

## Le diagramme de rayonnement des antennes. (par ON5HQ)

Lorsque l'on installe une antenne, on pense bien sûr à la façon la plus correcte de l'alimenter, du respect des impédances, de sa symétrie, du choix de la ligne, ..... Mais, bien que la littérature en parle abondamment, on n'accorde que très peu d'attention au diagramme de rayonnement de nos antennes HF !! (excepté les directives bien entendu ou l'OM les choisit spécialement pour leurs diagrammes de rayonnement, et qui ne feront pas partie de cet exposé).

Les diagrammes de rayonnement présentés dans la littérature concernent l'antenne installée dans des conditions idéales, avec un sol parfait ou en espace libre)

Dans une antenne, tout est à considérer, mais tout n'est pas toujours « maîtrisable » selon ses désirs, et c'est le cas du diagramme de rayonnement des antennes filaires utilisées en bandes basses HF (et tout particulièrement les 80 et 40 m).

Mais d'abord, il faut savoir ce que l'on veut effectuer : du trafic local ou DX ??, et qui vous orientera dans le choix de l'antenne.

Pourquoi dit-t-on que l'antenne à polarisation verticale (ground plane par exemple) est une antenne faite pour le DX ??; la hauteur d'une antenne au-dessus du sol influence-t-elle le diagramme de rayonnement ??; ... autant de questions auxquelles il est bon de répondre.

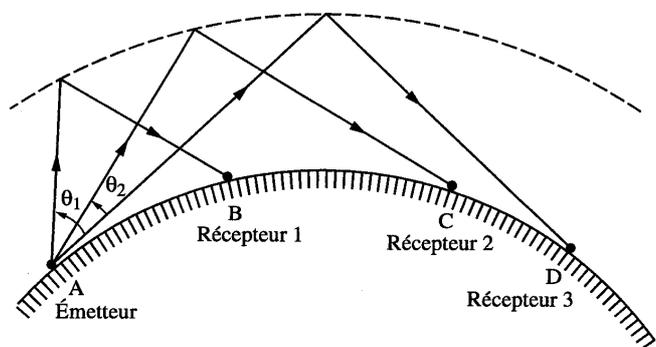
Croire qu'il ne faut pas y accorder de l'importance est une erreur, car même si on n'est pas toujours maître du diagramme de rayonnement, à cause (parfois) du mauvais dégagement de nos antennes (présence de sources de réflexions parasites) et à la hauteur voulue, il existe quand même des erreurs de choix d'antenne en fonction du trafic que l'on désire réaliser, et cela à cause précisément du diagramme de rayonnement.

Une petite mise au point s'impose, car trop souvent entendu sur l'air les propos suivants : mon antenne (ou cette antenne) a un bon « rendement » !!! Je vais vous mettre à l'aise de suite : c'est que, en général, vous n'en savez rien !!! car, d'abord il y a une confusion importante entre efficacité, liée au diagramme de rayonnement et rendement, et ensuite rarement une mesure a été faite pour se rendre compte du « bon rendement » de l'antenne.

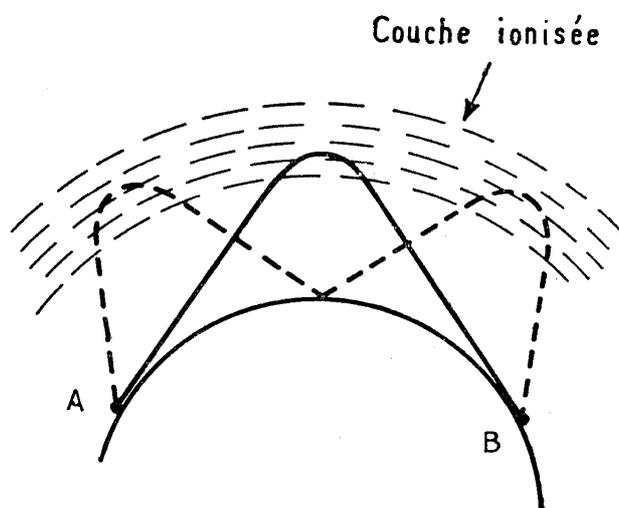
Alors que le rendement indique la part d'énergie « utile », c'est à dire, dans le cas de notre antenne, le pourcentage d'énergie effectivement rayonnée par rapport à l'énergie produite par le TX ; la différence représentant la somme des pertes dans la ligne, les fils d'antenne, les accessoires, le sol et les masses métalliques environnantes, le rayonnement du fil d'antenne est aussi une perte d'énergie, mais utile celle-là !! Il vous est possible d'estimer certaines pertes, comme celles présentes dans les fils de l'antenne (fonction du diamètre du fil et de sa nature), et de la ligne d'alimentation et de l'antenne, qu'il est nécessaire de minimiser dès la conception de l'antenne, mais pas toutes, telle que les pertes dans le sol et les obstacles environnants

L'efficacité est une notion plus subjective et est précisément rattachée au diagramme de rayonnement, et indique comment est utilisée l'énergie réellement rayonnée par l'antenne, celle qui « s'échappe » effectivement du site d'émission, mais en général dans le cas des antennes filaires, on ignore le diagramme de rayonnement.

Il est cependant permis d'en avoir une idée malgré la présence d'obstacles autres que le sol, et présents autour de l'antenne.



**Fig. 1** – L'onde retombe d'autant plus loin que l'angle de départ est faible



**Fig. 2** – De plus, un petit angle de rayonnement dans le plan vertical épargne les pertes dues à plusieurs réflexions et réflexions de l'onde sur un trajet donné

Nous savons que les communications à longue distance sont réalisables grâce à la réflexion de l'onde sur les couches ionisées de l'ionosphère, et on conçoit que plus l'angle de départ du lobe de rayonnement sera faible par rapport à l'horizontale, plus loin la réflexion se fera et moins l'onde sera atténuée pour une même distance entre les stations (fig. 1 et 2), c'est le mode utilisé pour le trafic DX. Cela implique l'existence d'une zone de silence dans laquelle l'émission n'est pas reçue, et l'onde de sol s'atténue très vite ce qui rend le trafic local impossible.

Pour un trafic DX, les angles de rayonnement les plus avantageux se tiennent, pour les différentes fréquences suivantes :

- 7 MHz : au-dessous de 45° par rapport à l'horizontale,
- 14 Mhz : l'angle maximum serait de 30°, mais il est préférable de ne pas dépasser 20°
- 21 à 28 MHz : l'angle le plus avantageux est de environ 10°

En HF, pour que le trafic local puisse avoir lieu, il faut exploiter le mode de propagation NVIS, qui consiste à envoyer l'énergie principalement vers le haut, avec des angles grands par rapport à l'horizontale, pour être réfléchi par les couches ionosphériques. La distance de saut est dans ce cas réduite et permet ainsi un trafic local. La zone de silence est pratiquement couverte par les ondes réfléchies.

Mais ce mode n'est praticable que pour les bandes basses HF, c'est à dire, principalement le 1,8 et le 3,5 MHz, parfois en 7 MHz, vraiment très rarement en 10 MHz et nécessite une antenne installée à une hauteur au dessus du sol comprise entre 0,10 et 0,25  $\lambda$ .

La matière traitant de la propagation est ardue et ne saurais tenir dans l'espace de cette petite revue. Ce qui vas suivre ne concerne que l'essentiel, les résultats pratiques qui pourrons êtres utiles pour le monde radioamateur.

Nous étudierons principalement les diagrammes de fonctionnement dans le plan vertical, car c'est lui qui est responsable du choix de l'ouverture pour le genre de trafic désiré, local ou DX.

### **Un peu de théorie** (vraiment peu !! et pour les intéressés)

Un milieu, quel qu'il soit (air, ionosphère, sol, etc. ....) est caractérisé par deux paramètres :

Sa constante diélectrique  $\epsilon$  évaluée en farad/mètres ;

Sa perméabilité  $\mu$  évaluée en Henry/mètre.

L'onde électromagnétique se compose de deux champs orthogonaux ; le champ magnétique  $\mathbf{B}$  lié à l'excitation magnétique  $\mathbf{H}$  ( $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ ) exprimé en A/m (Ampères par mètre) et le champ électrique  $\mathbf{E}$  exprimé en V/m (Volts par mètre).

On démontre que les deux champs sont liés par la relation  $\mathbf{E}/\mathbf{H} = \text{constante}$  pour un milieu donné :

$$\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{H}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \mathbf{Z}$$

et puisque  $\mathbf{E}$  est exprimé en V/m et  $\mathbf{H}$  en A/m, nous avons :  $\frac{\mathbf{V}}{\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m}}} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{A}} = \mathbf{\Omega}$ , des volts sur des ampères représentent

une résistance, c'est l'**impédance intrinsèque de l'espace**.

Elle est celle du vide, mais avec une erreur minime, elle est aussi celle de l'air sec.

Il est bien évident que ceci ne traduit aucune propriété physique, il s'agit d'un langage mathématique imagé.

Dans le vide ,  $\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  et  $\epsilon = \epsilon_0 = 10^9 / 36 \pi$

$$\text{On a : } \mathbf{Z}_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \mathbf{\Omega}$$

Dans un milieu donné de perméabilité relative  $\mu_r$  et de permittivité relative  $\epsilon_r$ , l'impédance du milieu de propagation peut s'exprimer en fonction de  $\mathbf{Z}_0$  :  $\mathbf{Z} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} = \mathbf{Z}_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$

**Il y a réflexion d'une onde électromagnétique sur une surface conductrice lorsque cette surface est électriquement différente du milieu de propagation.**

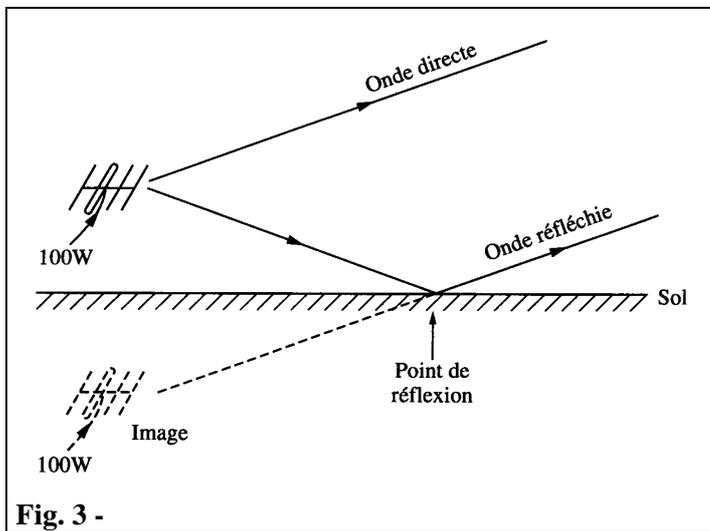


Fig. 3 -

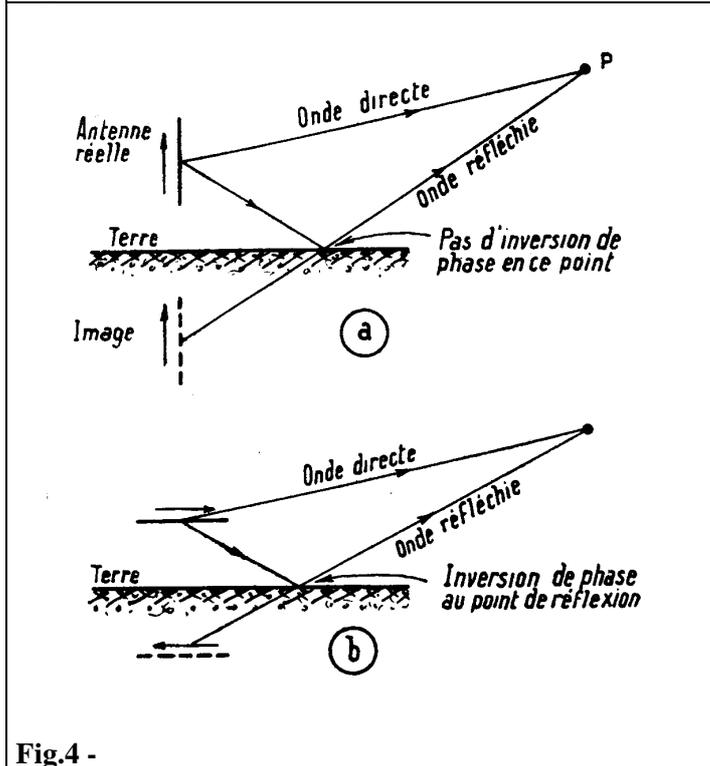


Fig.4 -

La présence du sol va modifier considérablement le diagramme de rayonnement, dans le plan vertical, par rapport à celui qu'elle aurait en espace libre (isolée dans l'espace). Le sol va agir comme un miroir et générer une onde réfléchi (fig. 3). Tout se passe comme si l'onde réfléchi provenait d'une antenne fictive appelée image, alimentée par la même puissance que l'antenne réelle, et symétrique de celle-ci par rapport à la surface du sol. Cela est vrai pour un sol considéré comme conducteur parfait, et nous verrons les grandes différences qui existent entre les différents types de sol.

La réflexion de l'onde se fait différemment en fonction de la polarisation de l'antenne. Onde réfléchi et onde directe sont en phase dans le cas d'une polarisation verticale et en opposition de phase (déphasage de  $180^\circ$ ) pour une polarisation horizontale (fig. 4).

Les ondes directes et indirectes vont interférer pour former des maximums là où elles s'ajoutent et des minimums là où elles se retranchent et former le diagramme de rayonnement vertical de l'antenne. Il est, pour une antenne quelconque, la résultante de la composition vectorielle (amplitude et phase) de l'onde directe avec l'onde réfléchi et nous verrons qu'il dépend de la hauteur de l'antenne au-dessus du sol et de la nature de celui-ci. La présence du sol double le gain de l'antenne (3 dB) dans les directions favorisées.

#### L'onde réfléchi.

L'importance de l'onde réfléchi dépend de la nature de la surface réfléchissante, et pour le sol :

- de la nature du sol
- sa teneur en humidité
- sa température
- la fréquence

L'impédance intrinsèque est de ce fait très variable car la surface réfléchissante étant composée de terre et d'eau dans des proportions très différentes d'un lieu à l'autre.

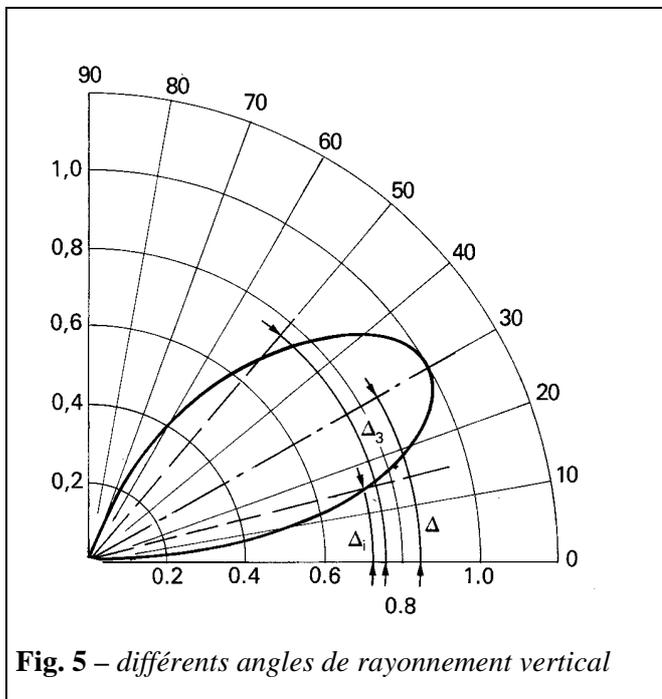
La quantité d'énergie réfléchi sera d'autant plus élevée que les impédances intrinsèques des deux milieux sont différentes. Ainsi l'eau de mer est, de tous les types de surface de réflexion, celui qui présente la plus faible impédance intrinsèque. C'est-à-dire la plus forte constante diélectrique et la plus faible permittivité.

Le fait que son impédance intrinsèque de l'eau de mer soit beaucoup plus faible que celle de l'air indique qu'une fraction très importante de l'énergie incidente sera réfléchi et que les pertes à la réflexion seront faibles. Par contre, pour les autres types de plans de réflexion, pour lesquels l'impédance intrinsèque est plus élevée, une certaine fraction de l'énergie sera absorbée par le matériau constituant le plan de réflexion.

La forme du diagramme de rayonnement dans le plan vertical dépendra aussi de la forme du terrain et les diagrammes donnés ci après sont établis pour un sol horizontal sans obstacles venant perturber la réflexion et donc, la combinaison de l'onde directe avec l'onde réfléchi.

#### Angle d'élévation et angle d'ouverture du diagramme de Rayonnement Vertical.

L'angle d'élévation est l'angle  $\Delta$  qui représente l'angle que fait avec le sol, la direction de la valeur maximale de courbe de rayonnement (fig 5)



L'angle d'ouverture est l'angle qui a son sommet à l'origine des axes et qui est compris entre les droites joignant les points de la courbe, de part et d'autre du maximum, ou la valeur du rayonnement à diminué de 3 dB (valeurs à mi-puissance).

#### Antenne verticale.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne à polarisation verticale présente, dans le plan vertical, un lobe de rayonnement présentant un angle d'élévation très faible avec le sol et de ce fait, va « chercher » très loin le point de réflexion sur l'ionosphère, ce qui diminue le nombre de réflexions et diminue ainsi l'affaiblissement de l'onde (Fig. 1 et 2)

#### Antenne horizontale.

Dans ce cas, le diagramme de rayonnement dans les plans vertical dépendra de la hauteur au dessus du sol. La hauteur optimale est de  $0,5 \lambda$ , et cela n'est, pour la plupart

d'entre nous, impossible à réaliser pour le 80 et le 40 m puisque l'antenne aurait dans ce cas une hauteur respectivement de 40 et 20 m !! mais parfaitement possible pour les bandes hautes, de 20 à 10 m.

Mais en 80m, cela peut être un avantage car dans le cas d'une antenne basse, le rayonnement se fait surtout vers le haut et on profite alors de la propagation en NVIS, qui permet les contacts locaux (sans zone de silence).

#### Quelques mots concernant le NVIS.

Les fréquences basse des bandes OC (1,8 et 3,5 MHz) se réfléchissent même avec « des angles de tir » assez grand par rapport à l'horizontale, et ce phénomène est parfois constaté dans la bande des 7 MHz et parfois (mais plus rarement) jusqu'à des fréquences de l'ordre de 12 MHz.

Le **N.V.I.S.** (Near Vertical Incidence Skywave), en Français: onde ionosphérique à incidence quasi verticale, est un mode de propagation utilisé pour des radiocommunications locales et régionale dans la bande des moyennes fréquences et hautes fréquences (1,6 à 12 MHz) à l'intérieur d'une zone arbitraire de 240 km autour de l'émetteur.

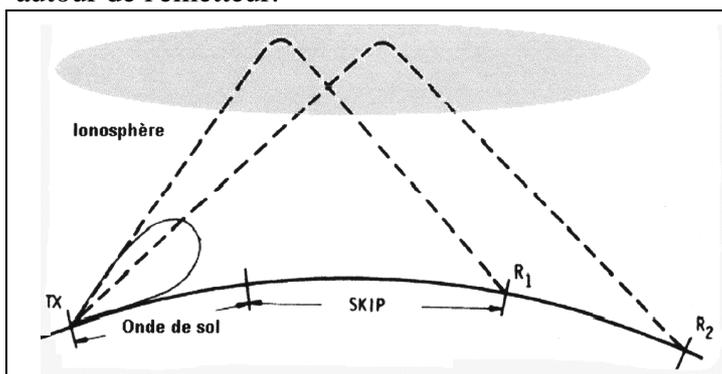


Fig. 6 – Avec un angle de tir très faible, l'onde de sol s'atténue rapidement et une zone de silence existe (skip)

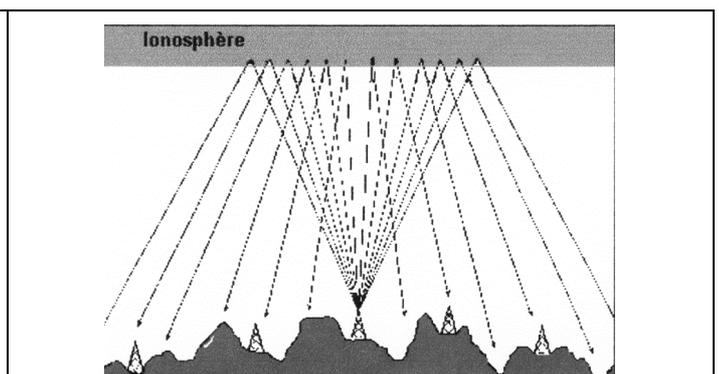


Fig. 7 – Le mode NVIS couvre les zones de silences

Ce mode de propagation des ondes radios nécessite une **antenne NVIS**, c'est à dire placée à une hauteur telle que le lobe de rayonnement principal est en direction du ciel

Les avantages des liaisons NVIS sont:

- Couvre des zones qui normalement ne reçoivent pas l'onde de sol (skip) Fig. 6 et 7.
- L'onde arrive du ciel quel que soit le relief, on peut pratiquer le NVIS depuis le fond d'une vallée.
- Réduction du bruit, rapport signal sur bruit nettement amélioré du fait de l'angle d'incidence élevé en réception.
- Peu sujet au "fading" (pas de problème avec les rayonnements réfléchis qui sont instables en amplitude et en phase).

- Très facile à mettre en œuvre avec des moyens matériels limités (antenne à proximité du sol) .
- Sur la même fréquence, plusieurs réseaux radio (espacés de quelques centaines de kilomètres) ne se brouillent pas.

-Deux stations équipées d'un tel système, dont l'angle de rayonnement est en direction du ciel, observeront, sur la liaison, un gain et une atténuation des brouillages, soit une amélioration du rapport signal-bruit par rapport à la même liaison réalisée à partir de dipôles conventionnels placé à une hauteur de plusieurs dizaines de mètres.

**Cependant, pour un bilan de liaison optimal, les deux stations doivent choisir la fréquence la plus propice à cette propagation, et utiliser des antennes adaptées.**

J'ai entendu sur l'air que des OMs se croyaient en communication, dans la bande des 3,5 MHz, grâce à l'onde de sol alors qu'il étaient distants de environ 50 km !! ; Et bien non, cela se réalisait grâce au mode de propagation NVIS, avec une antenne basse, montée naturellement pour des raisons pratiques à une hauteur inférieure à  $\lambda/4$ . Voilà comment on parvient à exploiter un mode de propagation sans s'en rendre compte !!!

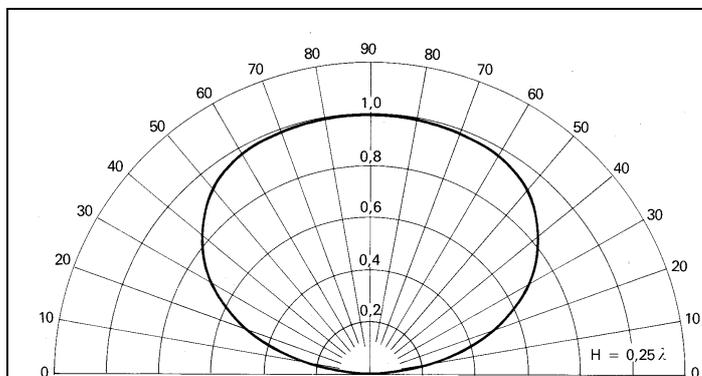
### Influence de la hauteur au dessus du sol.

Le diagramme de rayonnement dans le plan vertical d'une antenne quelconque peut être évalué en considérant le groupement constitué par l'antenne elle même et sont image dans le sol (antenne virtuelle). Elle est la résultante en ce point de la composition vectorielle (amplitude et phase) des contributions en provenance de chacune des deux antennes (réelle et virtuelle).

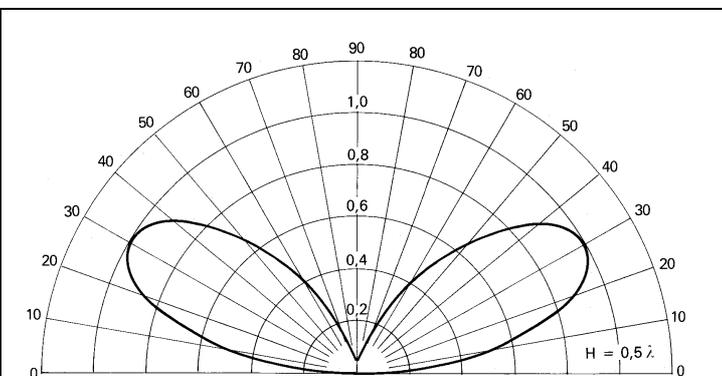
Les Fig. 8 à 13 montrent les diagrammes verticaux d'un simple dipôle horizontal au-dessus d'un sol parfaitement conducteur dans le plan normal à l'antenne, pour différentes hauteur électriques  $h$  au dessus du sol. Ce sont ceux généralement diffusés dans la littérature concernant les antennes.

Ces diagrammes montrent que, pour des liaisons à courte et moyenne distance, qui utilisent des angles de tir important, les hauteurs d'antenne multiples impaires de  $\lambda/4$  sont à utiliser.

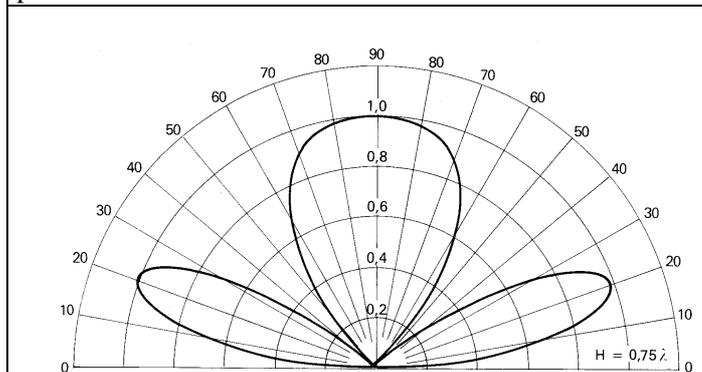
Pour les liaisons à grande distance qui utilisent de faibles angles de tir, les hauteurs d'antennes multiples paires de  $\lambda/4$  qui présentes des maxima à ces angles sont à utiliser. Au contraire, les hauteurs multiples impaires de  $\lambda/4$  sont absolument à proscrire sur ce type de liaison, car elles donnent lieu à un lobe de rayonnement important aux angles voisin de zénith.



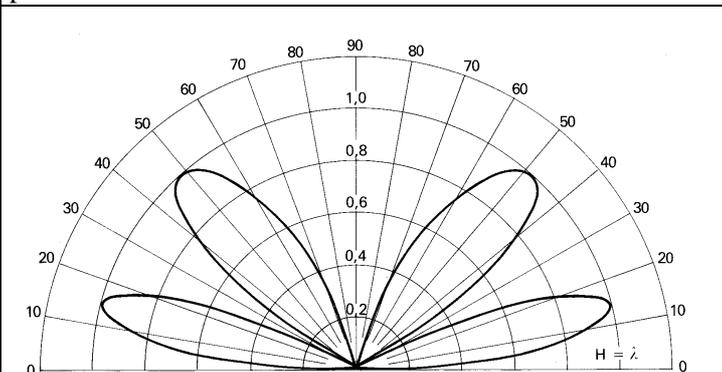
**Fig. 8** – Diagramme de rayonnement vertical d'un dipôle pour  $h = 0,25 \lambda$



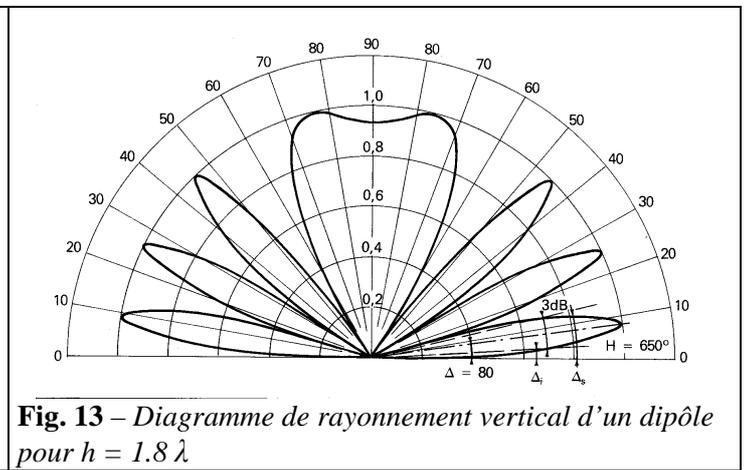
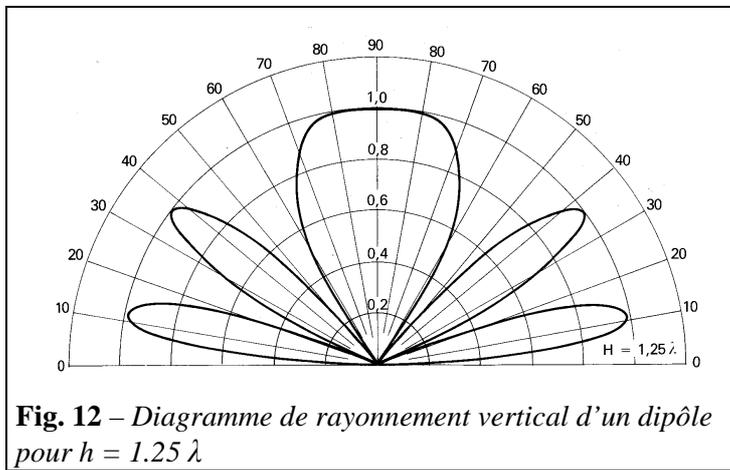
**Fig. 9** – Diagramme de rayonnement vertical d'un dipôle pour  $h = 0,5 \lambda$



**Fig. 10** – Diagramme de rayonnement vertical d'un dipôle pour  $h = 0,75 \lambda$

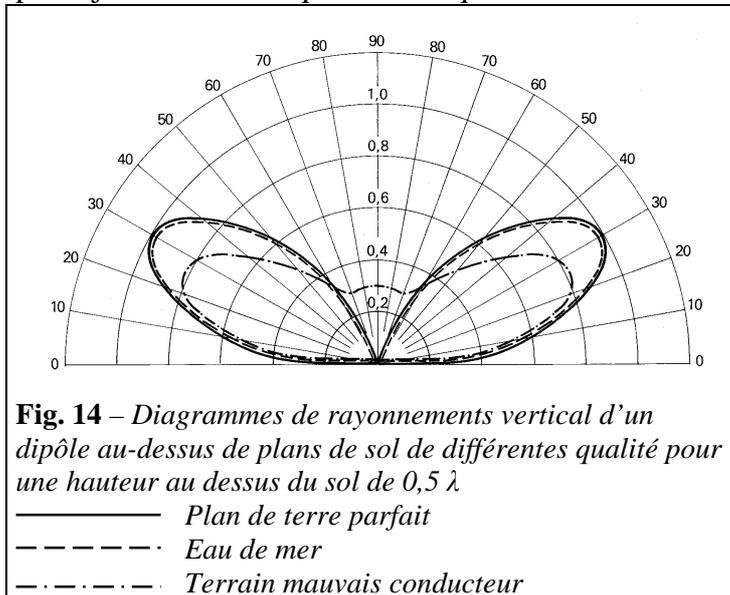


**Fig. 11** – Diagramme de rayonnement vertical d'un dipôle pour  $h = \lambda$



### Utilisation de Plans de Sol Artificiels.

Nous avons vu plus haut l'influence du sol sur le diagramme de rayonnement vertical d'une antenne. On peut ajouter à tout ce qui a été dit que cette influence est d'autant plus sensible que l'angle de départ est faible.



En polarisation horizontale la qualité du sol n'a qu'une importance secondaire en ce qui concerne l'énergie rayonnée aux angles de départ les plus bas, l'effet principal d'un plan de sol étant dans ce cas un «remplissage» plus ou moins important des minima du diagramme vertical, ce remplissage étant d'autant plus important que le plan de terre est de plus mauvaise qualité. La figure 14 montre le diagramme vertical d'un dipôle au-dessus de plans de sol de différentes qualités, On remarque sur cette figure que les minima sont d'autant plus marqués que le plan de sol est de meilleure qualité, et que l'eau de mer représente un plan de sol quasi parfait.

En polarisation verticale, par contre l'influence du plan de sol sur le diagramme vertical est très sensible, particulièrement en ce qui concerne l'énergie rayonnée aux angles de départ les plus faibles à cause

de la présence de courant de sol qui s'ajoutent vectoriellement à ceux de l'antenne.

Afin de permettre une meilleure répartition du champ aux faibles angles d'élévation, on a intérêt à augmenter l'efficacité du plan de sol. C'est ce que permet l'utilisation d'un plan de sol artificiel composé d'un certain nombre de fils radiaux s'étendant sur une certaine distance à partir de la base de l'antenne, distance déterminée par l'amplitude des courants de sol. Dans le cas d'antennes omnidirectionnelles, il est évident que le plan de sol doit s'étendre sur 360° alors que dans le cas d'antenne directives, l'extension du plan de sol ne doit s'effectuer que dans la direction principale de rayonnement. De plus, les courants qui circulent dans le plan de sol devenant négligeables à partir d'une distance égale à 0,5 λ de la base de l'antenne, on voit que l'on n'a pas, du point de vue économique et si de plus l'antenne est destinée à travailler sur des circuits nécessitant des angles d'élévation supérieurs à 10°, intérêt à augmenter le rayon du plan de sol au-delà de cette distance. Le nombre de fils composant le plan de sol ne devra pas, non plus, dépasser 120. Ces deux paramètres permettront d'obtenir des performances d'antenne très proches de la théorie. La longueur des brins du plan de sol doit être telle, en effet, qu'à la fréquence la plus basse de la bande de fréquence utilisée, 60 % du courant s'écoule dans le sol.

- Dans le cas de terrains de faible conductivité, on pourra adopter un rayon de plan de sol de 0,3 λ, à 1 MHz.
- Dans le cas de terrains à forte conductivité, un rayon de plan de sol de 0,2 λ sera suffisant à 1 MHz.

Prenons le cas, par exemple, d'une antenne verticale couvrant a bande 10-25 M Hz et utilisant un plan de sol artificiel constitué de 36 conducteurs. A 10 M Hz, la longueur minimum des conducteurs devra être égale à 0,46 λ pour que 60 % du courant s'écoule, e dans le sol. A 25 MHz, la longueur des conducteurs doit passer à 1,15 λ pour que 79 % du courant s'écoule dans le sol.

Dans le cas d'une antenne identique couvrant la même bande de fréquences mais utilisant un plan de sol

composé de 72 conducteurs sur un terrain à faible conductivité, avec une hauteur électrique d'antenne variant, dans la bande de  $36^\circ$  à  $180^\circ$ , le rendement est de 80 % si la longueur des conducteurs reste supérieure à  $0,25 \lambda$  tant que la variation de l'impédance terminale reste faible.

Les constantes du plan de sol ont une très grande importance dans le calcul du diagramme vertical d'une antenne, ainsi que nous le verrons plus loin et, en particulier sur celui d'une antenne verticale destinée à fonctionner sur une liaison à grande distance. Il est à noter que les conditions idéales de réflexion ne sont acquises que pour les ondes qui sont incidentes à l'intérieur de la surface du plan de sol, c'est-à-dire, en général à relativement courte distance, donc pour des angles d'élévation importants. Pour celles qui viennent se réfléchir sur le sol à l'extérieur de cette surface, les constantes du sol environnant interviennent dehors et peuvent amener une modification importante de la forme du diagramme aux faibles angles d'élévation. Il faudra donc, pour rayonner efficacement à ces angles, augmenter dans de grandes proportions les dimensions du plan de sol.

Une étude de simulation effectuée par l'U.S. Navy Electronics Laboratory sur l'effet d'un plan de terre de grandes dimensions sur le rayonnement aux faibles angles d'élévation a montré que :

- 1. Le rayonnement aux angles d'élévation compris entre  $0^\circ$  et une valeur se situant entre  $15^\circ$  ou  $20^\circ$  peut être amélioré de 5 à 7 dB en utilisant un plan de sol de dimensions allant de  $2,5 \lambda$  à  $5 \lambda$ . sur un sol plan dans la gamme de fréquences allant de 10 à 30 MHz;

- 2. L'amélioration susceptible d'être obtenue est fonction de la fréquence et de la conductivité du sol, les coefficients d'amélioration les plus importants étant obtenus avec des sols de faible conductivité.

On peut évaluer empiriquement le rayon du plan de sol nécessaire pour obtenir un renforcement à l'angle d'élévation  $\Delta$  :  $r = 2,56 \cos \Delta$  (m)

Il est donc certain que le plan de sol joue un rôle important dans l'amélioration du comportement de l'antenne aux faibles angles d'élévation, particulièrement en polarisation verticale et que l'augmentation progressive du rayon de ce plan procure une amélioration des conditions de rayonnement à ces angles.

Une étude connexe à celle citée plus haut et effectuée également par l'U.S. Navy Electronics Laboratory sur ordinateur a montré que, pour une conductivité du sol de 10 millimhos/mètre, on obtient, dans la gamme de fréquences allant de 4 à 32 MHz une amélioration de 3 à 9 dB pour des plans de sol de 75 mètres de rayon par rapport aux résultats obtenus sans plan de sol. On a pu obtenir de très fortes améliorations du rayonnement aux faibles angles d'élévation en utilisant des plans de sol de plus grandes dimensions. C'est ainsi qu'à 16 MHz et pour une conductivité du sol identique à celle indiquée ci-dessus, l'amélioration par rapport à un plan du sol identique à celle indiquée ci-dessus, l'amélioration par rapport à un plan de sol de rayon 75 mètres passerait de :

- 1,2 dB lorsque le rayon passe de  $2 \lambda$  à  $4 \lambda$  ;
- 1,7 dB lorsque le rayon passe de  $4 \lambda$  à  $8 \lambda$  ;
- 2,0 dB lorsque le rayon passe de  $8 \lambda$  à  $16 \lambda$  ;
- 2,3 dB lorsque le rayon passe de  $16 \lambda$  à  $32 \lambda$ .

Les Fig. 15 à 20 montrent des diagrammes de rayonnement dans le plan vertical pour différentes antennes situées à des hauteurs différentes au-dessus du sol.

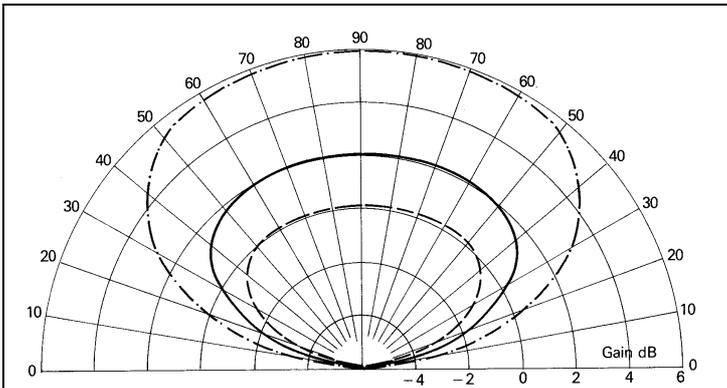
Nous constatons que l'antenne verticale (ici un dipôle) possède un diagramme de rayonnement très « plat », l'angle de tir est donc très faible et de ce fait, très favorable pour le trafic en DX, mais ne convient pas pour le trafic local, car l'onde de sol en ondes courtes s'atténue très rapidement.

Ces diagrammes montrent l'importance de la qualité du sol **surtout dans le cas d'une antenne verticale** (de quoi bousculer certaines idées en la matière !!).

Dans le cas de l'antenne horizontale, bien que l'installation d'un plan de sol ne s'impose pas, la présence d'un tel plan apportera, aux faibles « angles de tir », une amélioration qui dépendra de son étendue.

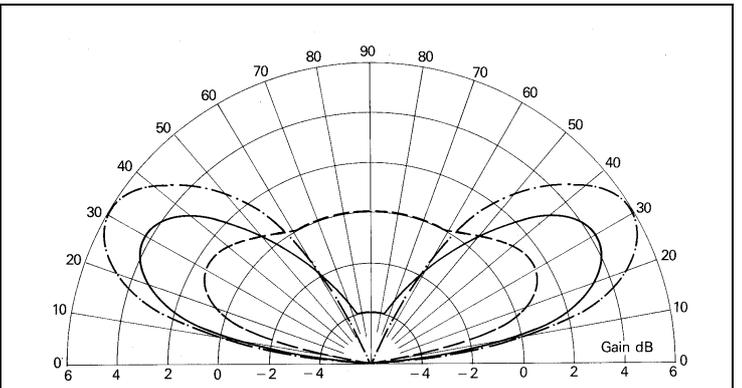
Voilà quelques données qui, je l'espère, aideront les OM's à faire les choix adéquats lors de l'installation de leur antenne.

Remarque : le « gain » d'une antenne filaire horizontale est celui donné par le lobe (ou les lobes) de rayonnement(s) le(s) plus important. L'antenne n'est donc pas omnidirectionnelle et présente des « creux » dans certaines directions, ce qui fait qu'elle aura des directions privilégiées. Il faudra en tenir compte.



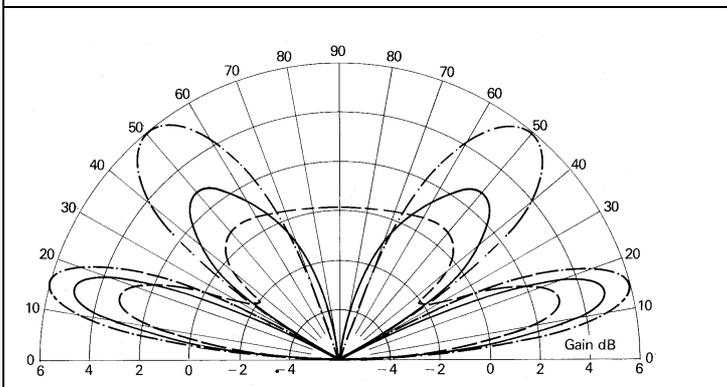
**Fig. 15** - Dipôle demi-onde horizontal - hauteur au dessus du sol de  $0,25 \lambda$

----- Glace polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer



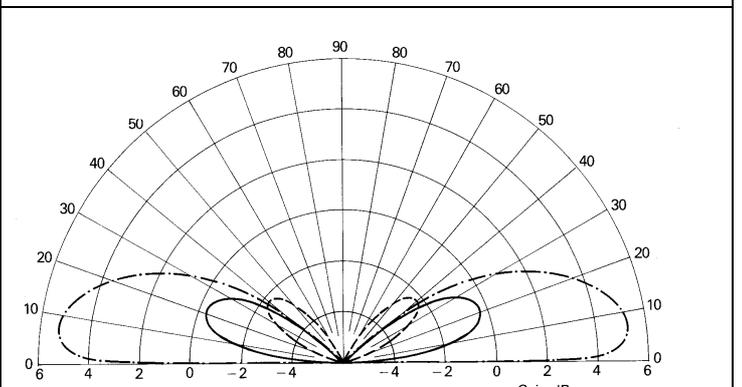
**Fig. 16** - Dipôle demi-onde horizontal - hauteur au dessus de sol de  $0,5 \lambda$

----- Glace polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer



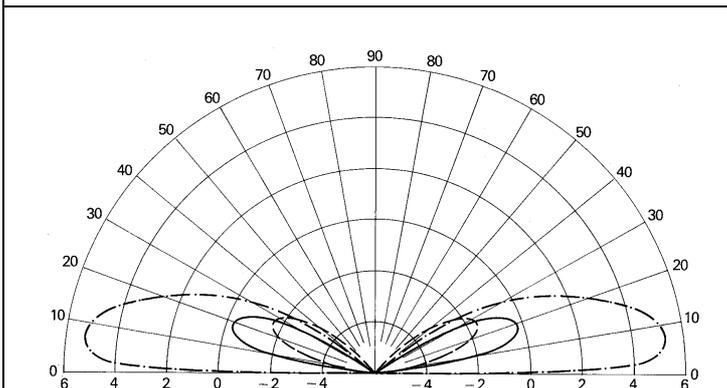
**Fig. 17** - Dipôle demi-onde horizontal - hauteur au dessus de sol de  $\lambda$

----- Glace polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer



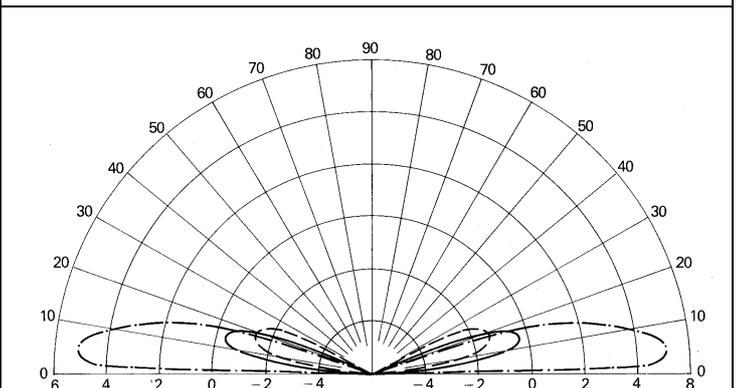
**Fig. 18** - Dipôle demi-onde vertical - hauteur au dessus de sol de  $0,25 \lambda$

----- Glace polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer



**Fig. 19** - Dipôle demi-onde vertical - hauteur au dessus de sol de  $0,3 \lambda$

----- Glace Polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer



**Fig. 20** - Dipôle demi-onde vertical - hauteur au dessus de sol de  $0,5 \lambda$

----- Glace Polaire  
 ——— Terrain bon conducteur  
 - . . . Eau de mer