

A propos de l'antenne verticale.

(par ON5HQ)

Les réflexions au sujet des antennes sont trop souvent subjectives, et trop souvent ne résistent pas à l'analyse. Elles proviennent en fait de réflexions découlant du résultat obtenu, mais sans savoir si cela pourrait encore être mieux avec la même antenne ou une antenne du même genre ??

La première qui vient à l'esprit est « j'ai fait de bons QSO avec cette antenne, elle fonctionne bien » !!, et c'est la phrase qui résiste le moins bien à une analyse même succincte. En effet ; le fait de faire des QSO ne donne aucune indication au sujet du fonctionnement de l'antenne, mais indique simplement qu'elle rayonne suffisamment pour établir ces QSOs. De nombreux OMs ne se rendent pas compte qu'ils travaillent pratiquement en QRP !!!, car faut t'il rappeler que pour perdre un point S (réel), il faut perdre 75 % de la puissance !!! hé oui, cela représente bien 6 dB de pertes.

Mais comment savoir dans quel sens doit t'on intervenir pour améliorer l'antenne s'il y a lieu ?? ou sont les éventuelles erreurs ?. Le guide est dans ce cas la connaissance correcte du fonctionnement des antennes qui permet de se rendre compte si l'antenne est construite dans les règles de l'art ou si son installation permet un fonctionnement correct.

Il est bien évident aussi que chacun d'entre nous ne dispose pas de la place nécessaire que pour faire une antenne performante et que l'on doive souvent se contenter de compromis, d'antenne raccourcies ou biscornues.

Mais je parlerai d'une antenne qui mérite d'être mieux connue et d'un fonctionnement pourtant simple, c'est l'antenne verticale, et avant, un petit rappel de notions trop souvent négligées et pourtant importantes.

L'antenne constituée d'un dipôle à structure symétrique, bien que cela se fasse régulièrement, ne peut être alimentée par un câble coaxial car la tresse extérieure, à cause de sa capacité directe avec la terre, « désymétrise » le dipôle et induit des parasites à la transmission. Ce qui est vrai pour l'émission l'est à fortiori pour la réception et les dispositifs symétriseurs n'ont pas toujours la perfection souhaitée, soit qu'ils ne possèdent pas la bande passante requise pour le fonctionnement, soit que leur branchement pose des problèmes d'encombrement ou d'adaptation d'impédance.

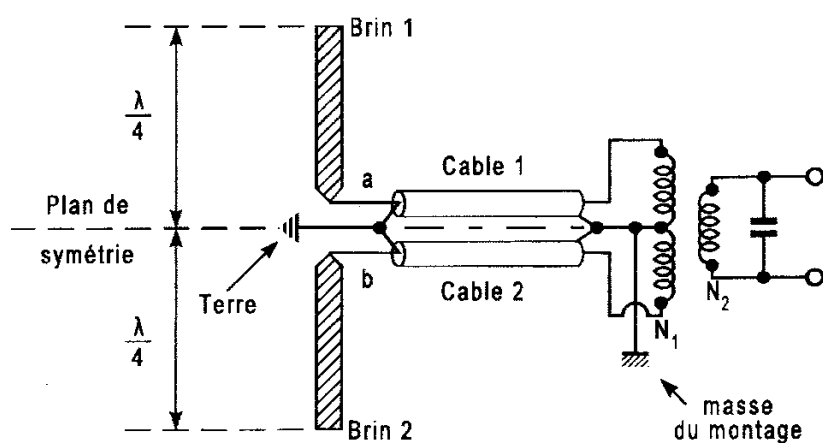


Fig. 1 - Pour alimenter une antenne symétrique, en l'occurrence un doublet demi-onde, on peut imaginer une liaison par deux câbles attaquées par un enroulement N_1 à point milieu. Les tresses des câbles sont alors reliées à la masse ou à la terre.

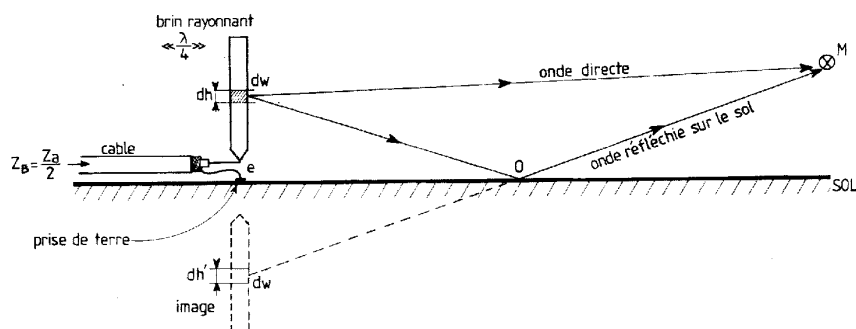


Fig. 2 – Mise en évidence d'une antenne virtuelle (image).

La solution serait l'emploi d'un câble bifilaire blindé mais il est à la fois rare et coûteux. Le mode de transmission de la figure 1 est théoriquement possible car il respecte la symétrie si l'enroulement N_1 est bien constitué, si les câbles ont la même longueur, si l'impédance caractéristique s'accorde avec celle de l'antenne, etc., conditions difficiles à réunir toutes ensemble ...

Or, si l'on observe attentivement le mode de liaison de la figure 1, on peut, en revanche, remarquer que la ligne se développe identique à elle-même, par moitié similaire, autour d'un plan de symétrie: en conséquence, si l'on accepte d'avoir une impédance d'antenne Z_a moitié de celle Z_a du dipôle $\lambda/2$, on peut couper en deux ce dipôle et ne conserver qu'un brin $\lambda/4$, mais à condition de le disposer verticalement au-dessus d'un plan parfaitement réfléchissant, comme un sol bien humide par exemple (figure 2A) ou sur un plan métallique comme le toit d'une voiture, afin de reproduire la notion fondamentale de dipôle rayonnant. Ainsi, on peut admettre que la structure en dipôle est reconstituée car le sol se

comporte comme un miroir; ainsi, les lois de Fresnel qui régissent, en optique, les réflexions lumineuses s'appliquent également pour les ondes radioélectriques. Considérons en effet un élément de hauteur dh rayonnant une énergie dw vers un point M de l'espace.

En ce point, convergent deux ondes:

- une onde directe qui se propage en ligne droite;
- une onde qui a rebondi sur le sol en O (fig. 2). Tout se passe comme s'il y avait un élément dh enfoui dans le sol, lequel rayonnerait la même énergie dw . On démontre qu'il se crée alors une image virtuelle analogue à celle que l'on remarque dans un miroir, à propos d'un objet placé dessus, comme par exemple une bougie, et qui s'y reflète. Dans le cas d'une bougie, le résultat est deux lumières; donc, deux sources d'énergie rayonnent, alors qu'il n'y a qu'une consommant réellement de l'énergie!

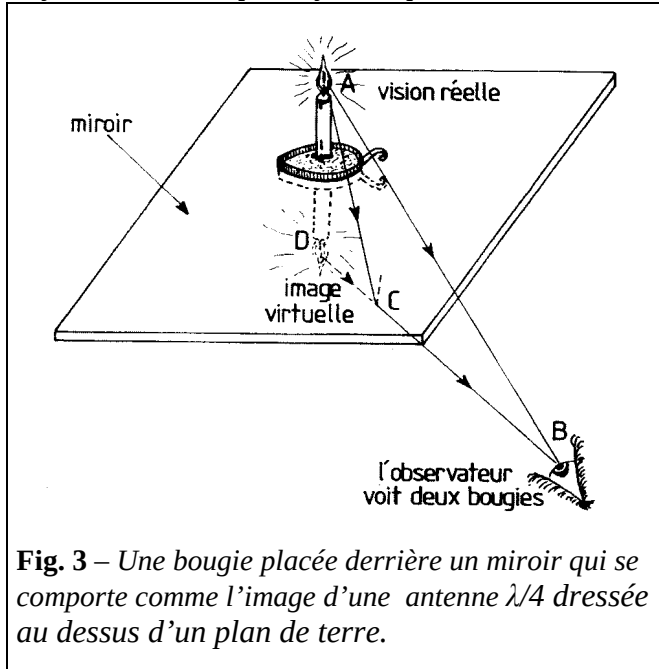


Fig. 3 – Une bougie placée derrière un miroir qui se comporte comme l'image d'une antenne $\lambda/4$ dressée au dessus d'un plan de terre.

Pour un observateur placé devant la bougie (figure 3), sa sensation est bien double: il voit la bougie réelle, c'est-à-dire le rayon direct AB et le reflet, c'est-à-dire le rayon réfléchi ACB . Or, celui-ci est identique à celui - quasi-direct - DCB provenant de l'image virtuelle. La notion de « gain » apparaît bien, ici, puisqu'il est vu deux sources (au lieu d'une sans le miroir).

Si le miroir se révèle bon, les images réelle et virtuelle ont la même efficacité. Mais on ne peut pas en espérer autant d'un sol normal: la terre n'est jamais homogène et son humidité varie énormément avec les saisons!

Aussi, pour servir de contrepoids, on enterre un treillis métallique tout autour de l'antenne. Quand la longueur d'onde est trop longue, on se contente d'un rayonnement de fils conducteurs reliés de place en place à une terre bien entretenue.

On représente souvent l'antenne verticale de longueur $\lambda/4$, reliée au sol et trouvant son « image » dans le sol. Elle est parfois considérée comme une antenne « unipôle », mais si l'antenne est au dessus d'un sol parfait, on peut dire qu'elle devient un dipôle dont un des brins est l'image de l'autre.

Mais qu'en est t'il d'une antenne verticale implantée à même le sol, **sans radials ou treillis**, qui sont destinés à la constitution d'un sol le plus parfait possible ?

Pour y répondre, nous examinerons l'antenne au niveau des pertes et du diagramme de rayonnement.

Les pertes.

Toute l'énergie envoyée dans l'antenne est dissipée d'une part dans les différentes résistances la composant et d'autre part par rayonnement, qui sont les seules déperditions d'énergie à augmenter le plus possible grâce aux précautions prises et au matériel employé dans la construction de l'antenne.

Tout se passe comme si cette énergie rayonnée était dépensée dans une résistance de rayonnement R_r , ou se dissipe l'énergie : $W_r = R_r \cdot I^2$; ou I est le courant efficace dans l'antenne au nœud de potentiel (ventre d'intensité)

Voyons quelles sont les pertes nuisibles à son bon fonctionnement.

Toute antenne possède une résistance R dans laquelle circule le courant d'antenne ? Il se produit une perte d'énergie égale à : $W = R \cdot I^2$, ou R représente la résistance en haute fréquence de l'antenne (très nettement plus élevée que celle du fil en courant continu), et I l'intensité efficace du courant dans l'antenne au nœud de potentiel (ventre de courant). A toute résistance introduite dans l'antenne correspond une perte d'énergie W .

Nous grouperons sous le même symbole R_e la résistance équivalente provenant des pertes par inductions dans les masses métalliques voisines, des pertes dans les diélectriques voisins (entrée de l'antenne, végétation, etc ...), des pertes dues à la conductibilité interne et superficielle des isolateurs (ces pertes peuvent augmenter lorsque les circonstances atmosphérique s'y prêtent : verglas, pluie, brouillard, fumées industrielles, etc). La perte d'énergie provoquée par cette résistance équivalente est : $W_e = R_e \cdot I^2$.

Un courant traverse la prise de terre, c'est à dire au point où l'antenne est mise en contact avec la terre, et y provoque donc des pertes.

Appelons R_t la résistance de la prise de terre, dans laquelle la perte d'énergie vaut : $W_t = R_t \cdot I^2$.

La résistance totale R_T d'une antenne est donc : $R_T = R_r + R + R_e + R_t$.

La résistance se rapportant aux pertes nuisibles, qui dissipent de l'énergie au détriment de l'énergie utile rayonnée est nommée R_p et vaut : $R_p = R + R_e + R_t$

On appelle rendement d'une antenne, désigné par η , le rapport :

$$\eta(\%) = \frac{\text{puissance totale rayonnée}}{\text{puissance totale fournie à l'antenne}} \times 100 = \frac{R_r}{R_r + R_p} \times 100 = \frac{R_r}{R_T} \times 100$$

Les pertes dans la prise de terre (obligatoire) est le premier handicap de l'antenne verticale $\lambda/4$ reliée au sol, car la prise de terre est toujours résistante, et il est illusoire de croire que il est possible de construire une prise de terre HF de qualité.

Par exemple, dans une construction de maison, où la prise de terre est constituée par une « boucle à fond de fouille », c'est à dire, un conducteur de grosse section placé sous les fondations de la maison, et donc, de longueur égale au périmètre de la maison, la résistance atteint encore quelques Ohms dans le meilleur des cas !!!! Que penser alors d'un piquet enfoncé dans le sol au pied de l'antenne ??

Ce qui aggrave la situation, c'est que, dans une antenne verticale $\lambda/4$, le point de connexion avec la terre correspond au courant maximum, il s'agit d'un ventre de tension, donc, $\sqrt{2}$ fois plus important que le courant efficace qui parcourt l'antenne. Le perte d'énergie dans la prise de terre peut donc être très importante.

La résistance d'une terre constituée d'un simple piquet de terre planté au pied de l'antenne possède, dans le meilleur des cas, une résistance moyenne d'une dizaine d'ohms (et cela représente une bonne prise de terre). En sachant que l'impédance de rayonnement d'une antenne verticale $\lambda/4$ vaut 36Ω , le rendement de l'antenne est, en négligeant les autres résistances parasites, égal à : $\rho = (36 / (36 + 10)) \times 100 \approx 78 \%$, et cela avec une « bonne » prise de terre. Cela signifie que 22 % de l'énergie est dépensée dans la prise de terre !!! Les résistances de terre d'un piquet planté dans le sol est généralement très supérieur à ces valeurs et le rendement sont forcément plus bas encore que dans le cas précédent.

L'influence de la nature du sol.

Le second handicap est la nature du sol pour une antenne non équipée de radiales. Pour que l'antenne trouve son image dans le sol, il faut qu'il soit bon conducteur, caractéristique rarement rencontrée dans la nature, sauf au dessus de l'eau de mer qui est une excellente surface conductrice.

Lorsque l'on établit les diagrammes de rayonnement d'une antenne verticale au sol, **sans radiales**, la différence de rayonnement entre des sols de différentes qualités. L'influence du plan de sol sur le diagramme vertical est très sensible, et on s'aperçoit une nette différence d'énergie rayonnée sur un sol mauvais conducteur (20 % en moins), qui représente l'énergie étant dissipée dans le sol.

Dans ce cas, la situation est particulièrement dramatique, car si le sol est mauvais conducteur, la résistance de prise de terre est grande, et les pertes totales deviennent très importantes, peuvent atteindre aisément 6dB (et voir plus encore avec une mauvaise prise de terre), et cela signifie une perte de puissance de 75% !! . Cela n'empêchera nullement de faire des QSOs en donnant l'impression d'un bon fonctionnement de l'antenne, voir même d'en être convaincu !!

Le moyen de compenser la mauvaise terre dans le cas d'une antenne $\lambda/4$ au sol est l'installation de radiales, ou établir un plan conducteur à l'aide de treillis métalliques, de forme préférentiellement circulaire et dont le rayon est au moins égal à la moitié de la hauteur de l'antenne, mais de préférence la hauteur de l'antenne.

Des antennes du commerce sont généralement vendues avec des radiales, ou avec les indications nécessaires pour le montage des radiales, mais toujours se méfier des antennes verticales où cela n'est pas prévues ; bien en examiner le principe.

Une antenne ground plane est constituée de son propre plan de sol grâce à ses radiales et le rendement d'une telle antenne est excellent. Pour une antenne alimentée par ligne coaxiale, les radiales et le brin rayonnant sont de même longueur de $\approx \lambda/4$.

Pour info, j'ai travaillé avec une antenne ground plane multibande ou les radiales étaient reliés entre eux, mais isolés du sol et de même longueur que le brin rayonnant vertical (5 m). Elle était alimentée par une ligne bifilaire et accordée sur les bandes de 20 à 10 m comme une antenne Lévy.

Je l'ai expérimentée en 1973, avec feu Guy - ON6GW et à donné d'excellents résultats. L'idée vient d'un article publié par F3LG, qui est parus dans ces lignes et présent sur le site du BTS (<http://bts.uba.be>) ou le mien (<http://users.skynet.be/on5hq>) dans la rubrique technique et intitulé : Antenne ground plane par F3LG.

Les radiales servait de haubans au mat support de l'antenne d'une hauteur de 2,5 m, et le twin d'alimentation passait **sous** les radiales.

Comme pour l'antenne Lévy, aucun TVI n'apparaissait sur mon téléviseur et ceux du voisinage, non encore raccordé à la télédistribution à cette époque, et donc, équipés encore d'une antenne individuelle.

Diagramme de rayonnement.

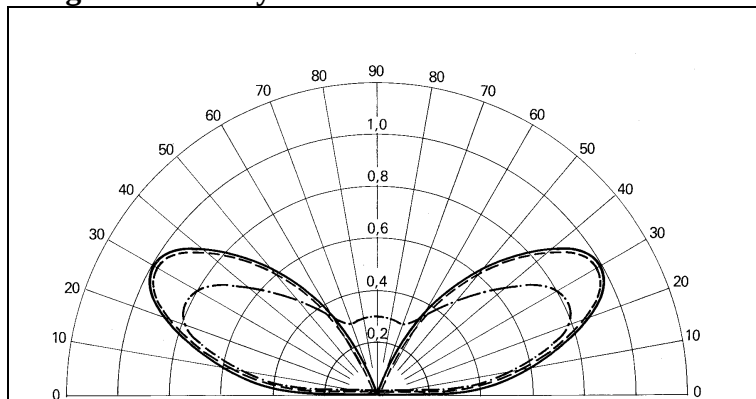


Fig. 4 – Diagrammes de rayonnements vertical d'un dipôle au-dessus de plans de sol de différentes qualité pour une hauteur au dessus du sol de $0,5 \lambda$

— Plan de terre parfait
 - - - - - Eau de mer
 - . - . - . Terrain mauvais conducteur

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 4 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.

ON5HQ