

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges\*

## (1ère partie)

**N**ous commencerons par poser les dix questions fondamentales concernant le fonctionnement des antennes verticales. Nous vous répondrons à chacune d'elles suivant le plan de cet article :

1 - Pourquoi une antenne est-elle dite "verticale" ?

2 - Pourquoi même, hésitons nous à adopter des "verticales" ?

3 - Pourquoi le comportement des "verticales" est-il si difficile à comprendre ?

4 - Pourquoi les "contre-poids" sont-ils "mal vus",

5 - Pourquoi une "verticale" peut-elle être considérée comme un "monopole" et/ou un "dipôle".

6 - Qu'est-ce qu'une "Ground Plane" ?

7 - Comment peut-on concevoir une "verticale raccourcie" donnant de bons résultats ?

8 - Comment rendre une "verticale" directionnelle ?

9 - Comment concevoir des "verticales" filaires comportant en majorité des fils horizontaux ?

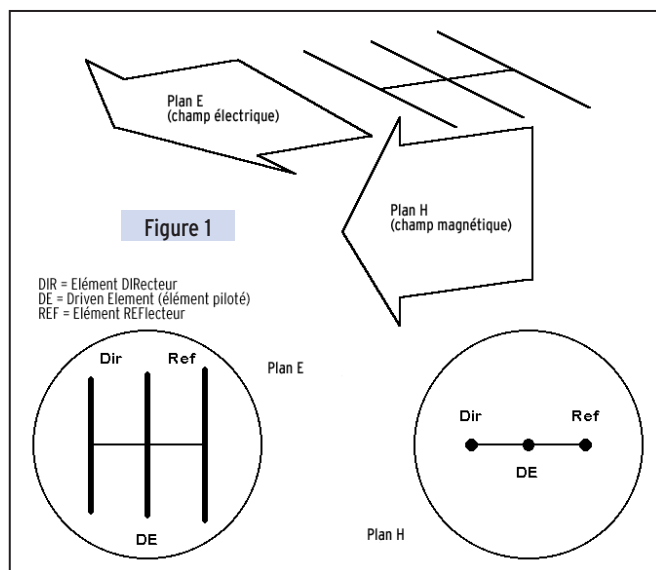
10 - Quels sont les avantages à tirer d'une "verticale" ?

- Si ces dix questions/réponses ne vous satisfont pas, le but de cet article sur le fonctionnement des antennes verticales ne sera pas atteint...

### 1 - POURQUOI UNE ANTENNE EST DITE "VERTICALE" ?

Du point de vue théorique, toute antenne n'est ni "verticale" ni "horizontale". Pour étudier son comportement, il faudrait la placer dans un espace libre tridimensionnel (3D) dépourvu d'obstacle. Dans ces conditions, une antenne ponctuelle (ou sphérique) n'aurait pas de champ de rayonnement particulier et rayonnerait dans toutes les directions 3D. Dans la pratique, toute antenne comporte un rayonnement propre suivant deux plans verticaux entre eux : le plan E associé à son champ électrique et le plan vertical H associé à

son champ magnétique. Par exemple, une antenne Yagi horizontale (voir la figure 1) possède un champ électrique E suivant le plan de ses éléments. Son champ magnétique H est vertical à celui de ses éléments. Le champ E est rendu prépondérant grâce au plan de ses éléments. Voir la figure 1.



Hormis le couplage entre éléments et autres objets tous proches de l'antenne, le champ magnétique sera beaucoup moins important que le champ électrique. Dans ce cas, le champ électrique E est prépondérant et permet des liaisons radio à grande distance, mais le champ magnétique H, aussi faible soit-il, n'est pas supprimé et reste associé au champ électrique E.

Une antenne simple, telle qu'un dipôle, située dans espace 3D libre se trouve à l'intersection d'une infinité de plans E. La figure 2 de gauche, nous donne la forme

(diagramme de rayonnement) de l'un quelconque de ces plans E car ils sont tous semblables. Ce diagramme est aussi symétrique par rapport à l'axe longitudinal du dipôle (les deux lobes sont semblables). Faisons faire à ce diagramme, une rotation (180°) autour de cet axe et relevons le diagramme formé par ces plans E vus de profil, dans toutes les directions : celui-ci est un cercle.

Ces deux diagrammes obtenus du champ E dans un espace à deux dimensions sont ceux qui sont donnés pour définir le rayonnement E d'un dipôle vu dans un espace à trois dimensions ou 3D (Voir la perspective de la figure 3). Le diagramme 3D aurait donc la forme d'un "donut"\* ou d'une "citrouille" bien arrondie dont les deux creux seraient traversés par le dipôle. Les dimensions du dipôle sont ici réellement représentées. Mais à distance, l'antenne sera considérée comme ponctuelle (soit un simple point) et son diagramme 3D obtenu aura la forme d'un tore.

\* N.d.l.r. - L'auteur appelle cela un "donut", une sorte de be-

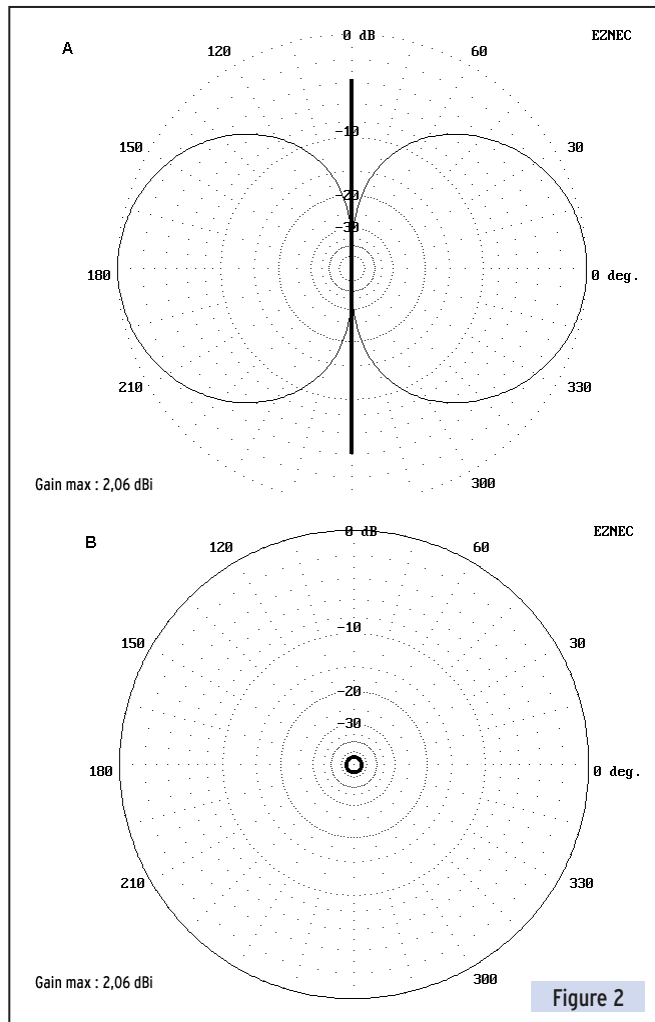


Figure 2

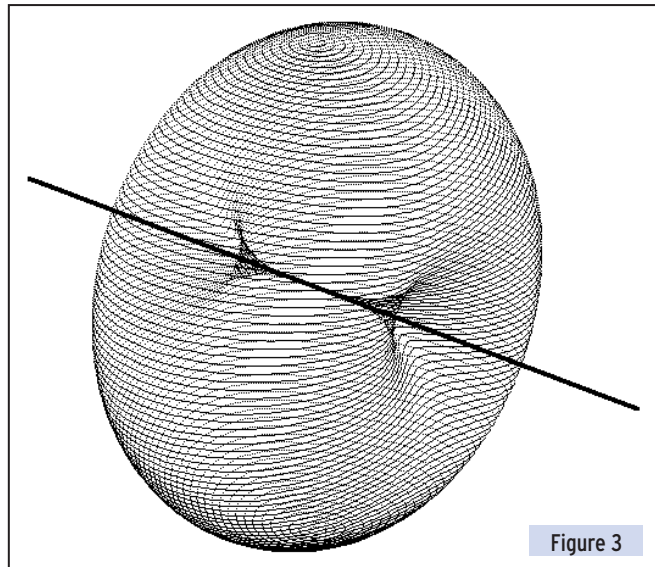


Figure 3

gnet plus ou moins aplati que l'on trouve dans les fast foods US !

**Note :** par convention et pour éviter toute confusion (sauf précision), nous ne vous parlerons ici que des diagrammes E c'est-à-dire ceux du champ électrique E des antennes. En effet, seule la position de ces plans E par rapport à un plan de référence permet d'appeler telle antenne "Horizontale" ou "Verticale" et c'est le plan de terre qui nous sert ici de référence. Pour un dipôle, voir la figure 4. En réalité et par convention, toute antenne possède les deux champs magnétiques E et H associés. Si son champ E prédominant en son lieu, est parallèle au plan de terre, elle sera dite de polarisation "Horizontale". Si son champ E prédominant est vertical au plan de

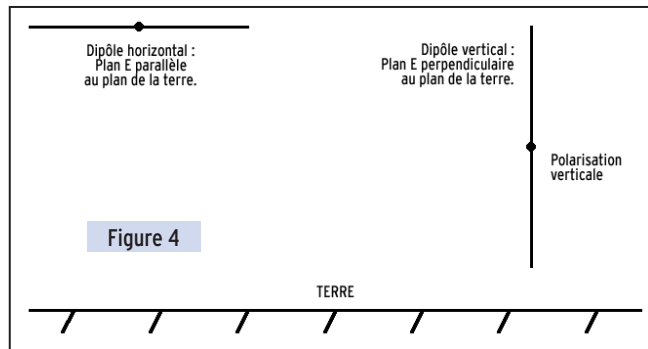


Figure 4

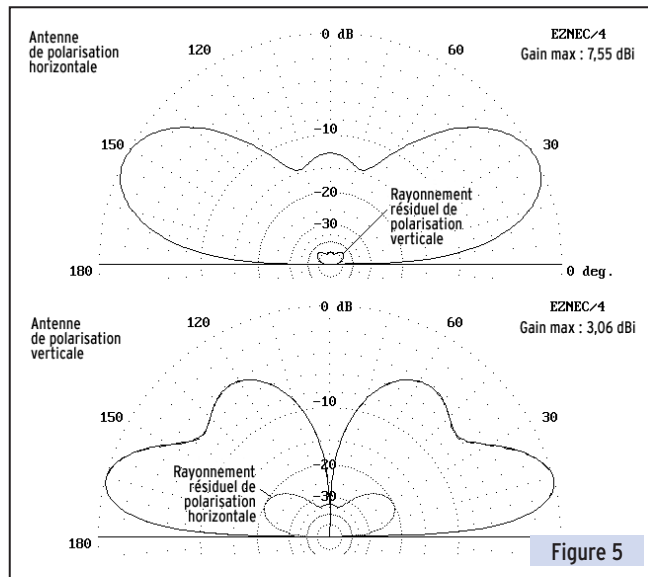


Figure 5

terre en son lieu, elle sera dite de polarisation "Verticale", voir la figure 4.

A titre d'exemples, la figure 5 représente les diagrammes de rayonnement électrique E d'une antenne dite "Horizontale" et d'une antenne dite "Verticale" telles que représentées sur la figure 4. Ceux des rayonnements E résiduels y sont ici représentés :

Le diagramme du haut est celui d'un simple dipôle horizontal donc la polarisation E horizontale prédomine. Son diagramme de rayonnement vertical est très réduit (presque négligeable), au bénéfice de son diagramme de rayonnement horizontal.

Le diagramme du bas est celui d'une antenne hybride en "Demi-Carré" (Half Square) de polarisation E verticale prédominante. Son diagramme de rayonnement horizontal est plus réduit, certes, mais non négligeable et intervient dans les résultats favorables obtenus avec ce type d'antenne.

En résumé : La polarisation prédominante du champ électrique E d'une antenne par rapport au plan de terre, définit la polarisation de celle-ci. Une antenne dite "Verticale" aura donc un champ électrique E prédominant vertical (par rapport au plan de terre).

## 2 - POURQUOI HÉSITONS-NOUS À ADOPTER DES ANTENNES VERTICALES ?

On entend souvent dire que les antennes verticales sont fondamentalement inférieures aux antennes horizontales. Les antennes verticales demeurent souvent pour cela, la dernière solution envisagée, le plus souvent on en choisit une plutôt que rien et pour diverses raisons (espace disponible etc.).

Le choix d'une antenne verticale dépend le plus souvent d'une étude bien faite sur les communications radio que vous voulez établir par la suite. Dans ce cas, elle répondra à vos vœux.

A titre d'exemples, voici quelques scénarios envisagés :

1 - Pour obtenir un rendement raisonnable sur les bandes

basses HF 160 et 80m sans parler de VLF (136 kHz), l'espace occupé par une antenne est bien trop important pour la plupart d'entre-nous. Les stations de radiodiffusion en Ondes Moyennes et Longues disposent de surfaces de terrain de plusieurs centaines d'hectares pour rayonner des puissances importantes sans trop de pertes... et être écoutées à distance. Ces stations utilisent presque toujours des antennes verticales plus ou moins directives.

2 - Par contre sur les bandes hautes HF et VHF, la surface occupée par une antenne verticale est beaucoup plus accessible pour la plupart d'entre nous. Les antennes verticales VHF+ pour les stations mobiles se contentent même du toit d'un véhicule en guise de plan de terre (exception faite pour les antennes du type "halo" ou autres dipôles repliés qui sont de polarisation horizontale et qui n'exigent pas de plan de terre.).

D'ailleurs sur les bandes VHF+, les liaisons en polarisation verticale sont assurées en mode FM avec des stations de base ou des relais équipés d'antennes à grand gain de polarisation verticale. Même ainsi, les réflexions et réfractions provoquées par des obstacles provoquent un retard et un changement de polarisation E qui s'ajoutent ou se retranchent au signal direct reçu, ce qui peut se traduire par des variations de 3 à 20 dB du signal au bénéfice d'une polarisation contraire.

3 - Ce phénomène a lieu sur toutes les fréquences : toute propagation au-delà de l'horizon est sujette dans le temps, à un changement de polarisation du signal résultant. Ce qui se traduit par un avantage tantôt pour les antennes horizontales et tantôt pour les antennes verticales (sans tenir compte de leur gain). Les antennes verticales omnidirectionnelles se montrent souvent supérieures pour un trafic FM dans ces conditions.

4 - L'angle de départ ou d'arrivée du signal par rapport au sol : la hauteur des antennes horizontales par rapport au plan de terre est souvent insuffisante et l'angle d'élévation de leur lobe de rayonnement maximal est élevé. Pour satisfaire à des conditions optimales, la hauteur d'une antenne horizontale par rapport à son plan de sol, doit être égale ou supérieur à  $1/2$  lambda (soit plus de 20m sur 7 MHz, plus de 40m sur 80m, plus de 80m sur 160m etc.). Si cette hauteur est inférieure, le rendement d'une antenne horizontale sera moindre.

Par contre une antenne verticale montée très proche (quelques cm ou dm selon la bande) de son plan de sol, aura toujours un angle d'élévation de son lobe de rayonnement principal, très faible, ce qui favorisera les liaisons DX.

Toute installation d'antenne est un cas particulier qui dépend de l'espace horizontal et vertical disponible. Si l'espace hori-

zontal est trop réduit, il vous faudra adopter une antenne verticale.

5 - Une antenne verticale aux dimensions horizontales réduites, reste souvent la seule et unique solution. Pour adopter une telle antenne, les solutions "home made" ou les modèles "commerciaux" ne manquent pas.

### 3 - POURQUOI LE COMPORTEMENT DES ANTENNES VERTICALES EST SI DIFFICILE À COMPRENDRE ?

Considérons deux dipôles, l'un horizontal et l'autre vertical, proches du plan de terre, selon la figure 4 : le dipôle horizontal se trouve à plus d'une demi-onde de la terre tandis que le dipôle vertical se trouve inclus dans cette distance.

Leurs diagrammes respectifs de rayonnement vertical sont représentés sur les figures 6 et 7.

Si la distance entre le milieu d'un dipôle  $1/2$  onde vertical et le sol est inférieure à une longueur d'onde, son comportement sera bien plus complexe que celui d'une antenne horizontale de même hauteur, cela est dû à l'influence accrue du plan de terre et d'autres paramètres.

Cette complexité peut être simplement commentée et illustrée à l'aide des deux figures suivantes (fig. 6 et 7) :

La figure 6 représente le diagramme de rayonnement vertical d'un dipôle demi-onde horizontal 40m situé à une  $1/2$  onde (20m) au-dessus du sol. L'espace entourant l'antenne et le sol est sujet à des interférences de rayonnement, on l'appelle pour cela la "Région de Fresnel" et couvre plusieurs longueurs d'ondes. (N.d.l.r. : les mesures du champ à trop courte distance seront donc erronées !). Ici la qualité du sol intervient peu (quelques fractions de dB seulement) sur le lobe parasite vertical au bénéfice des lobes principaux. Donc pour un dipôle horizontal situé à au moins une  $1/2$  onde au-dessus du sol, l'influence de la qualité du sol devient négligeable.

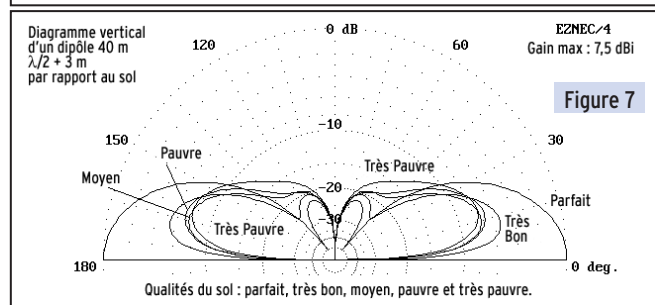
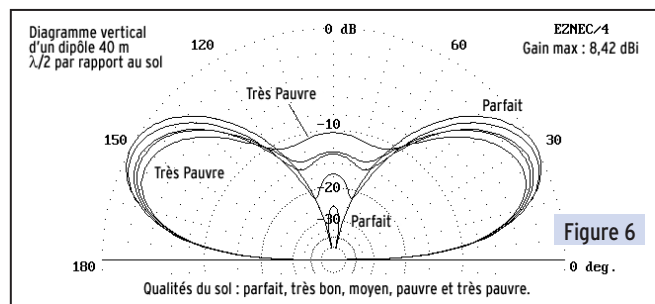
La figure 7 représente le diagramme de rayonnement vertical du même dipôle ( $1/2$  lambda, 40m) mais disposé dans le sens vertical et dont l'extrémité inférieure se trouve à 30 cm du sol seulement. Nous pourrions y voir la présence de deux lobes verticaux s'inclinant au bénéfice des lobes principaux en fonction de la qualité du sol.

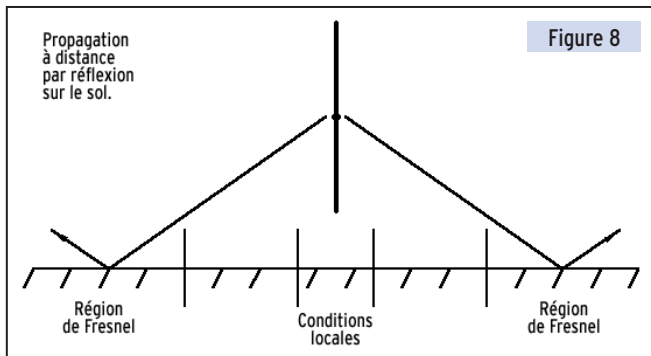
A propos de "qualité du plan de sol", elle dépend de sa conductibilité "électrique" : il faut noter que l'eau de mer ou saumâtre peut être considérée comme un plan de terre pratiquement parfait, quitte à décevoir ceux qui utilisent des antennes verticales à l'intérieur des terres...). Pourtant, à l'intention de ces derniers, l'influence du plan de sol, peut être compensée par un autre paramètre qui peut s'avérer être bénéfique : la hauteur de l'antenne verticale par rapport à son plan de terre.

L'installation d'une antenne verticale, quelle qu'elle soit, demande au préalable une connaissance de la nature du sol et des autres restrictions imposées (espace, voisinage etc.). Par exemple, les ondes de basse fréquence pénètrent plus profondément dans le sol que celles de haute fréquence. Le sol comporte le plus souvent diverses couches alternées de qualité plus ou moins bonnes. Vous ne pouvez pas en connaître la constitution à priori... mais vous pourrez constater par exemple, qu'une antenne verticale multibande vous donne sur 80m des résultats médiocres alors qu'elle vous donne de bons résultats sur 20m. De plus, la qualité du sol peut changer temporairement en fonction du temps et de l'humidité ambiante (pluies, neige...). Les performances d'une antenne verticale peuvent donc changer d'un jour à l'autre...

Un autre paramètre intervient à distance cette fois : la (ou les) réflexion(s) des ondes sur le sol à distance. Les régions de Fresnel interviennent là aussi et dépendent des conditions locales. La figure 8 en donne une esquisse.

Ce qui explique le comportement aléatoire d'une antenne verticale et les surprises qui vous attendent.





Voici 6 questions/réponses les concernant avec quelques commentaires :

- 1 - Toute antenne verticale nécessite un plan de terre : FAUX.
- 2 - Les antennes verticales sont omnidirectionnelles : NON, PAS TOUTES.
- 3 - Les antennes verticales sont inférieures aux antennes horizontales : PAS TOUJOURS, cela dépend de leur "angle de tir" cité ci-dessus et du bruit qui altère la réception.
- 4 - Le raccourcissement d'une antenne verticale diminue son rendement : ABSOLUMENT FAUX.
- 5 - En l'absence d'une bonne terre, vous voulez l'améliorer en épandant des produits chimiques (sulfates, nitrates, etc.) aux dépens de la végétation (gazon...) : SEULEMENT SI VOUS VOULEZ DESHERBER votre jardin (Une solution temporaire et très mal vue de nos jours !).
- 6 - Les antennes verticales sont dangereuses pour vous et votre voisinage. Ceci est VRAI si vous ne prenez quelques précautions élémentaires. En effet, leur extrémité est soumise à de hautes tensions HF surtout si vous utilisez une grande puissance et peuvent provoquer des brûlures à ceux qui y touchent. Une clôture autour de l'antenne peut alors être un gage de sécurité...
- 7 - Toute antenne verticale nécessite un "contrepois" de terre (autrement dit un plan de terre naturel ou artificiel) : Est-ce VRAI ou NON ? Ceci fait l'objet du point suivant...

A suivre...

L.B.Cebik, W4RNL  
Traduit, adapté par F3TA

\*Cet article est une traduction condensée du "papier" d'une conférence donnée par l'auteur, lors de la Réunion de Dayton, Ohio, USA en 1999.

# KENWOOD

## LA MESURE



### OSCILLOSCOPES

Plus de 34 modèles portables, analogiques ou numériques couvrant de 5 à 150 MHz, simples ou doubles traces.



### ALIMENTATIONS

Quarante modèles numériques ou analogiques couvrant tous les besoins en alimentation jusqu'à 250 V et 120 A.



### AUDIO, VIDÉO, HF

Générateurs BF, analyseurs, millivoltmètres, distortiomètres, etc.. Toute une gamme de générateurs de laboratoire couvrant de 10 MHz à 2 GHz.

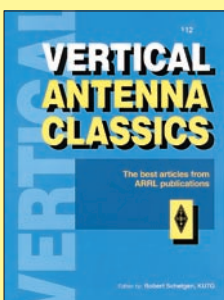


### DIVERS

Fréquencemètres, générateurs de fonction ainsi qu'une gamme complète d'accessoires pour tous les appareils de mesure viendront compléter votre laboratoire.

**GES** GENERALE ELECTRONIQUE SERVICES  
205, RUE DE L'INDUSTRIE  
Zone Industrielle - B.P. 46  
77542 SAVIGNY-LE-TEMPLE Cedex  
Tél. : 01.64.41.78.88  
Télécopie : 01.60.63.24.85  
ET 5 MAGASINS GES À VOTRE SERVICE

Réf. : EUA10



## LA LIBRAIRIE MEGAHERTZ

Cet ouvrage est composé d'une compilation d'articles parus depuis plusieurs années dans QST, articles concernant les antennes verticales.

On y trouvera d'abord d'excellents conseils, théoriques et pratiques, pour concevoir ce type d'antennes, et quelques principes sur la modélisation par ordinateur (avec les pièges à éviter).

Les chapitres suivants sont dédiés aux antennes HF, VHF et UHF, aux systèmes de mise en phase, à la façon de calculer et disposer les radiaux, etc. Des descriptions pratiques suivent les analyses théoriques effectuées par les concepteurs. L'ouvrage se termine sur une liste de fabricants et fournisseurs potentiels. Ce livre vous donnera certainement des idées, que vous recherchiez une solution pour une verticale au sol ou sur le toit.

165 F + port 35 F

25,15 € + port 5,34 €

Utilisez le bon de commande MEGAHERTZ

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges\*

## (2ème partie)

### 4 - POURQUOI LES "CONTREPOIDS" D'UNE ANTENNE VERTICALE SONT SI "MAL VUS" ?

Tous les éléments actifs d'une antenne contribuent au rayonnement de celle-ci (directivité, polarisation etc.). Mais il y a aussi les éléments passifs dits "parasites" dont nous vous parlerons plus loin, et les fameux "contreponds" (ou "radians"). Le rôle de ces derniers est souvent mal interprété et n'intervient ni dans la polarisation ni dans la directivité de l'antenne. Les contreponds ou radians ne contribuent qu'à améliorer les qualités d'un plan de sol ou à créer un nouveau plan de sol pour améliorer le rendement de l'antenne.

La figure 9 illustre trois interprétations du mot "contreponds" dans la littérature actuelle.

Interprétation de la figure 9 :

- Figure 9A : L'antenne est constituée d'une longueur de fil connue entre le coupleur d'antenne (ATU) et la terre. La présence d'un ATU peut s'avérer indispensable.
- Figure 9B : La partie inférieure (1/4 d'onde) d'un dipôle 1/4 onde vertical accordé, joue le rôle de contreponds. Un coupleur d'antenne (ATU) n'est pas indispensable.
- Figure 9C : L'antenne est une "long fil" horizontale de longueur quelconque et comportant un contreponds de fil horizontal posé à même le sol. Un cas particulier qui peut influencer son diagramme de rayonnement vertical, en élevant l'angle de tir de celle-ci. La présence d'un coupleur s'avère le plus souvent indispensable. Ce dernier cas concerne surtout les stations portables opérant sur les bandes basses.

Dans tous les cas, le contreponds sera considéré comme une partie active de l'antenne. La plus grande confusion résulte alors : doit-on considérer telle antenne [utilisant un contreponds] comme un "monopôle" ou comme un "dipôle" ?

- Si le fil (brin rayonnant) d'antenne est égal ou inférieur à 1/4 d'onde : une alimentation à son extrémité supérieure libre ne peut être envisagée (max de tension) donc impossible en réalité. Par contre, une alimentation en un point voisin de

Cet article en plusieurs parties, commencé dans notre numéro 224, répond aux nombreuses questions que l'on se pose sur les antennes verticales. Il complète avantageusement l'abondante littérature qui est éditée sur le sujet... ce qui contribue, par ailleurs, à ajouter une certaine note d'obscurantisme.

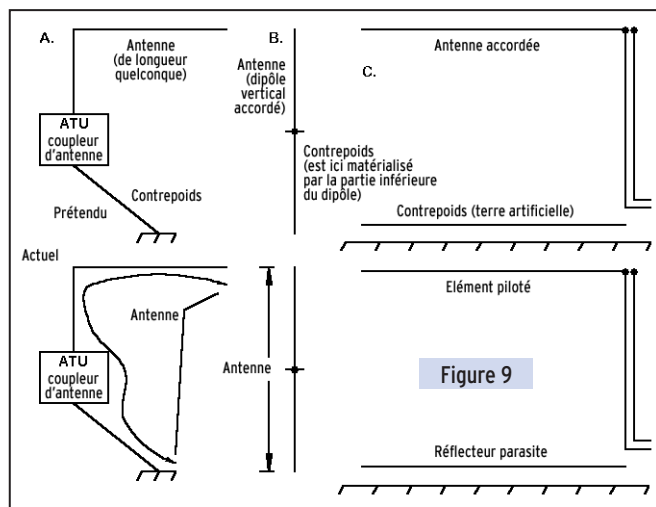


Figure 9

son plan de terre (proche de ou en son maximum de courant) est toujours possible, moyennant quelques artifices si c'est nécessaire. L'antenne sera alors considérée comme un "quart d'onde".

- Le problème devient plus complexe quand le brin rayonnant de l'antenne a une longueur effective supérieure à 1/4 d'onde, en général comprise entre 1/4 et 5/8 d'onde, il s'agit d'antennes nommées "monopôles". Il peut s'agir aussi de brins de longueur inférieure à 1/4 d'onde soit 1/3 à 3/8 d'onde qui sont considérés comme des "dipôles" raccourcis (par exemple les antennes "boudins" de vos transceivers portables VHF et UHF...)

Tout dépend alors de l'emplacement et de l'adaptation du point d'alimentation de l'antenne. Pour l'emplacement, il existe deux solutions : soit à la partie inférieure du brin, soit en son milieu. Exception faite de certaines antennes comme les antennes inclinées (ou "slopers") pouvant être alimentées par leur extrémité supérieure si un maximum d'intensité se trouve en ce point qui est proche du mât.

Si un dipôle horizontal de faible hauteur comporte un fil de terre, soi-disant destiné à améliorer ses performances, ce fil se comportera comme un élément parasite qui modifiera l'angle de tir du dipôle.

- Dans tous ces cas, l'influence du soi-disant "contreponds" peut être modélisée et analysée sur PC, comme une part active ou passive de l'antenne. Il s'agit donc de savoir si un "contreponds" se comporte comme un plan de terre, un élément parasite ou les deux à la fois (cas le plus fréquent).

### 5 - POURQUOI UNE ANTENNE VERTICALE PEUT ÊTRE CONSIDÉRÉE COMME UN MONOPÔLE OU UN DIPÔLE ?

- Soit un quart d'onde ou moins, pris tel quel dans un espace 3D libre : si vous l'alimentez par l'une de ses extrémités sans autre artifice, vous n'obtiendrez aucun résultat. Au mieux, si vous arrivez à l'accorder à l'aide d'un coupleur, il se comportera comme une charge non rayonnante (un peu comme une

antenne fictive !)... Pas de problème, une telle antenne nécessite obligatoirement un plan de terre.

- Le problème est plus complexe lorsque la longueur est supérieure à  $1/4$  d'onde. Nous aurons alors affaire à un "monopôle" vertical résonant à plus de  $1/4$  jusqu'à  $5/8$  d'onde. Ceci concerne aussi les "dipôles" de longueur comprise entre  $1/3$  et  $3/8$  d'onde soit bien en deçà de la  $1/4$  onde requise. Tout dépend alors du point d'alimentation de l'antenne avec deux choix possibles : soit une alimentation à son extrémité inférieure soit une alimentation en son milieu. (L'alimentation de l'extrémité supérieure n'est pratiquement envisageable que dans le cas des antennes fortement inclinées dites "slopers" et déjà citées).

Les solutions pour les alimenter vont aussi de pair : en intensité ou en tension. Nous pouvons les alimenter soit en intensité, c'est-à-dire en leur point d'intensité maximale, soit en tension en leur point correspondant à leur tension maximale. Pour des raisons pratiques, nous sommes habitués à adopter la première solution qui consiste à utiliser un fort courant sous une faible tension : c'est-à-dire adapter une faible impédance de la source à un point de faible impédance de l'antenne.

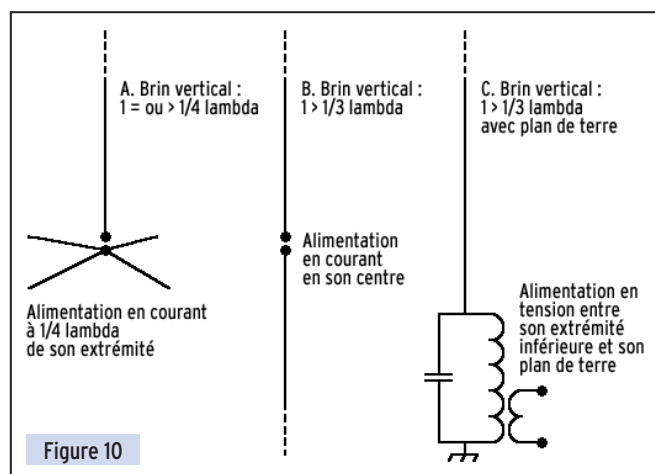
La seconde solution (alimentation en tension) ne peut pratiquement s'appliquer que dans des cas très particuliers qui consistent à alimenter l'antenne à l'aide de circuits LC de haut Q très proches d'une extrémité ou d'un "point chaud" (en tension) de l'antenne. (N.d.l.r. : Par exemple les antennes "Zeppelin" et "Levy" dont la ligne de transmission (ou "échelle à grenouille") fait partie intégrante de l'antenne mais ne rayonne pas).

Mais retournons sur le sujet de cet article :

Il est beaucoup plus facile de choisir un type d'antenne verticale en sachant ce qu'il se passe en son point le plus bas (accessible) plutôt qu'en son sommet (inaccessible).

Quelques cas typiques sont représentés sur la figure 10.

La figure 10 A de gauche représente le cas classique d'un brin vertical  $1/4$  d'onde muni d'une terre artificielle comportant des radians quelconques. Le point d'alimentation en courant est situé au point le plus bas du brin vertical. L'antenne se comporte ainsi comme un dipôle vertical mais avec une impédance Z plus faible apportée par les radians (par exemple  $Z_{min} = 25 \Omega$ , rarement atteint).



La figure 10 B du milieu représente un dipôle vertical de longueur supérieure à  $1/3$  d'onde alimenté en courant en son centre. L'antenne se comporte alors comme un dipôle vertical et l'impédance dépend alors de son point d'alimentation ( $25$  à  $75 \Omega$ ).

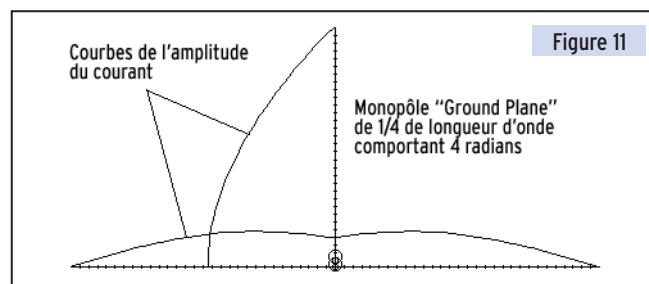
La figure 10 C de droite représente un brin vertical de longueur supérieure à  $1/3$  d'onde et relié à la terre. Son point

d'alimentation est en tension au moyen d'une boîte de couplage (ATU) qui permet d'adapter sa haute impédance à une ligne asymétrique de basse impédance ( $50 \Omega$  par exemple). En règle générale : une antenne verticale dont le brin vertical est supérieur à un quart d'onde, se comporte comme une antenne "long fil" non alimentée en son centre. Son alimentation demeure "en courant" mais la ligne d'alimentation basse impédance nécessite alors l'ajout d'un symétriseur (balun) pour rétablir l'équilibre. Dans ce cas, pour éviter l'usage d'un balun, il vous faudra ajuster la longueur des radians.

Si le brin vertical d'une antenne "verticale" alimentée en courant est déconnecté de ses radians, il se comportera comme un vulgaire monopôle déséquilibré aux résultats aléatoires. L'équilibre sera rétabli si vous le connectez de nouveau à ses radians.

L'esquisse représentée sur la figure 11 vous montre l'amplitude du courant sur le brin vertical et chacun des quatre radians d'un monopôle  $1/4$  d'onde vertical muni de son plan de terre. On peut voir que le courant dans un radian, à sa jonction au point d'alimentation, est égale au  $1/4$  du courant max fourni par la source.

Le cas typique s'applique à la figure 10 B : cas où l'antenne est alimentée en courant pour des longueurs comprises entre  $1/3$  et presque  $1/4$  de longueur d'onde. L'antenne est équilibrée en courant max en son centre et ne demande pas d'autre plan de terre.



L'esquisse de la figure 12 nous montre une antenne  $1/4$  onde avec un système de terre composé de quatre radians de  $1/4$  de longueur d'onde. Dans ce cas, on remarque que l'amplitude du courant dans chaque radian ne dépasse pas le  $1/10$ ème du courant à la source et que ces maxima se trouvent à mi-longueur des radians. Si cette antenne est située très près du plan de terre, la différence de gain entre cette antenne et la précédente non munie de radians ne dépassera  $0,25$  dB, ce qui est négligeable.

Dans la figure 10 : Le cas C est assez semblable au cas A puisque son alimentation est à sa base. Cependant le circuit d'adaptation en son centre a tendance à augmenter la tension aux dépens de l'intensité. Dans ces conditions, l'antenne ne demande pas de radians mais une bonne terre pour le retour HF vers la source. Bien sûr dans ce cas, l'impédance du système à la ligne d'alimentation peut être corrigée par une prise convenablement choisie sur la self principale de son transformateur d'adaptation.

Le dipôle vertical de la figure 12 est maintenant alimenté à son extrémité inférieure. Son gain reste le même à  $0,1$  dB près. Il est représenté sur la figure 13 avec le tracé de la distribution de l'amplitude du courant sur toute sa longueur. Ce tracé reste presque identique mais il est tronqué à son extrémité inférieure. Le point d'alimentation ne correspond plus à un maximum d'intensité : dans l'exemple donné, il présente une résistance de  $1400 \Omega$  et une réactance de  $4000 \Omega$ .

Avant d'en finir avec notre dipôle  $1/4$  onde vertical, comparons le cas de la figure 13 et celui de la figure 14.

**BIENVENUE  
DANS LE MONDE  
DES RADIOAMATEURS...**



- Vous venez de passer votre examen et vous avez réussi ?

- Vous connaissez un ami qui est dans ce cas ?

Envoyez-nous ou faxez-nous une photocopie du document délivré par le Centre d'Examen et le bulletin ci-dessous, nous vous offrons :

**3 MOIS D'ABONNEMENT GRATUIT\*  
à MEGAHERTZ Magazine**

(\* ou nous prolongeons votre abonnement de 3 mois si vous êtes déjà abonné.)



Ne perdez pas cette occasion !

Complétez le bulletin ci-dessous et retournez-le avec le justificatif à :

**MEGAHERTZ - Abo 3 mois - B. P. 88 - 35890 LAILLE  
Tél. : 02 99 42 52 73 - Fax : 02 99 42 52 88**

VEUILLEZ ECRIRE EN MAJUSCULES SVP, MERCI.

NOM : \_\_\_\_\_ PRENOM : \_\_\_\_\_

ADRESSE : \_\_\_\_\_

CODE POSTAL : \_\_\_\_\_ VILLE : \_\_\_\_\_

ADRESSE E-MAIL : \_\_\_\_\_

TÉLÉPHONE (Facultatif) : \_\_\_\_\_

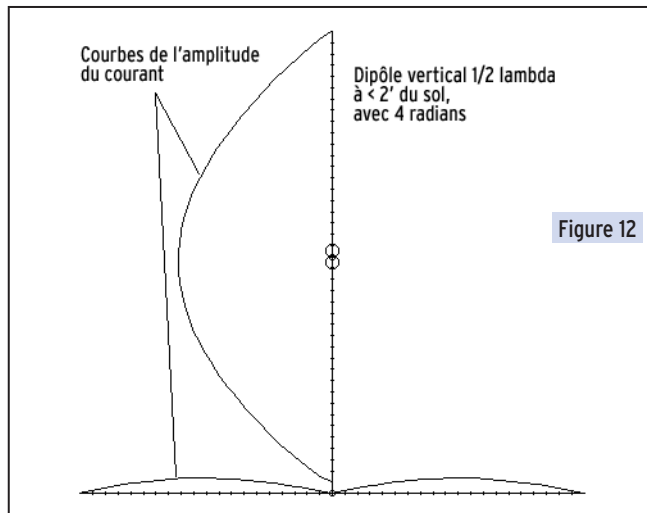


Figure 12

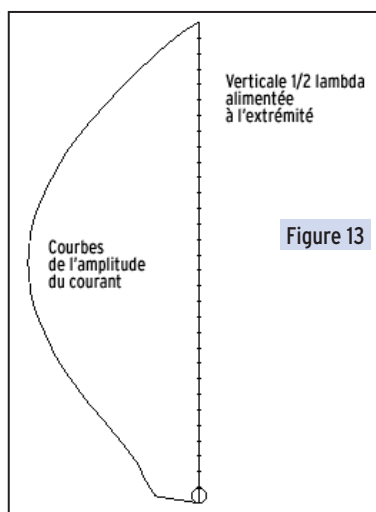


Figure 13

La figure 14 représente maintenant le même dipôle 1/4 onde comportant quatre radians avec alimentation entre son extrémité inférieure et les radians. La répartition du courant reste la même avec un maximum en son centre. Le gain reste le même à 0,1 dB près. En effet dans ce cas, le courant réparti

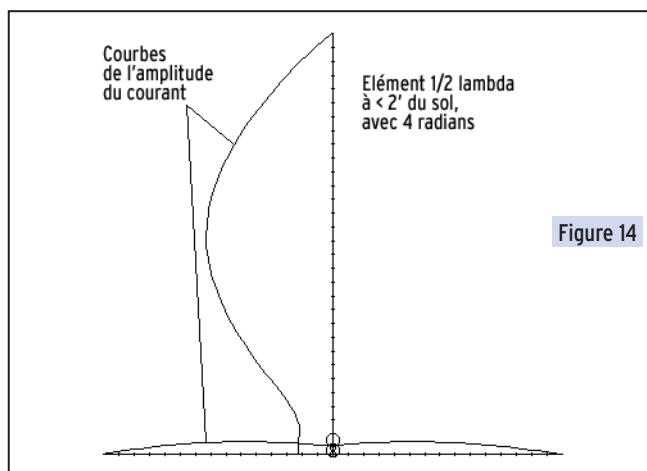


Figure 14

dans les radians est faible (1/10ème du courant réparti dans le dipôle).

Cette comparaison avec 4 radians n'est pas destinée à montrer l'inefficacité de ceux-ci mais nous prouve que le comportement d'un dipôle 1/4 onde vertical alimenté par son extrémité inférieure est pratiquement le même avec ou sans radians.

A suivre...

L.B.Cebik, W4RNL  
Traduit, adapté par F3TA

\*Cet article est une traduction condensée du "papier" d'une conférence donnée par l'auteur, lors de la Réunion de Dayton, Ohio, USA en 1999.

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges

## Précisions et corrections

**Avant d'aborder la troisième partie dans notre prochain numéro et afin de ne pas contribuer, nous aussi, à ajouter une certaine note d'obscurantisme, il nous apparaît nécessaire de revenir largement sur les deux premières parties de cet article. Le lecteur intéressé prendra soin de se reporter aux précédents numéros, notamment pour les figures.**

**S**uite aux questions posées par des lecteurs, il nous faut en effet compléter et corriger quelques idées peut-être mal

perçues ou interprétées lors de la traduction et qui pourraient dénaturer le message qu'a voulu transmettre L.B. CEBIK, W4RNL.

Par ailleurs, à toutes fins utiles, chacun pourra, s'il le souhaite, se reporter au texte original, disponible actuellement sur le site internet suivant : <http://www.cebik.com/fdim4.html>.

Nous espérons ainsi contribuer à la diffusion d'informations fiables et formulées dans le respect de la pensée de l'auteur. Que ceux qui nous ont aidé dans cette tâche soient ici remerciés.

### PREMIÈRE PARTIE : MEGAHERTZ N° 224

L'auteur, W4RNL, souhaite répondre aux dix questions qui lui paraissent pouvoir aider à la compréhension des antennes que l'on qualifie de "verticales". Ce ne sont pas nécessairement des questions fondamentales mais ce sont sans aucun doute des questions pertinentes. Il apparaît qu'il est souhaitable d'en reformuler certaines.

Question n° 1 : Dans quel cas une antenne est-elle une antenne verticale ?

Question n° 3 : Pourquoi le fonctionnement des antennes verticales est-il plus compliqué à comprendre que celui des antennes horizontales ?

Question n° 4 : Pourquoi le mot "contrepois" est-il impropre ?

Question n° 5 : Qu'est-ce qui implique qu'une antenne verticale est soit un monopôle, soit un dipôle ?

Question n° 8 : Comment peut-on réaliser des antennes directionnelles à l'aide de plusieurs antennes verticales ?

Quant aux explications qui ont été fournies, en réponse aux 5 premières questions traitées dans les deux premières parties, ce qui suit va tenter de compléter ou corriger celles-ci, au moins partiellement.

#### QUESTION N° 1

Tout rayonnement électromagnétique s'effectue sous forme d'un rayonnement électrique et d'un rayonnement magnétique indissociables et situés respectivement dans deux plans perpendiculaires.

Par nature, les antennes ne sont en elles-mêmes ni verticales ni horizontales. Mais dès que leur représentation s'écarte d'une source ponctuelle ou sphérique située en espace libre, les antennes

disposent alors de plans de rayonnement clairement identifiables par rapport à la disposition de leurs éléments.

Dans les diagrammes de la figure 2, les dimensions du dipôle sont bien entendu exagérément agrandies afin de montrer son orientation par rapport aux champs électromagnétiques produits. Si l'échelle était respectée, le dipôle serait alors invisible sur le diagramme de rayonnement.

Au sujet de la note sur la convention d'usage du plan des champs électriques comme référence, W4RNL indique qu'en se contentant de ce dernier, et sans qu'il soit nécessaire de s'occuper du plan associé des champs magnétiques, il est facile de comprendre pourquoi on qualifie une antenne de "polarisée verticalement" ou "polarisée horizontalement", et plus communément appelée respectivement "verticale" ou "horizontale" de manière abrégée. Il suffit pour cela de la situer par rapport au sol, le plan de ce dernier servant de référence par rapport à laquelle on peut décrire le plan des champs électriques de l'antenne. Les confusions paraissent alors faciles à éviter, toutefois dans la réalité pratiquement aucune antenne n'est purement verticale ou purement horizontale.

Au contraire, même des antennes que nous pensons l'être ont un rayonnement électrique résiduel de polarisation opposée. C'est le cas, par exemple, pour un dipôle parfaitement horizontal à cause des réflexions sur le sol.

#### QUESTION N° 2

Scénario 1 - Entre la partie basse HF et les VLF, le rayonnement d'une antenne s'effectue essentiellement par une onde dite "de surface", tandis que pour les fréquences HF moyennes et au-delà, l'onde de surface est très faible et disparaît trop rapidement pour permettre autre chose que des communications de proximité. Dans les bandes HF de radiodiffusion en modulation d'amplitude, l'onde de surface peut couvrir un rayon de 50 miles avec une puissance moyenne (par rapport aux puissances habituelles des stations de radiodiffusion !). En ondes très basses (VLF), avec assez de puissance, une onde de surface peut faire le tour du monde. Les ondes de surface sont plus efficaces lorsqu'elles sont polarisées verticalement



et c'est pourquoi les antennes des stations de radiodiffusion AM sont verticales.

Scénario 2 - Les antennes mobiles HF jusque UHF sont verticales pour deux raisons essentielles. Premièrement des objets mobiles comme des voitures ou des bateaux ont généralement trop peu de surface disponible pour supporter des antennes horizontales. Deuxièmement les antennes verticales ont tendance à être omnidirectionnelles et favorisent le maintien d'un niveau relativement constant pour le correspondant malgré les nombreux changements d'orientation effectués par la station mobile. La plupart du temps, dans des communications locales, nous utilisons l'onde de sol, mais pas dans sa composante onde de surface. Les communications ainsi établies sont dites "point à point". Dans ces communications, la polarisation du signal est largement maintenue au cours du trajet. Quelques inclinaisons de polarisation apparaissent, essentiellement à cause de la réfraction du signal sur des objets, mais restent néanmoins accessoires. Afin d'éviter des pertes du signal occasionnelles qui résulteraient de ce phénomène, l'antenne du correspondant, généralement fixe, est polarisée verticalement.

Scénario 4 - Au sujet de l'angle de départ d'une antenne polarisée horizontalement, nous avons mentionné à tort que le **rendement** de l'antenne serait moindre dans le cas d'une hauteur insuffisante. Le rendement est une notion électrique (de puissance) sans rapport direct avec le sujet présent. Il est plus juste de parler **d'efficacité** pour des liaisons à très longues distances, liaisons favorisées par un angle de départ faible participant à la diminution du nombre de réflexions au cours du trajet et sources de pertes d'énergie qui se cumulent. Par ailleurs, les antennes verticales sont dites "près du sol" lorsque la distance qui les sépare de celui-ci est faible par rapport à la longueur d'onde considérée, les centimètres ou décimètres ayant un sens très différent selon qu'il s'agit d'une antenne UHF ou d'une antenne VLF.

Scénario 5 - Antenne de dimensions réduites. Dans ce dernier cas et seul compromis possible en fonction de la place disponible, l'utilisateur apportera tous ses soins à améliorer le mieux possible la réalisation et l'installation de l'antenne verticale, en cherchant à limiter tout ce qui consomme de l'énergie au lieu de la rayonner afin de favoriser son **rendement** et en cherchant une disposition favorisant son **efficacité**.

### QUESTION N° 3

Pourquoi le comportement des antennes verticales est-il plus compliqué à comprendre que celui des antennes horizontales ?

A moins qu'une antenne verticale soit très haute par rapport au sol - au moins une longueur d'onde ou plus - l'antenne est soumise à des interactions avec le sol proche et selon des principes plus complexes que dans le cas d'une antenne horizontale. Cette dernière n'est essentiellement concernée par la qualité du sol qu'à distance de l'antenne, dans cette région appelée "zone de Fresnel" et située à plusieurs longueurs d'onde de l'antenne. A cet endroit, la qualité du sol a une influence sur la réflexion du rayonnement qui l'atteint et qui se recombine avec le rayonnement direct pour former les lobes de rayonnement effectifs de l'antenne. Lorsque le sol est parfait, l'antenne bénéficie d'un gain significatif. L'eau salée constitue un sol presque parfait et l'antenne peut ainsi voir son diagramme de rayonnement réel approcher le diagramme théorique. En ce qui concerne les antennes verticales, l'interaction avec le sol étant importante, il est essentiel de tenir compte des caractéristiques de celui-ci, y compris dans le voisinage immédiat. Par exemple, sur les bandes HF basses, l'énergie haute fréquence pénètre plus profondément dans le sol que sur les bandes hautes. Le sol étant la plupart du temps constitué de couches de natures différentes et aux propriétés électriques différentes, il est difficile de prévoir avec précision

les performances d'une antenne verticale pour la bande 80m alors que ce sera plus facile pour la bande 20m. Les caractéristiques électriques du sol sont dépendantes des conditions météorologiques et peuvent de ce fait varier au jour le jour. Les antennes verticales peuvent être classées en deux catégories : les antennes indépendantes dont l'alimentation ne dépend pas du sol (dipôles par exemple) et les antennes monopoles pour lesquelles le sol proche du point d'alimentation est inclus dans le circuit HF. La première catégorie est plutôt majoritairement concernée par la qualité du sol au niveau de la zone de Fresnel, éloignée de l'antenne, tandis que la dernière est concernée par la qualité du sol à la fois à proximité immédiate et au niveau de la zone de Fresnel située à plusieurs longueurs d'onde de distance. Savoir différencier ces zones est un atout pour évaluer le comportement d'une antenne.

Enfin, et pour en terminer sur la première partie de l'article, il est nécessaire de revoir les questions 4, 6 et 7 qui apparaissent page 45 du numéro 224 :

4 - Une antenne verticale raccourcie est presque sans intérêt ? Réponse : Particulièrement faux ! En effet, une antenne raccourcie peut fonctionner très correctement sous réserve que les éléments utilisés pour compenser les effets de ce raccourcissement sur l'alimentation de l'antenne soient le moins possible la source de pertes HF.

6 - Selon l'antenne et pour la partie des risques découlant d'un contact direct avec les éléments conducteurs de celle-ci - l'autre partie étant celle de l'exposition à un rayonnement HF-, il est hautement recommandé de se méfier de toutes les parties d'une antenne et pas seulement de ses extrémités. Selon les modes de fonctionnement, les endroits où siègent des hautes tensions peuvent varier et se trouver en d'autres points que l'extrémité, y compris sur les éventuels contre-poids. La meilleure solution reste de disposer une antenne dans des conditions telles qu'elle soit hors d'atteinte.

7 - W4RNL pose ici juste la question de la nécessité d'utiliser un "contre-poids" pour toute antenne verticale et propose de s'attarder sur la signification de ce terme souvent mal compris et mal utilisé. Qualifier celui-ci de "plan de terre naturel ou artificiel" lors de la traduction était quelque peu prématuré.

## DEUXIÈME PARTIE : MEGAHERTZ N° 225

Abordons maintenant la deuxième partie de l'article relative aux questions 4 et 5 évoquées précédemment.

### QUESTION N° 4

Pourquoi le mot contre-poids est-il impropre ?

Selon W4RNL, le mot contre-poids est issu d'un contexte mécanique où pour certains systèmes il est nécessaire d'équilibrer une force par rapport à un point. En matière d'antenne, ce nom est souvent réservé à un ou des éléments que l'on ajoute à une antenne sans savoir toujours très précisément s'ils participent ou non au rayonnement. W4RNL défend l'idée que ce terme de contre-poids est impropre puisqu'à chaque fois qu'un élément rayonne il devient partie intégrante de l'antenne. Ceci suppose bien entendu de décrire correctement et totalement tous les constituants d'une antenne sans exception.

Contrairement à ce qui avait été précédemment traduit, un contre-poids intervient bien dans la polarisation et la directivité d'une antenne verticale, ce qui n'est pas vrai dans le cas de l'utilisation de véritables radiants, disposés de manière homogène. [Note : On pourra se reporter à la question 198-1 des "Carnets d'Oncle Oscar", publiée dans MEGAHERTZ Magazine n° 198, septembre 1999 et relative aux antennes verticales installées au niveau du sol. Il semble difficile d'abandonner le mot "contre-poids" tellement il est entré dans le vocabulaire courant. Toutefois, il est de notre point de vue essentiel de ne

**POPE H1000 CABLE COAXIAL 50Ω TRES FAIBLES PERTES**

Le H 1000 est un nouveau type de câble isolement semi-air à faibles pertes, pour des applications en transmission. Grâce à sa faible atténuation, le H 1000 offre des possibilités, non seulement pour des radioamateurs utilisant des hautes fréquences jusqu'à 1296 MHz, mais également pour des applications générales de télécommunication. Un blindage maximal est garanti par l'utilisation d'une feuille de cuivre (feuillard) et d'une tresse en cuivre, ce qui donne un maximum d'efficacité. Le H 1000 est également performant dans les grandes puissances jusqu'à 2200 watts et cela avec un câble d'un diamètre de seulement 10,3 mm.

Puissance de transmission : 100 W  
Longueur du câble : 40 m

MHz	RG 213	H 1000	Gain
28	72 W	83 W	+ 15 %
144	46 W	64 W	+ 39 %
432	23 W	46 W	+100 %
1296	6 W	24 W	+300 %

	RG 213	H 1000
Ø total extérieur	10,3 mm	10,3 mm
Ø âme centrale	7 x 0,75 = 2,3 mm	2,62 mm monobrin
Atténuation en dB/100 m		
28 MHz	3,6 dB	2,0 dB
144 MHz	8,5 dB	4,8 dB
432 MHz	15,8 dB	8,5 dB
1296 MHz	31,0 dB	15,7 dB
Puissance maximale (FM)		
28 MHz	1800 W	2200 W
144 MHz	800 W	950 W
432 MHz	400 W	530 W
1296 MHz	200 W	310 W
Poids	152 g/m	140 g/m
Temp. mini utilisation	-40°C	-50°C
Rayon de courbure	100 mm	75 mm
Coefficient de vélocité	0,66	0,83
Couleur	noir	noir
Capacité	101 pF/m	80 pF/m

**RG 213 H 1000**

**ATTENTION :** Seul le câble marqué "POPE H 1000 50 ohms" possède ces caractéristiques. Méfiez-vous des câbles similaires non marqués.

**Autres câbles coaxiaux professionnels**  
**GENERALE ELECTRONIQUE SERVICES**  
RUE DE L'INDUSTRIE  
Zone Industrielle - B.P. 46  
77542 SAVIGNY-LE-TEMPLE Cdx  
Tél. : (1) 64.41.78.88  
Fax : (1) 60.63.24.85

MFT-0396-2

l'utiliser que dans le cas d'un complément actif à un système d'antenne, c'est-à-dire d'un élément qui modifie la résonance du système, le corollaire étant qu'une intervention sur la longueur d'un contrepois entraîne une modification de la fréquence de résonance du système. Ce qui précède ne s'applique pas dans le cas de véritables "radians", généralement installés au sol et agissant exclusivement au niveau de la circulation des courants HF dans le circuit d'antenne. Leur influence se matérialise par une modification de la partie résistive de l'impédance présente au point d'alimentation, celle-ci comportant par nature une composante ohmique liée aux pertes dans le sol et qui peut diminuer sous l'influence d'une augmentation du nombre de radians utilisés - F6AWN]

### INTERPRÉTATION DE LA FIGURE 9

9 A - l'addition d'un fil conducteur de longueur non négligeable entre la masse d'un coupleur d'antenne et une prise de terre au niveau du sol constitue un des exemples de contrepois fréquemment rencontré. Dans ce cas c'est la totalité du fil utilisé du sol jusqu'à l'extrémité distante du fil «d'antenne» qui constitue en fait une antenne rayonnante. L'alimentation de celle-ci s'effectue par l'intermédiaire de la boîte d'accord et de manière excentrée, si la longueur de la "prétendue" antenne est différente de la longueur du contrepois dans sa totalité.

9 B - Il s'agit d'un dipôle accordé qui peut être vu aussi comme un fil d'un quart d'onde associé à un contrepois d'un quart d'onde.

### QUESTION N° 5

Qu'est-ce qui implique qu'une antenne verticale est soit un monopôle, soit un dipôle ?

La question n'est pas difficile si le fil d'antenne est inférieur

ou égal à un quart d'onde. Un 1/4 d'onde en espace libre et alimenté par une extrémité constitue une configuration impossible dans la réalité. Il est nécessaire de disposer d'un supplément, sous forme d'un plan de sol réel ou simulé, afin que nous puissions alimenter le monopôle au voisinage d'un point de courant maximum et à l'aide de deux points de connexion afin de constituer un circuit électrique.

Le problème semble se compliquer lorsque l'élément vertical a une longueur supérieure à 1/4 d'onde. La solution réside simplement dans l'emplacement où vous alimentez l'antenne et la manière selon laquelle vous effectuez cette alimentation. Est-ce au centre ou à une extrémité ? Est-ce au niveau d'un ventre d'intensité ou d'un ventre de tension ?

Le monopôle ne peut être alimenté seul, en l'état, tandis que le dipôle peut l'être, même si dans certains cas le point d'alimentation est excentré.

Au sujet de la figure 10 A, en fait le point d'alimentation est situé à 1/4 d'onde de l'extrémité des radians dont la longueur est aussi d'un 1/4 d'onde. Si le brin vertical est lui-même égal à 1/4 d'onde, l'alimentation est identique à celle d'un dipôle, l'impédance étant toutefois plus basse puisque les rayonnements des radians s'annulent entre eux. Si la portion verticale est supérieure à 1/4 d'onde, alors l'antenne fonctionne comme un fil dont l'alimentation est décentrée. Le point d'alimentation reste majoritairement "en courant" mais on devra prendre garde au déséquilibre qui se produira entre les courants circulant dans la ligne d'alimentation.

Lorsqu'une antenne est alimentée en tension (cas 10 C), par l'intermédiaire d'un circuit parallèle LC, le point de courant maximum est situé à peu près au milieu de l'antenne. Une telle antenne ne nécessite pas de radian pour fonctionner mais demande néanmoins un excellent chemin de retour HF vers la source et si nous installons un système de radians performant, c'est pour améliorer ce circuit HF qui contribue au rendement électrique de l'antenne.

Les commentaires que nous avons effectués précédemment dans MHZ 225, page 51, 2ème colonne, faisant état de longs fils, de boîtes de couplages et de baluns sont à ignorer car sans rapport avec le texte de W4RNL.

Dans cette même partie d'article, il faut lire aussi :

- "le cas typique s'applique à la figure 10 B : cas où l'antenne est alimentée en courant pour des longueurs comprises entre 1/3 et 3/4 de longueur d'onde [au lieu de 1/4].

- «l'esquisse de la figure 12 nous montre une antenne 1/2 onde [au lieu de 1/4 d'onde]."

- "Avant d'en finir avec notre demi-onde verticale [au lieu de notre dipôle 1/4 d'onde vertical].

Page 52, il faut lire :

- "la figure 14 représente un élément 1/2 onde placé au-dessus et alimenté par rapport à 4 radians [au lieu de la figure 14 représente maintenant le même dipôle 1/4 d'onde comportant 4 radians].

- "...démontre qu'un élément 1/2 onde alimenté en extrémité reste exactement ce qu'il doit être, qu'il soit placé ou non au-dessus de radians et alimenté par rapport à eux [au lieu de ...mais nous prouve que le comportement d'un dipôle 1/4 d'onde vertical alimenté par son extrémité inférieure ...].

Nous voici arrivés au terme des corrections et précisions qui devaient être apportées à l'adaptation libre publiée dans le cadre des deux parties précédentes afin de se rapprocher de l'esprit du texte de L.B. CEBIK, W4RNL. Il ne s'agit toutefois pas d'une mise à jour exhaustive, le texte original en anglais étant accessible par ailleurs, comme indiqué en introduction. La suite de cette traduction s'efforcera de se tenir plus près du texte original.

F3TA, F6GKQ  
et F6AWN

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges

(3ème partie)

**QUESTION N° 6 - QU'EST-CE QU'UN PLAN DE SOL ?**

Cette expression est une autre mauvaise appellation tenace en matière d'antennes. Nous ne pouvons pas nous en débarrasser facilement, le plus simple consiste

à faire notre possible pour éviter d'en tirer un certain nombre de mauvaises conclusions qui abondent.

Occupons-nous d'abord de la partie "plan" de cette expression. Comme le montre la figure 15, un plan classique est constitué par un arrangement de rayons déployés sur l'un des pôles du point d'alimentation tandis qu'un élément vertical se déploie sur l'autre pôle. Dans le cas d'une classique antenne verticale 1/4 d'onde, les rayons du plan ont eux-mêmes une longueur d'environ 1/4 d'onde. Pratiquement n'importe quel nombre de rayons peut-être utilisé à la condition de les disposer de manière symétrique avec une répartition homogène. La figure 15 montre aussi la fonction d'un "plan" : elle consiste à remplacer la moitié basse d'un dipôle vertical par une structure qui :

- 1 - permet de faire résonner l'ensemble de la structure sur la fréquence désirée ;
- 2 - permet d'alimenter l'antenne à la jonction élément rayons en un point d'un ventre de courant ;
- 3 - élimine le rayonnement du plan. Ceci est rendu possible par l'annulation respective du rayonnement produit par chaque rayon sous l'influence du rayonnement de tous les autres rayons de cet assemblage (il est en fait nécessaire d'utiliser un nombre impair de rayons radiaux (\*) dans la constitution

Cet article en plusieurs parties, commencé dans notre numéro 224, répond aux nombreuses questions que l'on se pose sur les antennes verticales. Il résume avantageusement l'abondante littérature qui est éditée sur le sujet et est le résultat de la traduction d'un article écrit par L.B. Cebik, W4RNL, à l'occasion d'une conférence donnée par l'auteur, lors de la réunion de Dayton, Ohio, USA en 1999.

du plan et un nombre de 3 est le minimum requis pour conserver un diagramme de rayonnement circulaire).

[(\*) note : le terme *radian*, sans "t", utilisé en matière de «plan» et d'antennes provient de radial et indique une

disposition en "rayons", tandis que *radiant* avec un "t" est similaire de rayonnant, ceci entraînant de fréquentes confusions en matière d'antennes. F6AWN]

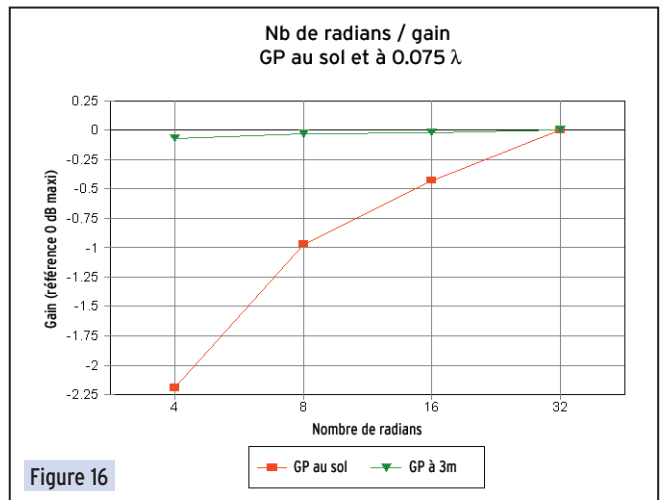
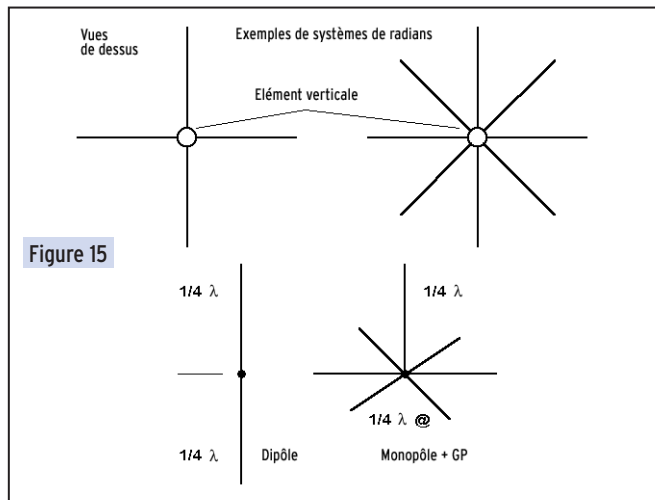
Il faut remarquer que la description du plan ci-dessus ne fait aucune référence au sol. Une telle antenne, située en espace libre, peut parfaitement être modélisée et étudiée sans problème particulier. Une antenne verticale "ground-plane", constituée d'un brin vertical et d'un plan de radiaux n'a aucunement besoin du sol pour fonctionner parfaitement.

[note : le terme «ground» utilisé en anglais recouvre différentes significations et les diverses traductions françaises de sol, terre, ou encore masse sont parfois utilisées peu judicieusement. Les différents sens dépendent du fait qu'il s'agit de la terre pour l'électricité domestique et pour l'écoulement des décharges statiques, de la masse commune d'un circuit, de la terre concernée par les éclairs, de la terre HF, ou encore du sol à distance et zone de réflexion de rayonnements HF.]

Voyons maintenant diverses questions concernant le plan de radiaux d'une antenne monopôle verticale.

a - Combien de radiaux dois-je utiliser pour atteindre la performance maximum de mon ensemble verticale + plan ?

La réponse à cette question dépend de la proximité de l'an-



tenne par rapport au sol. Plus les radians sont proches du sol, y compris dans le sol, plus ils doivent être nombreux. Cependant il suffit de peu de hauteur au-dessus du sol pour qu'il ne soit plus nécessaire d'utiliser un nombre important de radians. Comme indiqué à la figure 16, pour une antenne verticale dont le pied et le plan de radians sont installés à une hauteur de 10' (3 m), soit 0,07 longueur d'onde à 7 MHz, les performances ne sont pas améliorées en doublant le nombre de radians depuis un nombre de 4 jusqu'à 32. Lorsque ces radians sont posés sur le sol, comme indiqué sur la courbe du bas, les performances s'améliorent continuellement lors de chaque doublement de leur nombre. Cette progression se poursuit jusqu'à un nombre de radians au moins égal à 120. En ce qui concerne les modifications de l'impédance au point d'alimentation qui peuvent résulter de cette variation du nombre de radians, on peut constater que pour une antenne surélevée, la variation est infime et de l'ordre de 1 ohm, tandis que dans le cas de radians au sol, les changements d'impédance sont considérables puisqu'on constate une variation de la partie résistive de l'impédance de 24 ohms et une variation de la partie réactive de l'impédance de 65 ohms.

En conséquence, l'idée qui circule quant aux améliorations apportées par un nombre important de radians dans le cas d'une antenne installée au niveau du sol est juste : plus il y a de radians, jusqu'à un maximum de 120, meilleur c'est. On admet que le nombre minimum nécessaire à une installation sérieuse est de 30 radians. Dans le cas d'une antenne surélevée, sur un poteau, une tour ou un toit, un nombre de 4 à 8 est suffisant.

[note : il s'agit bien ici d'une antenne monobande. Dans le cas d'une antenne multibande, cela implique d'installer 4 à 8 radians par bande utilisable.]

### b - Quelle éventuelle différence peut-on constater si les radians sont installés en pente inclinée vers le sol ?

La figure 17 montre différentes configurations d'angles. Remarquons toutefois que d'une part l'utilisation de radians inclinés impose une installation surélevée de l'antenne et que d'autre part il reste difficile d'envisager une antenne de ce type pour la bande 160 m avec des radians inclinés à 45°.

Deux aspects différents des performances de l'antenne doivent être abordés : le gain et l'impédance au point d'alimentation. Chaque réponse reste néanmoins partiellement dépendante de la hauteur de l'antenne. La figure 18 fournit une partie de la réponse quant au gain d'une verticale avec 4 radians et installée à 2 hauteurs différentes, l'une à 1 longueur d'onde, l'autre à 0,2 longueur d'onde. L'antenne la plus haute montre une progression continue de l'accroissement de son gain tandis que l'angle formé par les radians et le plan horizontal augmente.

Lorsque le plan est constitué de radians inclinés, il perd sa qualité de système symétrique non rayonnant. Le rayonnement polarisé horizontalement reste équilibré et s'annule, cependant le rayonnement polarisé verticalement - qui augmente de manière significative proportionnellement à l'inclinaison des radians -, s'ajoute alors au rayonnement du brin rayonnant vertical. En bref, une antenne verticale installée sur un toit avec des radians inclinés est une forme de dipôle vertical.

En dehors du gain, l'angle d'élévation du rayonnement

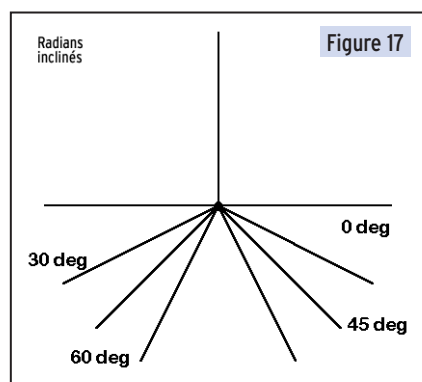


Figure 17

maximum, ou angle de départ [Take-Off Angle, T.O.], ainsi que l'impédance présente au point d'alimentation changent eux aussi avec l'inclinaison des radians. Le tableau qui suit le démontre.

Inclinaison des radians (degrés)	Angle de départ (degrés)	Point alimentation (Résistance) (ohms)
<i>Hauteur : 1 lambda</i>		
0	26	21.3
30	27	41.3
45	28	49.7
60	28	55.9
<i>Hauteur : 0.2 lambda</i>		
0	15	19.4
30	17	43.1
45	18	56.3
60	18	68.6

Il est évident, selon ces valeurs, que l'accroissement de la partie résistive de l'impédance au point d'alimentation en fonction de l'inclinaison des radians augmente plus rapidement lorsque les radians se rapprochent du sol. Pour un angle de 60° en dessous du plan horizontal, la hauteur de 0,2 longueur d'onde pour la base d'une antenne 40 m place les extrémités des radians à environ 60 cm du sol avec un rayonnement en polarisation verticale significatif au niveau de la partie basse de l'antenne.

Il est également évident qu'une augmentation, faible mais néanmoins remarquable, de l'angle de départ a lieu en fonction de l'inclinaison des radians, avec un maximum atteint lorsque les radians approchent la position où l'antenne se transforme en dipôle vertical.

Ce phénomène a lieu parce que le rayonnement de polarisation verticale produit par les radians est situé à une position inférieure à celui du rayonnement issu du brin vertical et avec un angle de départ plus élevé que pour ce dernier, l'angle de départ résultant pour l'antenne étant une moyenne de ces deux valeurs.

### c - Quelles éventuelles différences de performances peut-on constater en fonction de la hauteur de la base de l'antenne ?

Nous ne pouvons que nous appuyer sur une simulation pour répondre à cette question, et la réponse ne pourra qu'être incomplète. Cependant les résultats obtenus indiquent une facette intéressante du fonctionnement d'une antenne verticale. Nous avons placé la base d'une antenne verticale 40 m à des hauteurs de 10, 20 et 30 pieds (3 m, 6 m et 9 m), la base étant considérée comme étant la partie la plus basse des éléments de l'antenne. Nous avons utilisé à la fois une

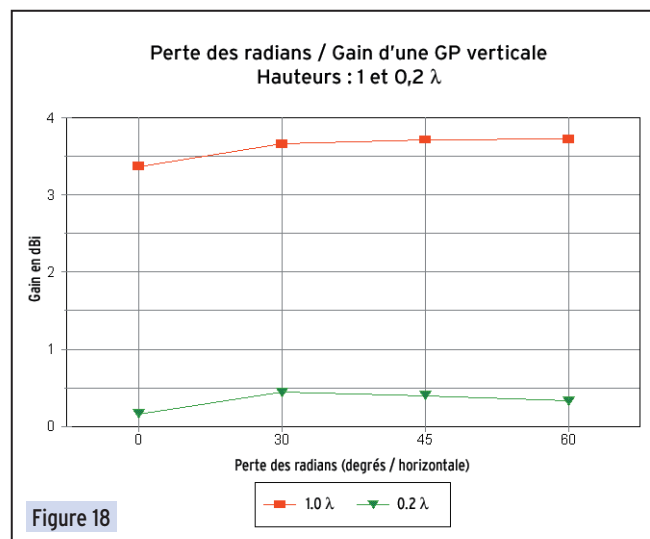


Figure 18

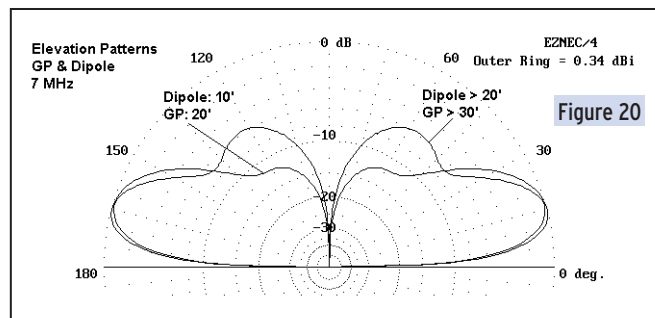
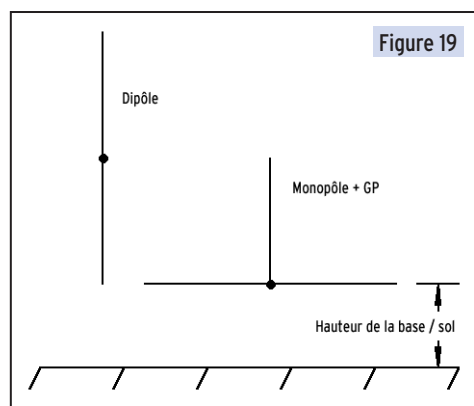
verticale monopôle avec 8 radians et un dipôle vertical demi-onde. Bien entendu, le sommet du dipôle était plus élevé (pour être précis, d'un quart de longueur d'onde). Le plan de radians de l'antenne monopôle est supposé horizontal. La figure 19 montre cette configuration d'essai et les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau qui suit.

Hauteur de la Base en pieds	Gain dBi	Angle de départ (°)	Résistance au point d'alim. (ohms)
<b>A. Dipôle vertical</b>			
10	0.22	16	79.5
20	0.34	15	70.8
30	0.28	14	68.5
<b>B. Monopôle vertical avec radians</b>			
10	0.20	22	26.0
20	0.27	18	21.8
30	0.18	16	19.8

Il n'y a pas beaucoup de choix parmi les configurations d'antennes proposées ci-dessus si l'on s'en tient au gain obtenu. L'écart maximum n'est que de 0,16 dB. Le dipôle vertical présente un angle de départ plus bas dans tous les cas parce que le point d'alimentation est toujours plus élevé d'un quart d'onde par rapport à celui du monopôle dans le test considéré ici. Plus la base de l'antenne verticale est élevée par rapport au sol, plus la partie résistive de l'impédance présente au point d'alimentation est basse. Les faibles valeurs obtenues peuvent surprendre puisqu'on nous dit souvent que l'impédance d'un monopôle quart-d'onde vertical est de 36 ohms au point d'alimentation et à la résonance. En fait elle ne l'est pas. A partir d'une hauteur de 20 pieds (6 m), la résistance au point d'alimentation va varier périodiquement pour cette antenne entre 20 et 22 ohms, la modélisation ayant été effectuée sur la base d'un tube en aluminium de 2 pouces (5 cm) de diamètre et de radians en aluminium d'un quart de pouce (6 mm) de diamètre.

[La notion qui indique qu'un monopôle résonnant installé au-dessus d'un plan horizontal a une impédance résistive de  $36 \pm j0$  ohms au point d'alimentation provient de l'exercice théorique de la modélisation d'un monopôle en tant que simple élément vertical au-dessus d'un sol parfait, et donnant en conséquence automatiquement une impédance égale à la moitié de celle d'un dipôle parfait. Des programmes de calcul peuvent conduire au même résultat lorsqu'ils créent une image mathématique de l'antenne en-dessous de celle qui est modélisée, par rapport au plan d'un

sol parfait. Dans la réalité, l'impédance au point d'alimentation d'un monopôle, installé sur un plan de radians réels, varie considérablement à cause de facteurs qui ne sont pas pris en compte dans des calculs douteux et cédant à la facilité. Le rapport des diamètres entre l'élément principal et les radians joue un rôle important dans la valeur de cette impédance, comme aussi la longueur des radians à la résonance. Dans la pratique, il est fréquent de ne modifier que la longueur de l'élément vertical pour atteindre la résonance et dans ces conditions, le point d'alimentation ne peut que très rarement être réellement situé au point de courant maximum.]



sol parfait. Dans la réalité, l'impédance au point d'alimentation d'un monopôle, installé sur un plan de radians réels, varie considérablement à cause de facteurs qui ne sont pas pris en compte dans des calculs douteux et cédant à la facilité. Le rapport des diamètres entre l'élément principal et les radians joue un rôle important dans la valeur de cette impédance, comme aussi la longueur des radians à la résonance. Dans la pratique, il est fréquent de ne modifier que la longueur de l'élément vertical pour atteindre la résonance et dans ces conditions, le point d'alimentation ne peut que très rarement être réellement situé au point de courant maximum.]

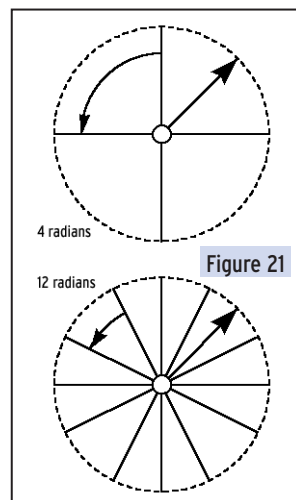
Le gain maximum obtenu pour chaque antenne positionnée à 6 mètres est plus significatif. En fait, la valeur maximum du gain pour le monopôle apparaît pour une hauteur légèrement supérieure et chute plus rapidement lorsque l'antenne est placée 3 mètres plus haut. La figure 20 montre les raisons de ce comportement.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne verticale installée à faible hauteur montre un unique lobe du point de vue de l'élévation. Nous remarquons que l'antenne est relativement insensible à des rayonnements pour des angles d'élévation plus élevés. Lorsque nous augmentons la hauteur de l'antenne, un deuxième lobe apparaît pour un angle d'élévation plus élevé. Ce lobe trouve son maximum aux environs d'une élévation de 60°, valeur trop élevée pour la bonne réception de signaux excepté le bruit atmosphérique.

Ceux qui utilisent des antennes verticales par choix plutôt que par nécessité choisissent souvent celles-ci en sachant parfaitement que le gain ne sera pas compétitif par rapport à celui d'une antenne polarisée horizontalement, toutefois le rapport signal sur bruit est souvent amélioré parce que les parasites atmosphériques, reçus normalement avec des angles d'élévation élevés, sont alors atténués. Une partie de cet avantage disparaît si nous installons l'antenne verticale à une hauteur trop importante pour laquelle le deuxième lobe en élévation devient prépondérant.

Toutefois, lorsque l'environnement l'exige et qu'il n'est pas possible de profiter d'un très grand espace dégagé de tout obstacle, une installation au niveau d'un toit devient la meilleure possibilité et convient parfaitement pour une antenne multibande et compacte.

Une deuxième raison pouvant conduire à élever une antenne verticale résulte de la présence dans le voisinage de diverses sources de parasites telles que des machines électriques et autres instruments constituant des sources d'étincelles. La plupart de ces parasites sont polarisés verticalement mais côtoient le sol par une onde de surface. Elever une antenne verticale peut parfois, mais pas toujours, réduire le niveau de bruit de telles sources. Les sources de bruit produisent des signaux complexes et rien ne peut garantir le succès, mais il n'est pas interdit d'essayer.



d - Qu'est ce qui transforme un plan de radians en plan de sol ?

Un plan de radians constitue simplement l'achèvement d'un monopôle en le transformant dans les faits en un dipôle dont la moitié inférieure ne rayonne pas ou peu. Il ne devient un plan de sol que lorsqu'il est très proche du sol ou en contact avec lui. Comme nous l'avons montré, un effet du contact avec le sol est d'augmenter la partie résistive de l'impédance au point d'alimentation de l'an-

tenne, ce que beaucoup d'analystes ont traditionnellement interprété comme étant le résultat de la somme de l'impédance naturelle de l'antenne et d'une résistance de pertes apportée par le sol.

Il y a peut-être une autre manière de considérer le sol que comme un lieu de pertes. Cette conception ne nous donne aucune idée de la manière dont ces pertes sont occasionnées. Nous pensons au sol comme à une grosse résistance étalée sur une large zone superficielle amorphe. Cette représentation n'a pas de sens.

Un meilleur moyen de concevoir la surface de la terre est de la représenter comme une large surface composée d'un semi-conducteur. Un semi-conducteur est défini en électronique comme un matériau n'ayant pas la conductivité élevée des meilleurs métaux ni la faible conductivité des meilleurs isolants. Entre ces deux états existe un immense territoire.

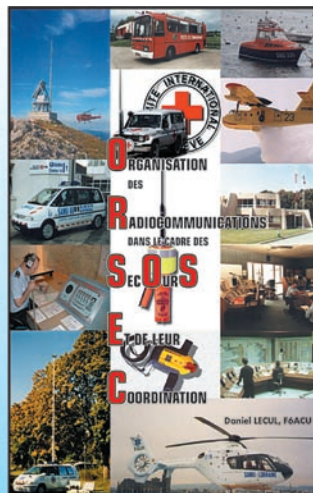
Lorsqu'un monopôle est installé avec un plan de radians dans l'espace, il est installé dans un milieu isolant très efficace. Dans ces conditions, les champs produits par chacun des radians - supposés disposés symétriquement - se combinent pour aboutir à aucun champ du tout. Si nous plaçons ce même plan de radians dans le sol, nous ne pouvons pas parler des champs produits sans avoir au préalable examiné tous les matériaux conducteurs qui constituent le plan. Nous pouvons isoler les radians, mais cela ne change rien, sauf à proximité immédiate de l'isolant : le courant circulant dans le radian produit un champ qui devient immédiatement un courant dans le milieu conducteur adjacent. Le sol étant composé de particules, certaines conductrices et d'autres non, la situation globale d'un plan de sol est un mélange de champs et de courants, chacun étant détectable et mesurable.

Ce qui constitue le plan d'un monopôle vertical lorsque les radians sont dans le sol est la totalité de la zone située à proximité du monopôle, comme suggéré par la figure 21. La frontière de la région concernée est représentée par un trait pointillé parce que cette limite est indéfinie. La longueur des radians ne montre, dans des simulations, que peu d'influence sur les performances de l'antenne lors de variations de leurs dimensions allant jusqu'à 25%, alors que la longueur est critique lorsque la verticale n'est plus au sol. L'enfouissement des radians dans le sol est inutile pour intégrer celui-ci dans le plan de l'antenne car des radians très proches du sol produisent les mêmes effets.

L'augmentation du nombre de radians dans la terre accroît le rôle du matériau de conductivité élevée dans la formation du plan de sol de l'antenne. Non seulement le gain augmente mais la corrélation entre les impédances au point d'alimentation de la même structure disposée en espace libre ou au sol se renforce.

A suivre...

Traduit par  
Francis FERON, F6AWN



Réf. : EA26

## LA LIBRAIRIE MEGAHERTZ

ORSEC :

Organisation des  
Radiocommunications  
dans le cadre  
des SecOurs  
Et de leur  
Coordination

**28,97€**  
+ port 5,34 €

**Utilisez le bon de commande MEGAHERTZ**

Vous vous êtes souvent demandé comment étaient organisées les radiocommunications dans les SecOurs ? Vous n'avez trouvé que des réponses partielles et vous ne savez pas où vous renseigner.

Vous pensez que : La balise ARGOS est une balise de détresse, le GSM remplace, et en mieux, la radiotéléphonie VHF, les balises des avions sont leurs "boîtes noires", une balise personnelle et un ARVA, c'est la même chose, les pompiers et les SAMU ont la même organisation...

Et vous vous demandez : À quoi peut bien ressembler un message de détresse ? Une balise de détresse ? Où se situent les centres de secours spécialisés ? Comment repère-t-on les avions, les navires, les personnes en difficulté ?...

Vous devriez pouvoir trouver les réponses à toutes ces interrogations dans ce livre.

SRC pub 02 99 42 52 73 02/2002

## ATTENTION !

A compter du mois de mars 2002, nos nouveaux tarifs d'abonnement entreront en application. Si vous souhaitez profiter des anciens tarifs,

### ABONNEZ-VOUS AUJOURD'HUI !

**Tarifs applicables, pour la France métropolitaine, en mars 2002 :**

6 mois..... 22 €    12 mois..... 41 €    24 mois..... 79 €

**Tarifs applicables, pour l'Europe et la CEE, en mars 2002 :**

12 mois..... 49 €    24 mois..... 95 €

**Tarifs applicables, pour les DOM-TOM (voie de surface), en mars 2002 :**

12 mois..... 41 €    24 mois..... 79 €

**Tarifs applicables, pour les DOM (par avion), en mars 2002 :**

12 mois..... 66 €

**Tarifs applicables, pour les TOM et l'Océanie (par avion), en mars 2002 :**

12 mois..... 84 €

**Tarifs applicables, pour les autres pays (par avion), en mars 2002 :**

12 mois..... 76 €

(Sous réserve d'augmentation des tarifs postaux pour l'étranger)

**LA LIBRAIRIE MEGAHERTZ**  
Fascicule  
sur la réglementation  
radioamateur  
Réf. : EE05  
**7,62 € + port 5,64 €**  
Utilisez le bon de commande MEGAHERTZ

SRC pub 02 99 42 52 73 02/2002

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges

(4<sup>ème</sup> partie)

## QUESTION N° 7 - COMMENT BIEN FAIRE FONCTIONNER UNE ANTENNE VERTICALE RACCOURCIE ?

Pour les bandes 160 m à 40 mètres, il est difficile pour la plupart d'entre nous d'installer une verticale non raccourcie, même de type quart-

d'onde. La figure 22 montre différentes méthodes pour faire fonctionner des antennes raccourcies : bobine à la base, bobine au centre, charge terminale et système hybride avec self et charge terminale. Laissons de côté cette dernière solution destinée à des antennes très raccourcies, comme les antennes mobiles.

Les différentes méthodes utilisées pour allonger électriquement les antennes courtes posent un problème : la meilleure méthode est la plus difficile à mettre en oeuvre mécaniquement. Les bobines de charge sont sans ambiguïté tandis que le système de capacité terminale possède une grande prise au vent. Regardons tout de même quelques aspects de cette technique.

Pour étudier les différentes possibilités de charge, j'ai pris une antenne ground-plane non raccourcie pour la bande 40 m, avec 16 radians installés à 3 cm du sol. Puis j'ai diminué la hauteur du brin vertical de moitié sans modifier les radians. J'ai ensuite ajouté les systèmes de compensation. La charge à la base, réalisée à l'aide d'une bobine, nécessite une réactance de  $282,2 \Omega$ , soit  $6,28 \mu\text{H}$ . La charge au centre doit être de  $456 \Omega$ , soit  $10,15 \mu\text{H}$ . Ces tests sont établis sur la base d'un Q de 300. La charge terminale est constituée de 4 rayons de 2,77 m de long et de 6,35 mm de diamètre. Dans le tableau qui suit, le gain résultant est rapporté à la valeur de 0 dB pour le monopôle non raccourci.

Antenna	Relative Gain dB	TO Angle degrees	Resonant Source Impedance Ohms
Full-size	0.00	26	38.8
Base-loaded	-3.03	28	18.5
Mid-el. load	-1.52	28	21.3
Hat-loaded	-0.47	27	24.7

Ce tableau ne devrait pas nous surprendre, si l'on s'en tient aux idées préconçues généralement admises pour les antennes verticales. Cependant la différence de gain relatif entre le modèle chargé à la base et celui chargé au centre est néanmoins surprenant. La modélisation d'antennes verticales disposées en espace libre ou encore celle de dipôles chargés soit en leur centre soit au milieu de leurs éléments montre une bien moins grande différence de gain, différence que l'on

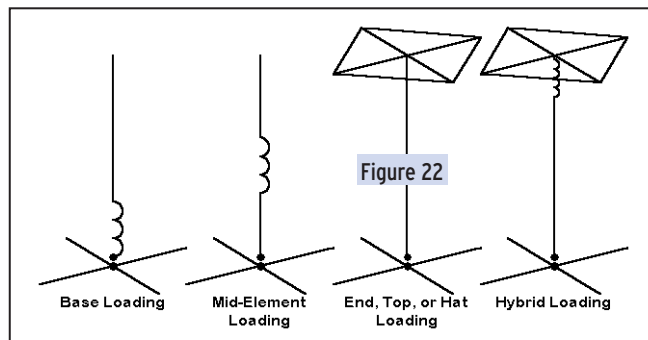
Cet article en plusieurs parties, commencé dans notre numéro 224, répond aux nombreuses questions que l'on se pose sur les antennes verticales. Il résume avantageusement l'abondante littérature qui est éditée sur le sujet et est le résultat de la traduction d'un article écrit par L.B. Cebik, W4RNL, à l'occasion d'une conférence donnée par l'auteur, lors de la réunion de Dayton, Ohio, USA en 1999.

peut qualifier de négligeable en utilisation réelle. Les pertes résultant des charges de compensation (bobines) ont tendance à être équivalentes dans les deux cas car il est nécessaire d'utiliser une plus grande inductance réactive

au centre de l'élément ce qui entraîne de fait une perte résistive plus élevée pour un Q constant.

La différence de gain entre un monopôle chargé à la base et un monopôle chargé au centre provient de la proximité de la charge avec le sol et le plan à angle droit. Le couplage mutuel qui existe entre l'élément principal et les radians (ou entre les segments représentant ceux-ci dans une modélisation) diffère bien plus que dans le cas d'un dipôle linéaire utilisant une charge réactive inductive au centre ou au milieu de ses éléments. C'est un argument pour insérer la charge inductive le plus haut possible dans le cas d'antennes mobiles.

Il apparaît clairement que le modèle chargé au sommet ["top hat loaded"] possède un gain et une impédance au point d'alimentation plus élevés que dans les autres cas. Ce qui est moins bien compris est qu'une charge terminale peut être constituée de n'importe quel nombre de rayons et que ces rayons peuvent être utilisés en l'état ou avec un conducteur réunissant leurs extrémités. La figure 23 montre les résultats d'une étude que j'ai réalisée avec un monopôle 3 MHz et des charges des deux types. Puisque la longueur effective d'un rayon tient compte d'une partie du conducteur périphérique (environ la moitié de la longueur réunissant deux extrémités adjacentes), la longueur physique des rayons reste inférieure dans le cas d'un système avec conducteur périphérique par rapport à un système constitué de rayons non réunis entre eux. Les deux systèmes convergent aux alentours d'une soixantaine de rayons, au-delà desquels ils représentent un disque plein.



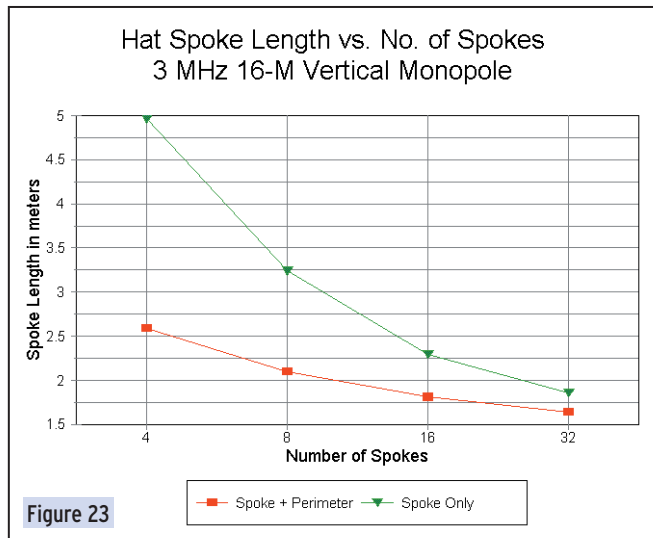


Figure 23

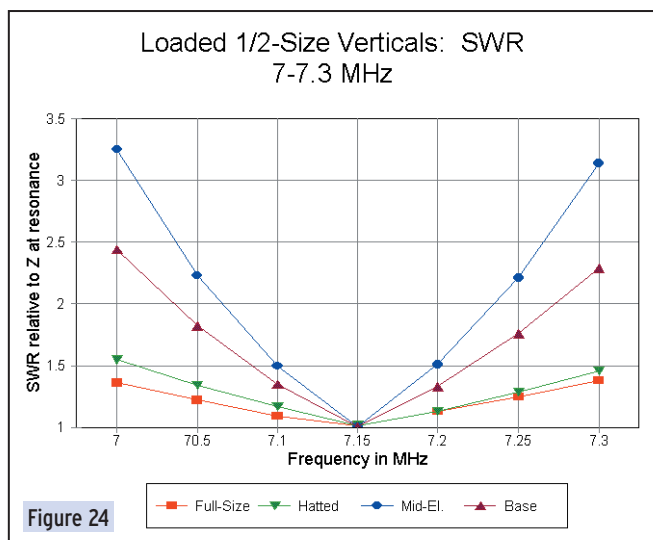


Figure 24

La figure 24 montre la courbe de ROS pour la bande 40 mètres pour les antennes étudiées dans le tableau précédent. Chaque courbe est référencée par rapport à l'impédance de l'antenne pour sa fréquence de résonance établie sur 7,15 MHz. Bien évidemment, l'antenne non raccourcie présente la courbe de ROS la plus plate, suivie immédiatement en cela par l'antenne à charge terminale.

J'ai eu l'occasion d'attirer votre attention sur les surprises qui peuvent vous attendre, par exemple dans le cas d'antennes verticales installées au-dessus de différents types de sols. Voici une autre occasion de le faire. La largeur de bande de

plus étroite obtenue avec les échantillons précédents résulte du modèle chargé au centre et non de celui chargé à la base, contrairement à la réputation habituelle de l'une et de l'autre.

Les antennes monopôles verticales avec radiaux, placées près du sol ou sur le sol, réservent des surprises, y compris celle de fonctionner très correctement. Le cas le plus mauvais de notre lot, le modèle chargé à la base, est caractérisé par une perte de -3dB par rapport à une antenne non raccourcie, ce qui correspond à une perte d'un demi-point "S". [Note : Il est important de ne pas négliger le fait que L.B. Cebik a modélisé ses charges inductives autour d'un Q de 300 comme indiqué plus haut, valeur correspondant à une self de qualité, et non à un simple enroulement de fil électrique quelconque sur un support quelconque. Diminuer la valeur du Q de la bobine, c'est augmenter la proportion de la résistance ohmique par rapport à celle de l'inductance et c'est en conséquence augmenter très rapidement les pertes, surtout dans un système où l'impédance au point d'insertion est basse et implique la présence d'un courant élevé. F6AWN]

Nous pouvons aussi nous attendre à de telles surprises lors de l'analyse de dipôles verticaux raccourcis. Nous pouvons néanmoins obtenir des performances très honorables avec un dipôle vertical ne mesurant qu'un quart de la taille normale. La recette consiste à minimiser les pertes à la fois dans le système de compensation et dans les connexions associés à des points de basse impédance.

La figure 25 montre différentes méthodes pour charger un dipôle vertical raccourci. Les systèmes au centre et au milieu des éléments sont évidents. On remarquera le procédé utilisé par Moxon avec un radian raccourci associé à une réactance. [Note : Les Moxon, G6XN, auteur de "HF Antennas for all locations"].

Les deux premières descriptions de la figure 25 représentent des doubles charges terminales, une à chaque extrémité du dipôle, ce dernier restant alimenté au centre. Raccourcir les éléments d'une quantité identique à chaque extrémité par l'utilisation d'une charge terminale est une technique connue et utilisée pour les antennes verticales ou horizontales.

A titre expérimental, j'ai conçu un dipôle vertical 7 MHz d'environ 25% de la longueur normale, soit 5,30 m, réalisé en tube aluminium de 32 mm de diamètre et correspondant à une installation amateur classique. La base de l'antenne est à 1,40 m du sol et le sommet de l'antenne à 6,70 m. J'ai ensuite modélisé 4 différentes possibilités pour charger l'antenne :

- 1 - Une inductance au centre : 1201  $\Omega$ , soit 27,3  $\mu\text{H}$ , avec une résistance en série de 4 W pour un Q de 300.
- 2 - Des charges au centre de chaque élément, chacune de 1096  $\Omega$ , soit 24,9  $\mu\text{H}$ , avec une résistance série de 3,65  $\Omega$  pour un Q de 300.

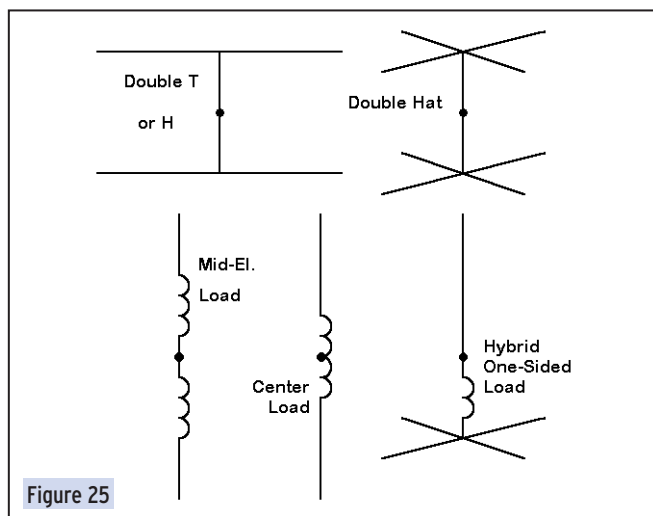


Figure 25

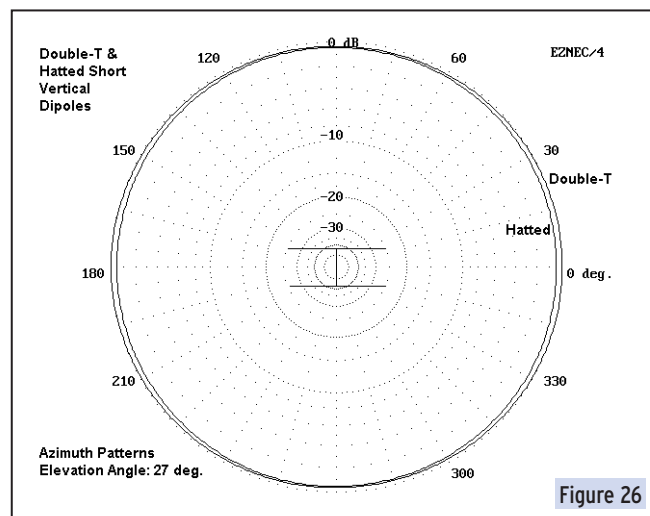


Figure 26



3 - Des charges terminales, à la base et au sommet, composées de 4 rayons de 2,85 m de long chacun réunis par un fil périphérique de 3,2 mm de diamètre.

4 - Des charges terminales, à la base et au sommet, composant des "T" et réalisées en fil conducteur, de 3,2 mm de diamètre, chaque fil ayant une longueur de 14,20 m.

Le tableau qui suit indique les résultats obtenus, le gain de chaque antenne étant référencé par rapport à 0 dB attribué au modèle en "double T" :

Antenna	Relative Gain dB	TO Angle degrees	Feedpoint Z R +/- jX Ohms
Center load	-2.3	26	11.6 - j 0.1
Mid-el. load	-2.1	26	18.0 + j 0.1
4-spoke hat	-0.3	27	28.2 - j 0.3
Double-Tee	0.0	27	26.9 + j 0.4

Les modèles chargés par des inductances présentent un gain inférieur par rapport aux modèles chargés en extrémité. La plus grande partie des pertes se situe au niveau des bobines dont le Q est par nature limité. Si des bobinages sans perte existaient et pouvaient être utilisés, le gain progresserait d'environ 0,5 dB. Cependant, l'impédance au point d'alimentation de l'antenne chargée au centre descendrait à 7,5 ohms tandis que celle de l'antenne chargée au milieu de ses éléments serait d'environ 18 ohms. Les impédances plus élevées indiquées dans le tableau reflètent les pertes occasionnées par les bobines (pour Q = 300).

Parmi les versions à charge terminale, il y a peu de différences et le choix résultera plutôt des facilités d'installation en faveur de l'une ou de l'autre. Comme indiqué à la figure 26, la différence de gain révèle une légère ovalisation du diagramme de rayonnement de l'antenne "double T" dans la direction des extrémités du fil (Cette dérive par rapport à un diagramme circulaire se remarque aussi dans le cas d'un monopôle en T au-dessus d'un plan de sol. Un monopôle quart-d'onde non raccourci au dessus d'un plan de 16 radians au niveau du sol montre le même gain et angle de départ que celui de ces dipôles verticaux légèrement surélevés). D'autres arrangements de charges en extrémité sont possibles. Les modèles présentés ici démontrent la faisabilité du procédé.

### QUESTION N° 8 - COMMENT PEUT-ON RENDRE DES ANTENNES VERTICALES DIRECTIONNELLES ?

Je n'ai pas mis l'accent sur aucune valeur de gain caractéristique pour les échantillons de systèmes d'antennes verticales évoqués ici car le gain effectif dépend de beaucoup trop de variables et rend la généralisation de valeurs particulières sans fondement. Des monopôles quart-d'onde avec un plan de

sol près du sol ou sur la surface du sol nécessitent un grand nombre de radians pour obtenir une bonne efficacité. Un système de radians légèrement surélevés nécessite une attention particulière vis à vis de la symétrie de l'installation afin d'éviter des distortions du diagramme de rayonnement. Les gains varient avec la terre située au voisinage immédiat de l'antenne pour les monopôles installés près du sol. Les gains des monopôles dont le plan de sol est en hauteur et des dipôles verticaux dépendent aussi des sols situés dans la zone de Fresnel ou zone de réflexion.

Quel que soit le gain initial d'une antenne verticale, il est possible d'améliorer celui-ci en utilisant des techniques classiques pour constituer des antennes directionnelles à partir de deux éléments ou plus verticaux. Dans ce processus nous obtiendront aussi une réduction significative du gain vers l'arrière de cet arrangement d'éléments. En bref, il est possible de réaliser une "beam", ou antenne directive, verticale.

Les deux techniques habituellement utilisées pour réaliser des assemblages directifs utilisent soit une mise en phase des courants qui parcourent les éléments, soit des éléments parasites. La figure 27 montre grossièrement les différences de performances prévisibles. Des éléments mis en phase permettent d'obtenir une atténuation très marquée vers l'arrière, souvent supérieure à 30 dB par rapport au gain maximum vers l'avant. Cependant cette atténuation ne concerne en fait qu'un angle d'environ 60°. Le rapport avant/arrière d'une installation à élément parasite n'excède que très rarement 10 à 12 dB mais la réalisation est beaucoup plus facile car les techniques de mise en phase nécessitent de nombreux calculs et une réalisation soignée. [Note : on pourra consulter sur ce sujet l'ARRL Antenna Book et "Low Band DXing" de John Devoldere, ON4UN].

Un système à 2 éléments produit un lobe de rayonnement avant important. Même l'utilisation de techniques d'inversion du sens de rayonnement laisse une partie de l'horizon en dehors du lobe principal. La technique la plus simple pour couvrir l'horizon entier sur 360° à l'aide d'antennes verticales fixes consiste à utiliser 3 antennes disposées en triangle et commutées selon les besoins. Examinons maintenant un assemblage de dipôles verticaux, raccourcis ou non, pour voir ce que cela implique.

La figure 28 montre la configuration de 3 dipôles verticaux dont la base est à 3 m du sol. Pour la bande 7 MHz, les dipôles ont une longueur de 20 m et pour la bande 10 MHz leur longueur est de 14 m. Le triangle 7 MHz a des côtés de 6,70 m, le triangle 10 MHz a des côtés de 4,70 m. Une boîte de jonction centralise des lignes 50 Ω provenant du centre de chaque dipôle. Ces lignes sont réalisées en câble RG 213 ayant un facteur de vitesse de 0,66. Pour la bande 7 MHz leur longueur est de 4,98 m et pour la bande 10 MHz elle est de 3,53 m. Pour chaque direction, une portion de ligne est connectée à la ligne d'alimentation provenant de la station, les 2 autres portions sont court-circuitées afin de former une réactance inductive qui allonge électriquement les éléments à la dimen-

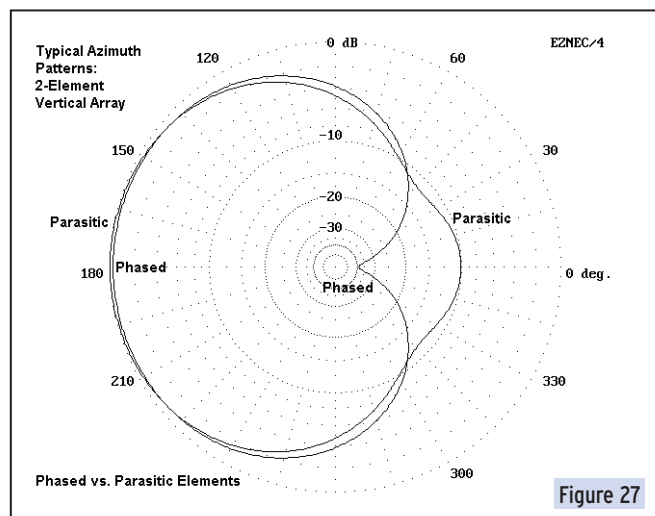


Figure 27

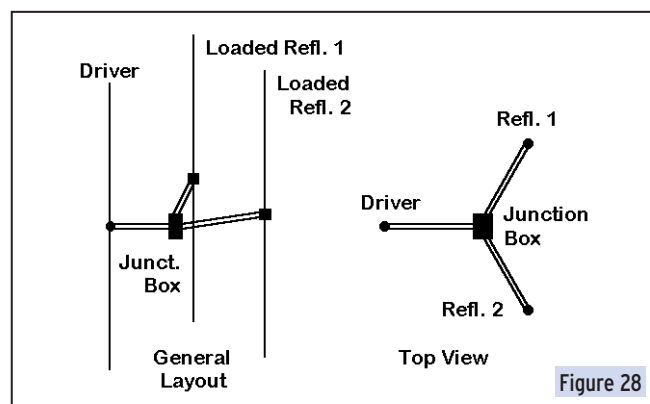


Figure 28

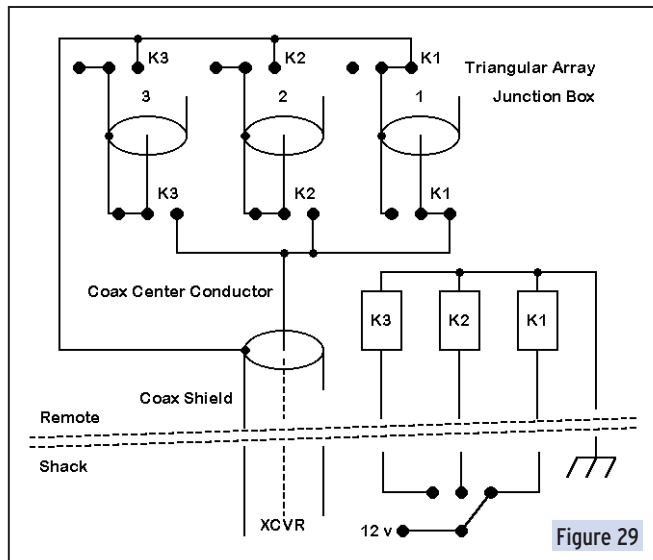


Figure 29

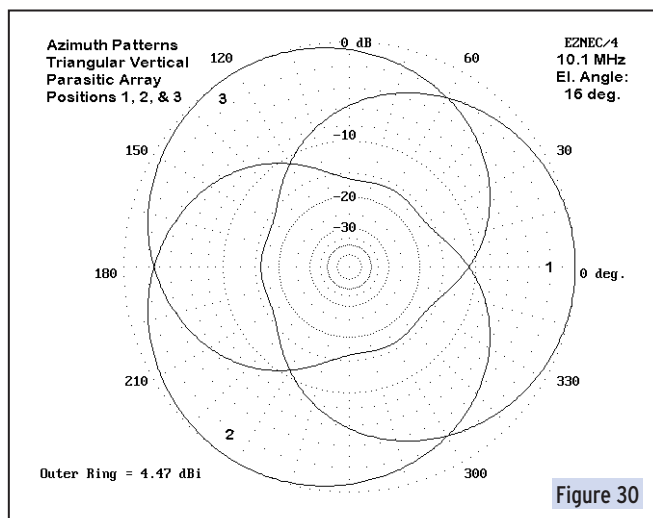


Figure 30

sion souhaitée pour un comportement en réflecteur. Le système de commutation est représenté à la figure 29. On obtient ainsi un assemblage directif commutable dans trois directions qui couvrent l'horizon dans son intégralité, telles qu'indiquées par les diagrammes de rayonnement représentés à la figure 30.

Le gain obtenu est supérieur de 3 dB à celui fourni par un unique dipôle vertical installé à la même hauteur. Le système à deux réflecteurs fournit environ 12 dB de rapport avant/arrière. Cette installation peut paraître simple, mais

la vraie difficulté à surmonter est celle de trouver des supports efficaces pour des dipôles verticaux de cette taille.

Nous pouvons aussi réaliser des assemblages de dipôles raccourcis et chargés en extrémité, comme présentés précédemment, tout en conservant le même écartement (6,70 m pour la bande

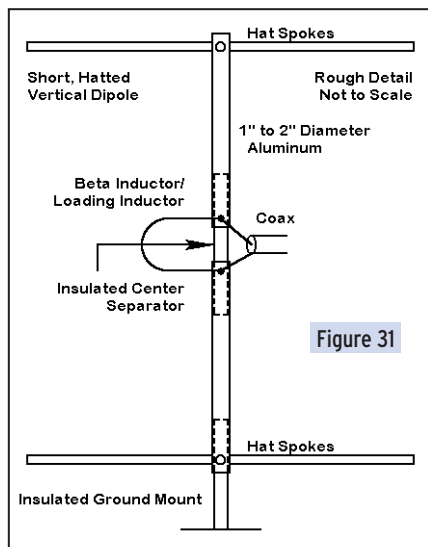


Figure 31

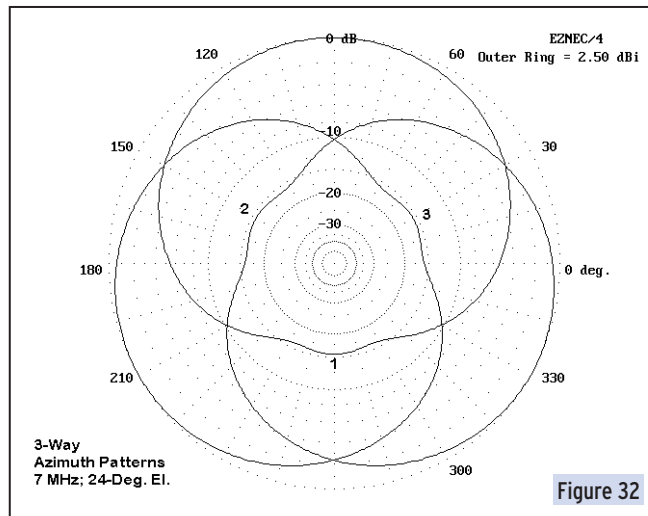


Figure 32

7 MHz) entre les éléments. Dans ce cas, les dipôles pourront être fixés par leur base, comme suggéré à la figure 31.

L'impédance au point d'alimentation pour l'élément alimenté sera d'environ 25 Ω. En raccourcissant un peu les brins du dipôle pour se situer au-dessus de la fréquence de résonance souhaitée, nous obtiendrons une impédance réactive capacitive. Si nous ajoutons une section de ligne court-circuitée ("épingle à cheveu") ou une bobine à travers le point d'alimentation, nous constituerons ainsi un "beta-match" qui transformera l'impédance en ce point en 50 Ω non réactifs nécessaires pour la connexion de la ligne d'alimentation coaxiale 50 Ω.

Les épingles à cheveu restent en place sur chaque point d'alimentation de dipôle. La boîte de commutation utilisée précédemment va servir ici à commuter des lignes quart-d'onde de câble coaxial. Les sections de ligne quart-d'onde provenant des dipôles réflecteurs seront court-circuitées au niveau de la boîte, créant ainsi un circuit ouvert au niveau de l'élément concerné. L'épingle à cheveu ou la bobine devient alors une petite charge réactive inductive qui allonge électriquement l'élément pour un fonctionnement en réflecteur.

Là encore, nous pouvons couvrir 360° avec un commutateur à 3 positions. Le gain obtenu est de 2,5 dB à 3 dB par rapport à un seul dipôle vertical raccourci, avec un minimum de 12 dB de rapport avant-arrière (voir figure 32). Bien qu'un assemblage d'éléments raccourcis ne puisse permettre d'atteindre le gain avant de systèmes non raccourcis, il reste un atout non négligeable lorsqu'une directivité dans le diagramme de rayonnement est souhaitée.

Des assemblages plus complexes sont possibles en utilisant 5 éléments pour constituer un système à 3 éléments parasites dans une disposition quadrangulaire. L'élément central peut être constitué d'un pylône d'une demi-longueur d'onde utilisé par ailleurs pour supporter des antennes directives pour les bandes hautes, les haubans étant utilisés comme réflecteurs en mettant en oeuvre les commutations nécessaires pour les allonger ou les raccourcir électriquement. La principale limite en matière d'antennes directionnelles verticales résulte en fait des seules limites du concepteur en matière de comportement électrique et de réalisation mécanique.

A suivre...

Traduit par Francis FERON, F6AWN

**ABONNEZ-VOUS A MEGAHERTZ**  
et bénéficiez des 5 % de remise sur tout notre catalogue\* !  
\* à l'exception des offres spéciales (réf. BNDL...) et du port.

# Les antennes verticales sans en avoir des vertiges

(5ème partie et fin)

**QUESTION N° 9 - COMMENT PEUT-ON REALISER DES ANTENNES VERTICALES A PARTIR DE FILS QUI SONT PRINCIPALEMENT HORIZONTALS ?**

Il n'est pas obligatoirement nécessaire d'utiliser des éléments verticaux pour produire des diagrammes de rayonnement polarisés verticalement. Nous pouvons construire des antennes polarisées verticalement à partir de boucles de fils, que l'on nomme sous le terme générique de SCV ("Self-contained vertically polarized large wire loops").

La figure 33 montre différentes configurations possibles. Chacune des boucles proposées produit un rayonnement bidirectionnel. Toutes ces antennes sont alimentées à un quart de longueur d'onde de la partie centrale supérieure, ce qui favorise un rayonnement polarisé verticalement. Le fil réunissant le point d'alimentation et le point symétrique sur le côté opposé se comporte comme une ligne de déphasage d'une demi-longueur d'onde inversant la phase du courant. La tension et le courant aux points opposés sont égaux en amplitude et opposés en phase, créant ainsi un couple de brins verticaux quart-d'onde en phase. Le rayonnement s'effectue sur le côté de la structure. Ces antennes ne nécessitent ni contrepoids, ni plan de sol, ni traitement particulier du sol situé sous l'installation.

Si l'espace disponible est suffisant, il est possible d'obtenir du gain et de la directivité en doublant les éléments de ces structures, comme indiqué à la figure 34.

Le tableau suivant fournit une indication générale des gains relatifs de quelques configurations classiques pour une fréquence de 7 MHz et une hauteur maximum de 15 mètres :

Nom de l'Antenne	Gain dBi	Rapport Avant-Côté dB	Angle de départ	Impédance Z Ohms
Equi. Delta	1.5	- 3	18	135
R.-A. Delta	1.9	- 5	20	60
Dbl R-A Delta	3.7	-12	20	40
Sq. Quad	1.6	- 4	18	145
Dia. Quad	1.5	- 4	16	135
Rect. (MS)	3.0	-12	17	15
Dbl MS	3.3	-12	17	80
Open DMS	4.5	-25	16	30
Half Square	3.4	-15	18	65
Bobtail	5.0	-28	18	40

Dans les valeurs indiquées dans ce tableau, certaines antennes ne sont pas installées à la hauteur optimale qui leur est propre. En dessous de cette valeur, les interactions avec le sol

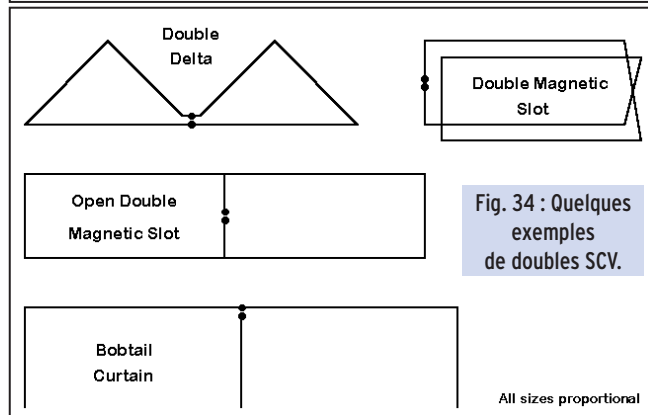
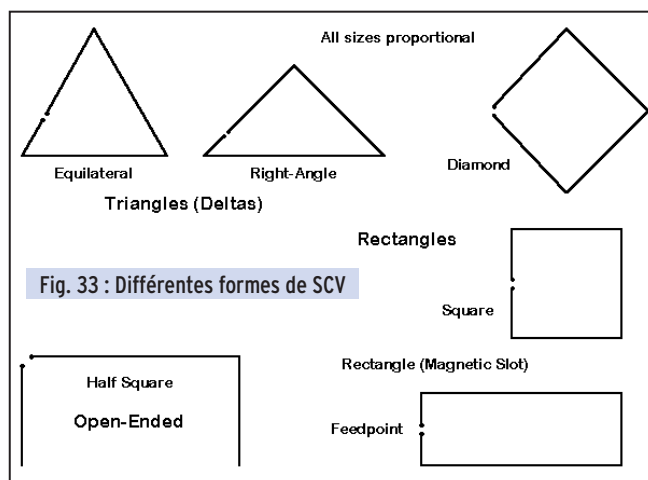
Cet article en plusieurs parties, commencé dans notre numéro 224, répond aux nombreuses questions que l'on se pose sur les antennes verticales. Il résume avantageusement l'abondante littérature qui est éditée sur le sujet et est le résultat de la traduction d'un article écrit par L.B. Cebik, W4RNL, à l'occasion d'une conférence donnée par l'auteur, lors de la réunion de Dayton, Ohio, USA en 1999.

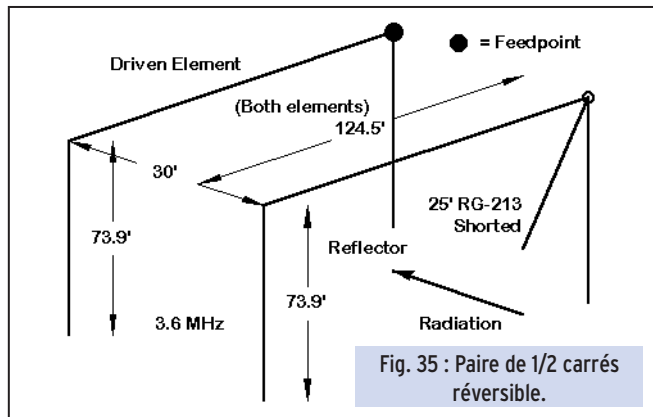
réduisent le gain de manière significative ; au-dessus de cette valeur, l'apparition d'un second lobe de rayonnement diminue le gain disponible au niveau du lobe principal dont l'angle de départ est le plus bas.

Deux avertissements sont nécessaires pour obtenir le meilleur de ces antennes :

- Premièrement, n'espérez pas tout d'elles. Elles peuvent fournir du gain et une certaine directivité par rapport à un monopôle ou un dipôle vertical. Cependant ce gain n'est pas celui d'un dipôle horizontal installé à au moins une demi-longueur d'onde au-dessus du sol.

Au lieu d'un signal plus puissant, espérez plutôt un meilleur rapport signal sur bruit pour les signaux DX, puisque le dia-





gramme de rayonnement en élévation est typiquement celui des monopôles, c'est-à-dire avec un seul lobe et un angle de départ peu élevé.

- Deuxièmement, la conception et la réalisation doivent être soigneusement effectuées. Toute approximation peut conduire à des déceptions. Non seulement une hauteur optimale existe, mais il existe aussi une forme optimale pour obtenir un gain maximum. Dans certains cas, le rapport entre les dimensions verticales et horizontales peut varier selon la fréquence. Des informations complémentaires sur ce sujet peuvent être trouvées dans une série d'articles publiés en 1998 et 1999 dans *The National Contest Journal* et disponibles sur le site Internet de L.B. CEBIK.

Il est assez facile de combiner une paire de boucles pour réaliser un assemblage à éléments parasites. La figure 35 montre l'exemple d'une paire de demi-carrés réversibles. La longueur du morceau de câble coaxial installé sur le cadre réflecteur est appairée avec un morceau de ligne identique installé au point d'alimentation du radiateur et ces deux portions de câble rejoignent une boîte de commutation. L'inversion de l'alimentation et du court-circuit sur l'un ou l'autre des câbles inverse aussi le sens du rayonnement. La portion de câble court-circuitée constitue une charge inductive qui allonge électriquement la boucle non alimentée et lui confère ainsi un rôle de réflecteur.

La figure 36 montre les performances probables d'une telle antenne directive lorsqu'elle est installée à la hauteur optimum au-dessus du sol. Le gain avant est supérieur d'environ 3 dB par rapport à un simple demi-carré et le rapport avant-arrière est au minimum de 18 dB. L'angle de départ faible permet d'excellentes performances en DX, sous réserve bien entendu que l'ensemble soit dirigé dans les bonnes directions.

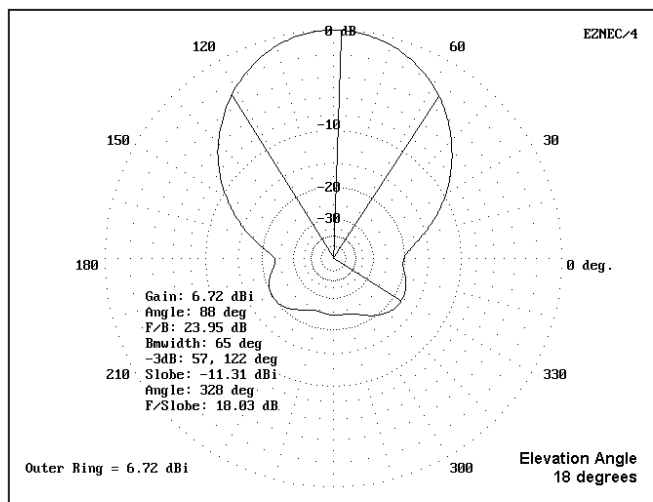


Fig. 36 : Diagramme azimutal d'une 2 él. demi-carré.

Les antennes Loop polarisées verticalement ne nécessitent que du fil électrique, quelques accessoires et des supports adéquats pour maintenir en place l'ensemble ; elles constituent une alternative intéressante aux antennes Yagi réalisées en tubes d'aluminium. Pour chaque bande, la hauteur d'installation nécessaire est modeste comparée à celle requise pour des antennes horizontales ayant une efficacité identique.

### QUESTION N° 10 - JUSQU'A QUEL POINT PEUT-ON DIRE QU'UNE ANTENNE VERTICALE FONCTIONNE BIEN ?

La réponse à cette question dépend bien évidemment de ce que l'on estime important dans le "fonctionnement" d'une antenne. Si ce que nous souhaitons obtenir est une antenne pour les bandes basses qui favorise un angle de rayonnement ou de réception bas afin de produire un rapport signal sur bruit élevé mais pas nécessairement plus de puissance sur les signaux DX, alors l'une ou l'autre des antennes verticales évoquées ici peut constituer une candidate de choix. Par exemple, l'antenne 2 éléments demi-carrés que nous venons de décrire dépassera les performances en DX d'une antenne Yagi placée à la même hauteur maximum de 30 mètres mais pas pour des liaisons à courte distance. Les diagrammes de rayonnement présentés à la figure 37 montrent quelles en sont les raisons. L'antenne Yagi possède plus de gain brut, mais la plus grande partie de la puissance émise ou reçue résulte d'un angle trop élevé pour la plupart des signaux DX puisque l'antenne n'est qu'à une hauteur d'un tiers de longueur d'onde du sol. L'antenne 2 éléments demi-carrés, installée à la même hauteur, procure plus de puissance à un angle plus bas.

Des installations plus modestes peuvent laisser supposer des performances moindres, mais néanmoins des diagrammes de rayonnement similaires et donc de meilleurs contacts sur le *long-path* et ses signaux faibles. Cependant même ces installations doivent être conçues et construites avec précaution pour récolter tout ce que les antennes verticales peuvent produire. Avec un monopôle installé au niveau du sol, 4 radians peuvent conduire à quelques résultats, mais 30 radians produiront de bien meilleurs résultats et 60 radians et plus permettront d'atteindre réellement les performances d'une antenne verticale.

L'installation d'une antenne nécessite aussi qu'une attention particulière soit apportée à l'environnement. Les antennes verticales montées au niveau du sol ou à proximité immédiate de celui-ci ont tendance à être sensibles à l'encombrement du sol et aux sources de bruit radioélectrique. Un espace dégagé d'un minimum d'une longueur d'onde, et si possible beaucoup plus, est nécessaire si l'on souhaite obtenir de bons résultats. Bien évidemment, un emplacement radioélectriquement calme est un énorme avantage.

Pour un citadin, une installation surélevée peut être la meilleure solution, si elle est réalisable. Une installation au niveau du sommet d'un toit d'au moins 10 m de haut peut réduire le niveau de réception du bruit local et améliorer la

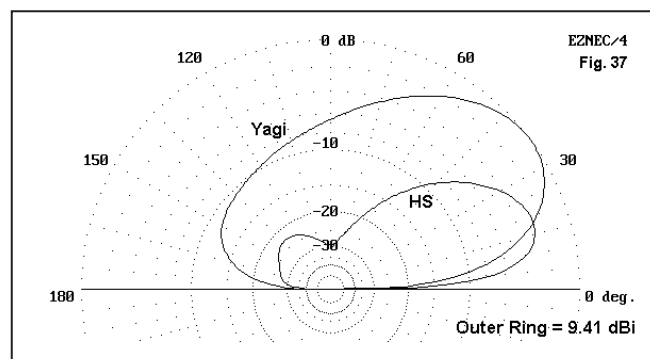


Fig. 37 : Diagrammes d'élévation pour une 2 él. Yagi et une 2 él. 1/2 carré à environ 30 m.

force des signaux tant en émission qu'en réception, spécialement avec les antennes verticales multibandes à trappes. Cependant, si l'antenne est un monopôle quart-d'onde, il est nécessaire d'installer dans ce cas un système de *contreponds* [nota du traducteur : il nous semble préférable malgré les réticences de l'auteur exprimées précédemment, mais néanmoins en accord avec ses explications antérieures, d'utiliser ici le terme de *contreponds* au lieu de *radians*. En effet l'antenne est surélevée et les caractéristiques des éléments ajoutés influent sur la ou les fréquences de résonance de l'antenne. F6AWN]. Un minimum de 4 *contreponds* par bande, installés symétriquement est nécessaire.

Les installations de ce type (surélevées, en milieu urbain) doivent prendre en compte les risques de décharges électrostatiques et de susceptibilité à la foudre, mais sans toutefois permettre aux signaux HF de circuler vers le sol. L'installation de selfs de choc dans le circuit de mise à la masse est une solution possible.

Quelle que soit la cause qui influe sur le choix d'une antenne verticale, la clé du succès se trouve dans la bonne compréhension du fonctionnement de cette antenne et de ses divers arrangements. Le but de cet article est de débarrasser les discussions sur les antennes verticales de certains raisonnements démodés et de propos incompetents et carrément nuisibles.

Même lorsqu'elles sont abordées avec une infinie prudence, les installations d'antennes verticales restent soumises à un ensemble de variables qui peuvent normalement défier toute analyse précise. En particulier, la connaissance de la nature exacte et du comportement des sols situés à proximité et à distance de l'antenne est hors d'atteinte des moyens amateur et constitue aussi un handicap pour les spécialistes. Tout n'est pas encore actuellement tranché non plus quant aux différences qui existent entre une antenne installée au niveau du sol avec un système de radians posé au sol ou avec un système surélevé. Mais cela ne veut pas dire que nous ne pouvons pas encore apprendre plus sur les antennes verticales. Cela ne veut pas non plus dire que nous ne pouvons pas les utiliser efficacement. Mais disposer d'éléments suffisants pour aboutir à un raisonnement correct est un moyen d'éviter ce vertige étourdissant qui a pollué par le passé l'étude et l'utilisation des antennes verticales.

### BIBLIOGRAPHIE :

- The ARRL Antenna Book.
- The ARRL Antenna Compendium series.
- The Amateur Radio Vertical Antenna Handbook, Paul LEE, N6PL.
- All About Vertical Antennas, Bill ORR, W6SAI.
- Vertical Antenna Classics, Stuart COWAN, W2LX.
- Antennas and Techniques for Low-Band DXing, John DEVOLDERE, ON4UN.
- The National Contest Journal (ARRL).

Traduit par Francis FERON, F6AWN

# KENWOOD

## LA MESURE



### OSCILLOSCOPES

Plus de 34 modèles portables, analogiques ou digitaux couvrant de 5 à 150 MHz, simples ou doubles traces.



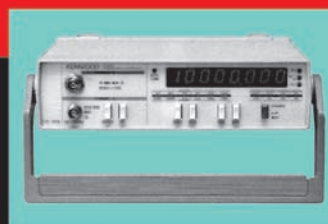
### ALIMENTATIONS

Quarante modèles digitaux ou analogiques couvrant tous les besoins en alimentation jusqu'à 250 V et 120 A.



### AUDIO, VIDÉO, HF

Générateurs BF, analyseurs, millivoltmètres, distortiomètres, etc.. Toute une gamme de générateurs de laboratoire couvrant de 10 MHz à 2 GHz.



### DIVERS

Fréquencemètres, générateurs de fonction ainsi qu'une gamme complète d'accessoires pour tous les appareils de mesure viendront compléter votre laboratoire.

**GES** GENERALE ELECTRONIQUE SERVICES  
205, RUE DE L'INDUSTRIE  
Zone Industrielle - B.P. 46  
77542 SAVIGNY-LE-TEMPLE Cedex  
Tél. : 01.64.41.78.88  
Télécopie : 01.60.63.24.85

ET 5 MAGASINS GES À VOTRE SERVICE

**LIBRAIRIE MEGAHERTZ**

**LE SIÈCLE DE LA RADIO**

52 pages sur l'Histoire de la Radio. Origines, causes et raisons de tout ce qui concerne la Radio. Nombreuses illustrations des expériences et portraits des grands noms de la radio.

**17,99 €**

Utilisez le bon de commande MEGAHERTZ

52 pages sur l'Histoire de la Radio. Origines, causes et raisons de tout ce qui concerne la Radio. Nombreuses illustrations des expériences et portraits des grands noms de la radio.

**17,99 €**

Ref. : EK03 + Port 5,34 €