

Comment ça marche ?

Formation du diagramme de rayonnement

Réflexion sur un sol réel (2)

Par le radio-club F6KRK

Dans le précédent "Comment ça marche", nous avons vu l'influence d'un sol réel sur la formation du diagramme vertical d'une antenne en polarisation horizontale. Qu'en est-il avec une antenne en polarisation verticale ?

Lois de la réfraction et de la réflexion.

Elles sont rappelées sur le graphe de la figure 1.

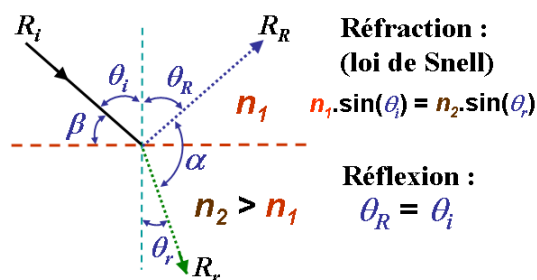


Figure 1.

Coefficient de réflexion (rappel).

Le coefficient de réflexion est qualifié par deux paramètres :

- son module ρ allant de 0 à 1. Il exprime le rapport entre l'énergie de l'onde réfléchie et celle de l'onde incidente.
- sa phase ψ allant de 180 à 360°. Elle exprime le déphasage (retard) de l'onde réfléchie par rapport à l'onde incidente.

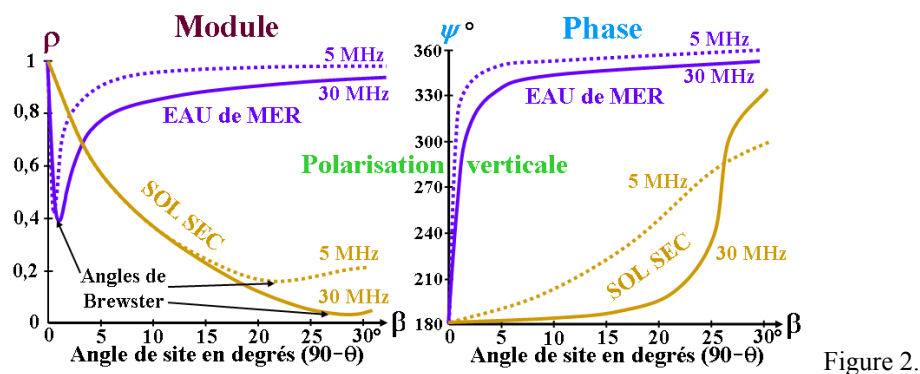
L'onde qui n'est pas réfléchie est réfractée et dissipée dans le sol.

Cas de l'onde à polarisation verticale.

Dans les précédents "Comment ça marche", nous avons vu qu'avec une onde polarisée horizontalement, le module du coefficient de réflexion était proche de 1 et la phase proche de 180° pour tous les types de sols courants. Pour une onde polarisée verticalement et réfléchie par un sol parfaitement conducteur, le module du coefficient de réflexion était égal à 1 et la phase égale à 360°. Avec un sol réel, les choses se dégradent sérieusement à cause de "l'angle de Brewster".

L'angle de Brewster.

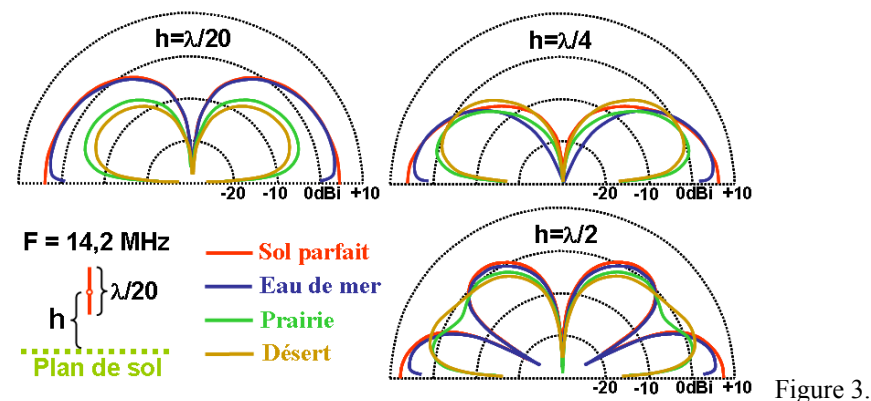
Sur la figure 1, nous voyons apparaître l'angle α que font entre eux les rayons réfléchis et réfractés. L'angle de Brewster est l'angle θ_i pour lequel $\alpha = 90^\circ$. Il est égal à $\text{Arc Tan}(n_2/n_1)$. Il ne joue un rôle que pour une onde incidente polarisée verticalement (vecteur polarisant E perpendiculaire à la surface de réflexion). Alors, pour l'angle de Brewster, le module du coefficient de réflexion s'annule en remontant plus ou moins rapidement vers 1 de part et d'autre de cet angle. La phase du coefficient de réflexion passe plus ou moins rapidement de 360° à 180° en fonction de l'angle incident (les variations dépendent des caractéristiques du milieu de réflexion pour la fréquence de l'onde). Nous avons sur la figure 2 les variations du coefficient de réflexion pour la bande HF en fonction de deux sols de qualités "extrêmes".



Conséquence sur le diagramme de rayonnement vertical.

Pour de faibles angles de départ (axe β), θ est supérieur à l'angle de Brewster, l'onde réfléchie a un déphasage proche de 180° avec un coefficient de réflexion proche de 1. Les ondes directes et réfléchies ont tendance à s'annuler (comme pour la polarisation H).

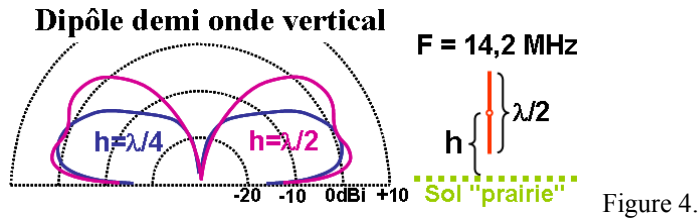
Pour des angles de départ tels que θ est inférieur à l'angle de Brewster, le déphasage se rapproche de 360° et le coefficient remonte vers 1. Les ondes directes et réfléchies ont tendance à s'additionner. Nous avons sur la figure 3 les diagrammes verticaux d'un dipôle court ($\lambda/20$) pour quatre qualités de sol et pour trois hauteurs au dessus de celui-ci.



Sachant que le gain d'un dipôle $\lambda/20$ en espace libre est de 1,8 dBi, nous voyons qu'il faut le "monter" à plus de $\lambda/2$ pour espérer avoir un gain de réflexion avec un sol standard. Quand le dipôle est très près du sol, les pertes par pénétration du champ réactif dans celui-ci sont élevées et le gain s'effondre.

Cas du dipôle demi onde

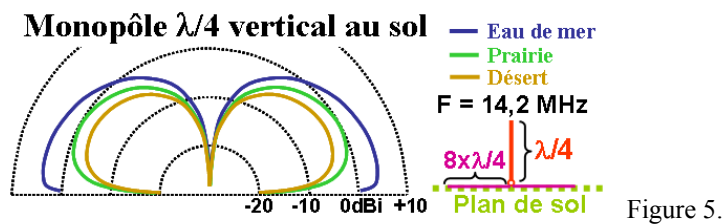
Avec un dipôle demi onde, h est forcément supérieur au quart d'onde. Nous avons sur la figure 4 les diagrammes V pour un sol moyen et des hauteurs de $0,29$ et $0,5 \lambda$ (aux ventres de courant).



Ces diagrammes sont à comparer avec ceux du même dipôle en polarisation H à la même hauteur.

Cas du monopôle quart d'onde au sol

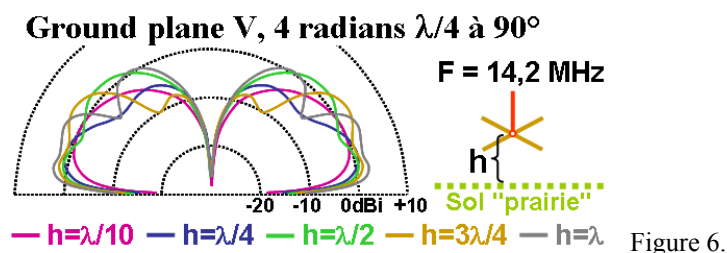
Nous prendrons une installation avec un contrepois formé de huit radians quart d'onde à la surface du sol (ou faiblement enterrés). Les diagrammes verticaux pour trois types de sol sont sur la figure 5.



Ce n'est pas aussi catastrophique qu'avec un dipôle très raccourci, mais à part l'eau de mer, nous sommes loin des belles "images" théoriques qui supposent un sol parfaitement conducteur.

Cas de la "ground plane"

La "ground plane" est constituée d'un monopôle vertical quart d'onde et d'un contrepois horizontal non rayonnant. Celui-ci est obtenu avec un minimum de deux radians quart d'onde à 180° , ou trois radians à 120° ou quatre radians à 90° , etc. Si les radians sont inclinés, ils rayonnent en polar V, et à la limite, nous obtenons un dipôle demi onde vertical. Si le système est très proche du sol, les diagrammes sont les mêmes que ceux de la figure 5. Nous avons sur la figure 6 les diagrammes pour des hauteurs de $\lambda/10$, $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ et λ au dessus d'un sol type "prairie".



Au dessus de $\lambda/2$, les diagrammes et les gains sont pratiquement ceux d'un dipôle demi onde vertical.

Pour conclure avec la polarisation verticale, on peut espérer au mieux avoir un gain de réflexion inférieur de 5 dB à celui de la polarisation horizontale. Toutefois, pour une hauteur supérieure à $\lambda/4$ au dessus d'un sol moyen, les deux polarisations font à peu près jeu égal pour des angles de départ d'une dizaine de degrés (grand DX). Pour des antennes non orientables, la polarisation verticale a en plus le mérite d'être omnidirectionnelle dans le plan H. Dans le prochain "Comment ça marche", nous verrons les diagrammes des systèmes antennaires à polarisation mixte.

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".