorie des images et à l'impédance mutuelle. Nous obtenons la figure 2.

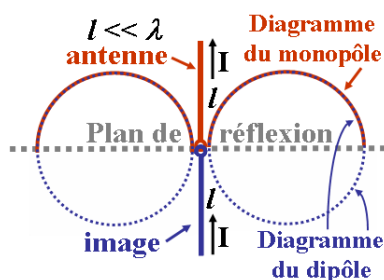


Figure 2.

Noter que le courant dans l'antenne image a le même sens que celui de l'antenne réelle. Electriquement, on conçoit bien que la résistance de rayonnement du monopôle l soit la moitié de celle du dipôle $2l$. Pour $l \ll \lambda$, la **proximité immédiate** du plan réflecteur a pour effet d'ajouter à la résistance de rayonnement en espace libre une impédance mutuelle de valeur identique. La directivité verticale est la même que celle du doublet, sauf qu'elle n'occupe qu'une moitié de l'espace, demi espace seul à l'origine du gain de 3 dB.

Dipôle vertical au sol ($l \ll \lambda$)

Si nous remplaçons notre monopôle de longueur l par un dipôle de longueur totale l , sa résistance de rayonnement sera exactement la même, ainsi que son gain et son diagramme de rayonnement. Donc la résistance de rayonnement d'un dipôle vertical court devant λ double lorsqu'il est très proche du sol.

Dipôle vertical éloigné du sol.

Dans ce cas, nous avons une onde directe et une onde réfléchie qui vont se combiner pour former le diagramme vertical. Servons nous de la théorie des images, comme montré sur la figure 3 (à comparer à la fig.4 du précédent "comment ça marche").

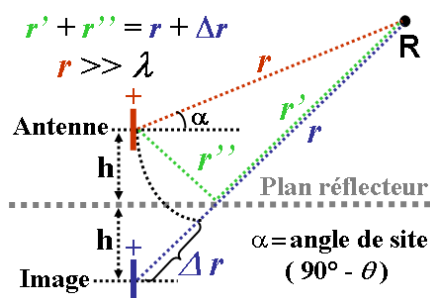


Figure 3.

Les courants de même sens dans l'antenne et dans l'image impliquent que la réflexion d'une onde verticale sur un plan parfaitement conducteur se fasse sans déphasage (en réalité celui-ci est de 360°). Dans le cas d'un sol réel, les choses sont plus complexes et nous en reparlerons dans un prochain "comment ça marche".

En comparant les deux figures, pour les deux polarisations, on remarquera que pour une même hauteur h , lorsque les champs s'ajoutent pour une certaine polarisation, ils se retranchent pour l'autre. En conséquence, les maxima du diagramme de rayonnement vertical de l'une correspondent aux minima de l'autre. Nous obtenons ainsi les diagrammes de la figure 4.

Diagrammes verticaux {
 Polarisation Horizontale
 — Polarisation Verticale

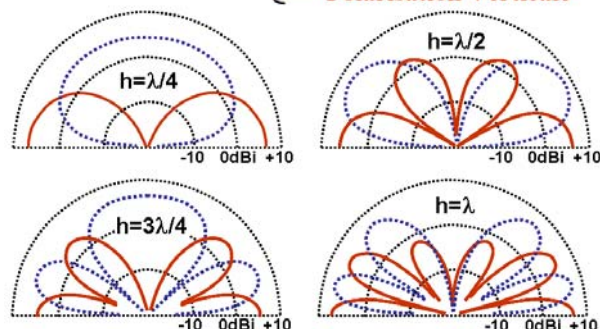


Figure 4.

Noter que le gain du système a augmenté par rapport au gain du doublet au sol pour rejoindre celui du doublet horizontal. Nous avons sur la figure 5 l'allure du gain par rapport à la hauteur du milieu du doublet.

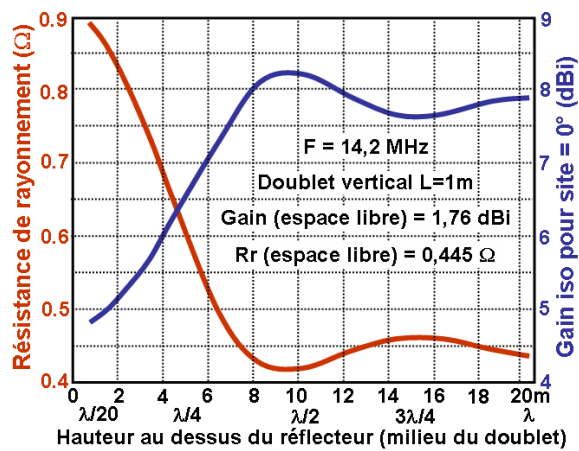


Figure 5.

Nous voyons qu'il y a une corrélation directe entre le gain et la résistance de rayonnement. C'est parfaitement compréhensible : la réflexion augmente la directivité (lobes plus étroits), alors la résistance de rayonnement diminue (moins de puissance rayonnée et consommée pour le même courant dans le dipôle) et le gain est égal à la directivité multipliée par le rendement.

Important : tous ces diagrammes concernent un dipôle très court ($\lambda/20$) au dessus d'un sol idéal. Nous étudierons le cas du dipôle demi onde avec un sol réel dans les prochains "Comment ça marche".

Polarisation oblique.

On part du principe qu'un système antenne à polarisation oblique est la combinaison de deux systèmes, l'un à polarisation Horizontale et l'autre à polarisation Verticale. Pour calculer les diagrammes, on projette les vecteurs "courant" ⁽¹⁾ circulant dans l'antenne sur les axes H et V puis on les additionne pour chaque axe (chaque polar). On détermine également par projection la hauteur effective ⁽²⁾ correspondant à chaque axe. On peut alors calculer les puissances rayonnées en polar H et en polar V. En fonction des conditions de réflexion, on fabrique les deux diagrammes, puis on les additionne pour avoir le diagramme complet. Cela semble complexe, mais ça se simplifie beaucoup si l'on prend deux systèmes antenaires bien connus des radioamateurs : le dipôle demi onde incliné à 45° , et un monopôle vertical quart d'onde avec un radian horizontal quart d'onde également. Nous avons sur la figure 6 l'exemple du dipôle incliné à 45° .

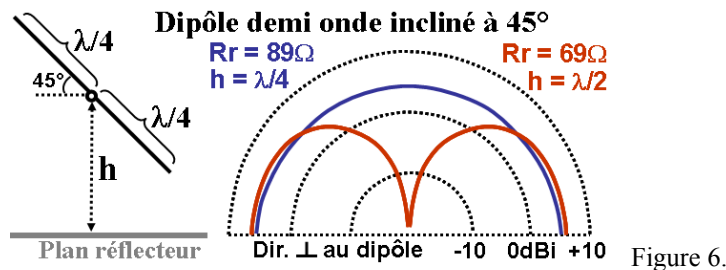


Figure 6.

Venons en maintenant au grand classique radioamateur : monopôle vertical quart d'onde avec radian quart d'onde horizontal. Ce système est connu comme une "antenne verticale", mais c'est rarement le cas. Examinons la figure 7.

Monopôle vertical avec un radian horizontal

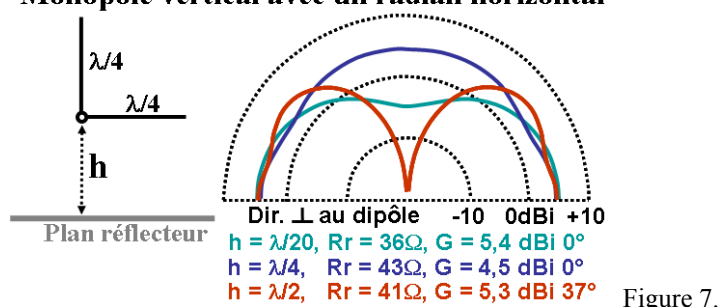


Figure 7.

On remarquera que dès que l'on s'éloigne du sol, le radian se met à rayonner significativement. Noter également que le diagramme horizontal est modifié, c'est pourquoi la direction H est spécifiée sur la figure 7 (maxi des lobes H).

Tous ces diagrammes concernent un sol idéal, loin de la réalité. Ils ne sont donnés que pour comprendre les principes de base. Dans le prochain "comment ça marche", nous verrons ce que tout cela devient avec différents sols réels.

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) On découpe l'aérien en segments que l'on considère rectilignes et parcourus par un courant constant.
- 2) Revoir un précédent "comment ça marche" entièrement consacré à la hauteur effective.