

1) Principe des Images

Le principe des Images permet de tenir en compte de la présence du Sol au voisinage d'une Antenne.

Le champ produit en un point P de l'espace par une source "S" située à une hauteur h_0 au dessus du Sol est le même que celui qui serait produit par cette source (en l'absence du sol) et une source S' symétrique de "S", appelée source Image. Le champ rayonné par S' était affecté d'un facteur de pondération égal au coefficient de réflexion sur le sol.

Dans le cas d'une surface plane parfaitement conductrice, le coefficient est égal à -1 \Rightarrow la phase de S' est opposée à celle de S comme le montre la figure suivante :

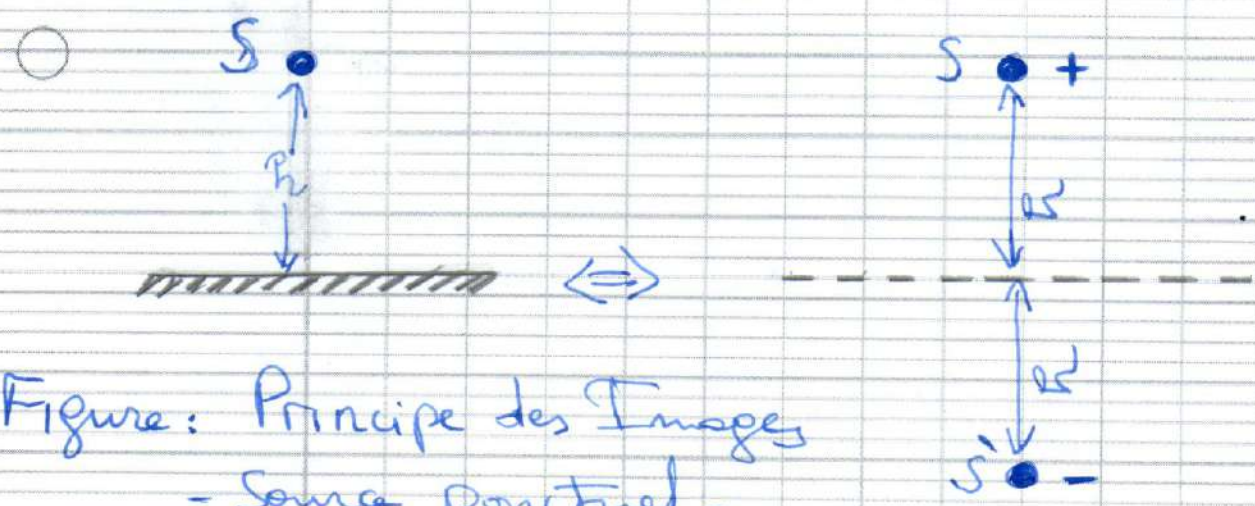


Figure: Principe des Images - Source ponctuelle.

2) Le champ rayonné par une antenne AB oblique au dessus d'un plan métallique est le même que le champ rayonné (en l'absence du plan métallique) par cette même antenne AB et l'antenne symétrique A'B' à condition de considérer que les courants en un point Q de l'antenne AB et en un point Q' de l'antenne A'B' sont en sens inverses, comme le montre la figure suivante.

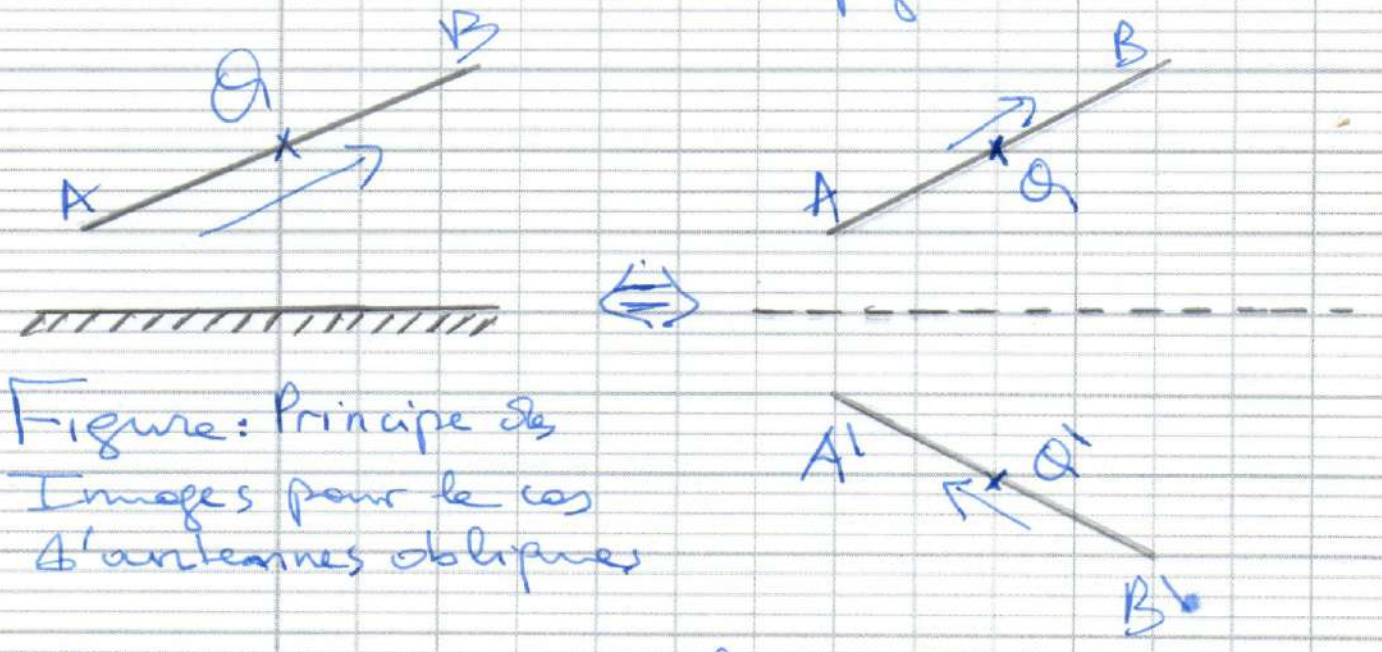


Figure: Principe des Images pour le cas d'antennes obliques

à partir de cette figure, on peut déduire les modélisations correspondantes aux cas d'une antenne verticale ou d'une antenne horizontale comme le montre les deux figures qui suivent :

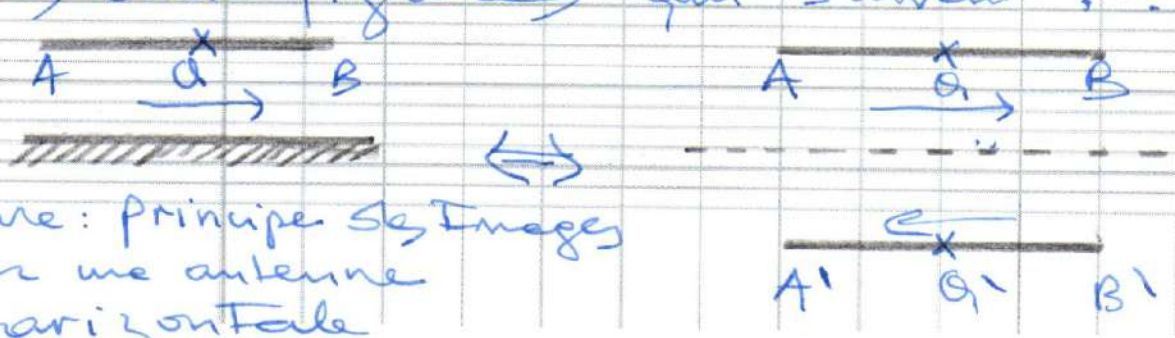


Figure: Principe des Images pour une antenne horizontale

3) La figure suivante montre le cas d'une antenne verticale.



Figure: Principe des Images pour le cas d'une antenne verticale.

Le principe des Images est très utile. Ainsi le rayonnement d'un dipôle isolé dans l'espace, de longueur l sur lequel on montre la distribution du courant ($l/4 < l < l/2$) est de même que le rayonnement d'un monopôle de longueur l situé verticalement au dessus d'un plan conducteur.

Ceci correspond au cas des antennes utilisées sur les automobiles :



Figure: Principe des Images pour un monopôle.

4) Rayonnement d'un dipôle en présence d'un plan métallique

Dans ce qui suit, nous allons calculer le champ rayonné en un point "P" par un dipôle placé en S à une hauteur h au dessus d'un plan métallique

La figure suivante montre le principe

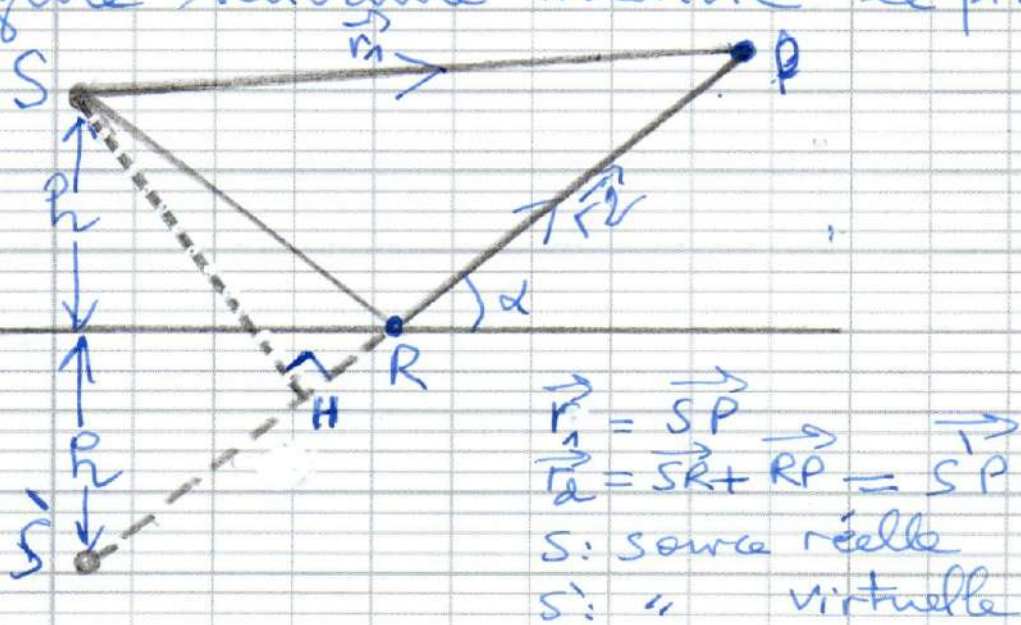


Figure: Géométrie du problème

Nous allons traiter le cas d'un doublet dont le FCR est plus simple que

celle des dipôles d'on $1/2$. Pour se faire, nous considérons 3 cas.

1. Doublet perpendiculaire au plan de la figure

Dans ce cas, le DR est omnidirectionnel
 Sa FCR est égale à 1.

Le champ total $\vec{E}(P)$ est la somme de 2 composantes.

5) * de champ $\underline{E}_1(P)$ $\Delta \hat{u}$ à la source S
selon le parcours $\vec{SP} = \vec{r}_1$. Il est donné par:

$$\underline{E}_1 = \underline{V}_0 \frac{e^{-k r_1}}{r_1} = \underline{E}_0 e^{-j k r_1}$$

* de champ $\underline{E}_2(P)$ $\Delta \hat{u}$ à la source S'
selon le parcours $\vec{S'P} = \vec{r}_2$. Il est donné par:

$$\underline{E}_2 = -\underline{V}_0 \frac{e^{-j k r_2}}{r_2}$$

le champ total \vec{r}_2 est donc donné par:

$$\underline{E}(P) = \underline{E}_1 \left[1 - \frac{r_1}{r_2} e^{-j k (r_2 - r_1)} \right]$$

En zone lointaine, on peut considérer
que $SP \parallel S'P$, alors:

$$r_2 = r_1 + S'H = r_1 + 2h \sin \alpha$$

$$\text{d'où: } \frac{r_1}{r_2} = 1 - \frac{2h}{r_2} \sin \alpha \approx 1$$

Dans ces conditions:

$$\begin{aligned} \underline{E}(P) &= \underline{E}_1 \left[1 - e^{-j k 2h \sin \alpha} \right] \\ &= \underline{E}_1 e^{-j k h \sin \alpha} \left[e^{j k h \sin \alpha} - e^{-j k h \sin \alpha} \right] \\ &= 2j \underline{E}_0 e^{-j k r_1} e^{-j k h \sin \alpha} \sin(k h \sin \alpha) \end{aligned}$$

En module, $E(P)$ est donné par:

$$E(P) = 2E_0 \left| \sin\left(\frac{2\pi h}{\lambda} \sin \alpha\right) \right|$$

⇒ Dans la direction du plan métallique
($\alpha = 0$); nous avons:

$$E = 0.$$

⇒ Dans la direction perpendiculaire au plan
métallique ($\alpha = \pi/2$); nous avons:

$$6) \quad E = 2E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h}{\lambda} \right) \right|$$

Si $h = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \Rightarrow E = 2E_0$: le champ est doublé par la présence du plan métallique

Si $h = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow E = 0$: le champ est annulé par la présence du plan métallique

\rightarrow Dans la direction oblique ($0 < \alpha < \pi/2$):

○ - Il y a des maxima pour:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} \sin \alpha = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

soit pour $\sin \alpha = (2n+1)\frac{\lambda}{4h} \leq 1$

$$\text{Donc: } \alpha_m = \arcsin \left[(2n+1)\frac{\lambda}{4h} \right]$$

- Il y a des minima pour:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} \sin \alpha = m\pi$$

soit pour $\sin \alpha = \frac{m\lambda}{2h} \leq 1$

$$\text{Donc: } \alpha_m = \arcsin \left(\frac{m\lambda}{2h} \right)$$

2 - Doublet dans le plan de la figure et parallèle au plan métallique

Dans ce cas, le FCR est égale à $\sin \alpha$ puisque la direction d'observation

○ fait un angle α avec la direction du doublet. Les calculs précédents

restent valables à condition d'affecter les champs d'un facteur $\sin \alpha$. Le champ

$E(P)$ (situé dans le plan de la figure et $\perp SP \parallel S'P$) est donné par:

$$E = 2E_0 \left| \sin \left(\frac{2\pi h}{\lambda} \sin \alpha \right) \right| \sin \alpha$$

7) La présence de $\sin \alpha$ ne change rien aux résultats précédents dans les directions $\alpha = 0$ et $\alpha = \pi/2$. Elle introduit un facteur de pondération dans les directions obliques.

3. Doublet dans le plan de la figure et perpendiculaire au plan métallique.

Dans ce cas, le FCR est égale à $\cos \alpha = \sin(\pi/2 - \alpha)$ puisque la direction d'observation fait un angle $\pi/2 - \alpha$ avec la direction du doublet. Il faut affecter les calculs du 1^{er} cas par un facteur $\cos \alpha$. Il est à noter que la source image est en phase avec la source réelle (dans ce cas bien sûr).

Le champ $\underline{E}(P)$ est donné par :

$$\underline{E}(P) = \underline{E}_1 \left[1 + \frac{\eta_1}{\eta_2} e^{-jk(r_2 - r_1)} \right] \cos \alpha$$

En zone lointaine, le champ est donné (par son module) :

$$E(P) = 2E_0 \left| \cos \left(\frac{2\pi h \sin \alpha}{\lambda} \right) \right| \cos \alpha$$

⇒ Dans la direction du plan métallique ($\alpha = 0$) ⇒ $E = 2E_0$: le champ est maximum $\forall h$.

⇒ Dans la direction \perp au plan métallique ($\alpha = \pi/2$) ⇒ $E = 0$: le champ est annulé $\forall h$.

8) \Rightarrow Dans les directions obliques ($0 < \alpha < \pi h$)
les résultats sont inversés par rapport au
2^{ème} cas.

Nous avons donc des maxima relatifs
pour $(2\pi h/d) \sin \alpha = m\pi$ et des minima
pour $(2\pi h/d) \sin \alpha = (2n+1)\pi/2$.