

L'antenne long fil (et verticale).

(par ON5HQ)

Utilisée par de nombreux OM, cette antenne peut donner de très bons résultats si bien installée. Mais est ce toujours la cas ?

Il est décevant de voir le nombre de radioamateurs n'ayant jamais prêté attention et bien appliqué les règles et lois régissant le fonctionnement d'une antenne. Il faut bien constater hélas que trop d'ouvrages ne sont pas assez explicites à ce sujet.

Alors que certains radioamateurs sont très satisfait de l'antenne long fil, bon nombre d'autres amateurs ont rencontré des problèmes (d'accord, de TVI et de performance) et l'on alors classée dans la catégorie des mauvaises antennes. Mais à l'examen, on constate bien souvent que les exigences d'installation d'une telle antenne sont hélas rarement rencontrées.

La véritable antenne long fil est un fil tendu de grande longueur (quelconques et de plusieurs longueurs d'onde).

Généralement, le terme « antenne long-fil » est attribué à toute antenne filaire, de longueur quelconque, alimentée à son extrémité dès la sortie de l'émetteur (fig. 1), par l'intermédiaire d'une boîte de couplage.

Son principal avantage réside dans le fait que, comme dans le cas de l'antenne Lévy, la longueur physique de brin rayonnant peut être quelconque et son installation rapide.

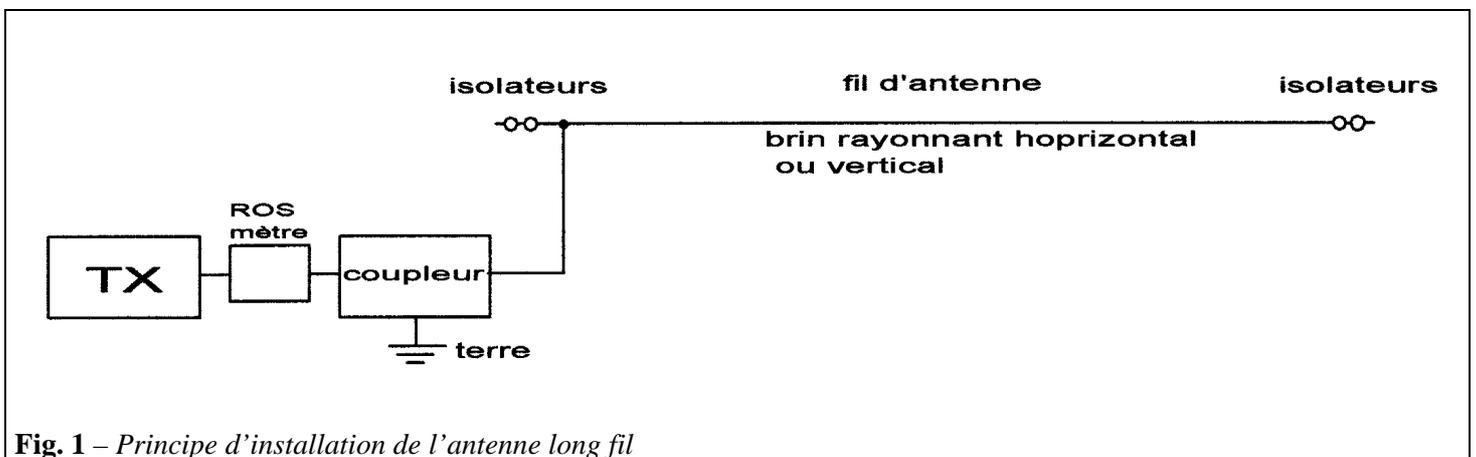


Fig. 1 – Principe d'installation de l'antenne long fil

Rappel :

On appelle résistance de rayonnement R_r d'une antenne le rapport P/I^2 au point où le courant est maximum, et l'impédance d'entrée de l'antenne Z_e l'impédance au point d'alimentation de l'antenne.

Dans le cas d'une longueur de fil quelconque, la résistance peut prendre des valeurs très diverses dépendant en particulier de la fréquence de travail et de la longueur de l'antenne ; elle peut être aussi élevée que 5000 à 6000 Ω et aussi basse que 5 à 10 Ω (ordres de grandeurs des valeurs extrêmes). L'antenne peut par ailleurs présenter au point d'entrée une réactance capacitive ou inductive, ce qui peut rendre l'adaptation de l'antenne à l'émetteur parfois difficile.

Pour adapter l'émetteur à ces valeurs peut usuelles de résistance d'entrée et de réactance présentées par l'antenne, à priori non accordée naturellement sur la fréquence de travail, l'emploi du coupleur est indispensable.

Le coupleur aura pour rôle d'effectuer le transfert maximum de puissance de l'antenne à l'émetteur (voir sur le site www.bts.uba.be ou <http://users.skynet.be/on5hq> les articles traitant du sujet).

L'utilisation conjointe d'un coupleur d'antenne et d'un T.O.S. mètre, intercalé sur la ligne à onde progressive reliant l'émetteur au coupleur, doit permettre, si le coupleur est correctement conçu, l'adaptation de l'antenne à l'émetteur, quel que soient les fréquences de travail et la longueur de l'antenne. Le diagramme de rayonnement et l'efficacité sont un autre problème ... ! Pour une antenne donnée, l'efficacité sera maximale bien-sûr lors de l'adaptation correcte à l'émetteur.

2) Connexion à la terre.

Beaucoup d'O.M. ont rencontré des difficultés de mise au point ou d'utilisation d'antennes long fil, comme par exemple: mauvaise efficacité du dispositif rayonnant, impossibilité de « charger » correctement l'émetteur, retours de tension HF, etc

N'est il pas arrivé à certain opérateurs de se « brûler le nez » sur un boîtier métallique de microphone, ou de se « brûler les doigts » en touchant le microphone ou le châssis de l'émetteur porté à un certain potentiel H.F. par rapport au sol, ou d'avoir rencontré de problèmes de « retour H.F. » sur les étages B.F. de leurs émetteurs?

Dans le cas d'une antenne long-fil, ces échecs ou ces problèmes sont dus généralement à **l'utilisation d'une mauvaise prise de terre**. Un « piquet de terre » planté dans un sol même bon conducteur de l'électricité ou la terre du réseau de distribution de l'électricité n'ont jamais constitué de bonnes prises de terre en haute fréquence, malgré ce que prétendent certains OM certain de posséder une prise de terre parfois même jugée « d'excellente » ?? . Une telle prise de terre est généralement une chimère en HF (je ne parle pas des plans de sol artificiels bien entendu).

De telles connexions ne sont envisageables que pour l'aspect « sécurité ». Elles sont de toute façon nécessaires et obligatoires sur une station d'amateur comme sur l'appareillage électrique en général, mais ne conviennent absolument pas dans le cas d'utilisation d'antennes du type long-fil (ou verticale). Par ailleurs, même si l'on utilise une prise de terre qualifiée « de bonne qualité en haute fréquence », la connexion électrique entre l'émetteur et la terre proprement dite fait partie du système rayonnant. Ceci est particulièrement vrai pour les antennes Long-fil, ce qui impose une **connexion à la terre très courte par rapport à la longueur d'onde** ; et devient de plus en plus difficile à réaliser avec l'augmentation de la fréquence de travail. C'est le cas en général pour les antennes parfois appelées à tort par certains d'antenne « unipôle » ?? . Du point de vue électrique (ou radioélectrique) , une antenne « unipôle » n'existe pas car un courant électrique à besoin de deux conducteurs pour sont transport, et l'un d'eux peut être la terre, comme c'est le cas dans les antennes long-fils et verticales.

Le courant passe par capacité entre les brins rayonnants et la terre, et revient à l'émetteur en passant par la prise de terre.

Mais la résistance d'un sol, quel qu'il soit, est largement supérieure à celle du cuivre, et il convient, grâce à un sol artificiel, de faciliter le retour du courant HF vers la boîte d'accord (fig. 2).

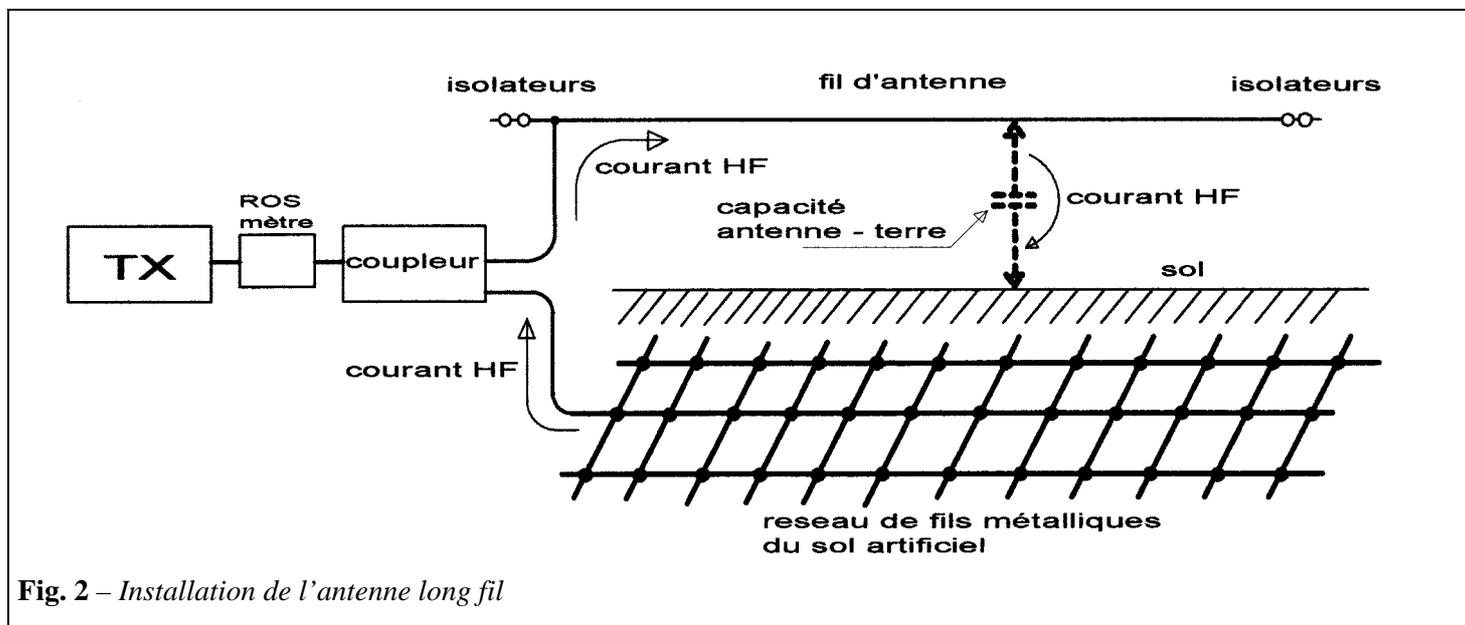


Fig. 2 – Installation de l'antenne long fil

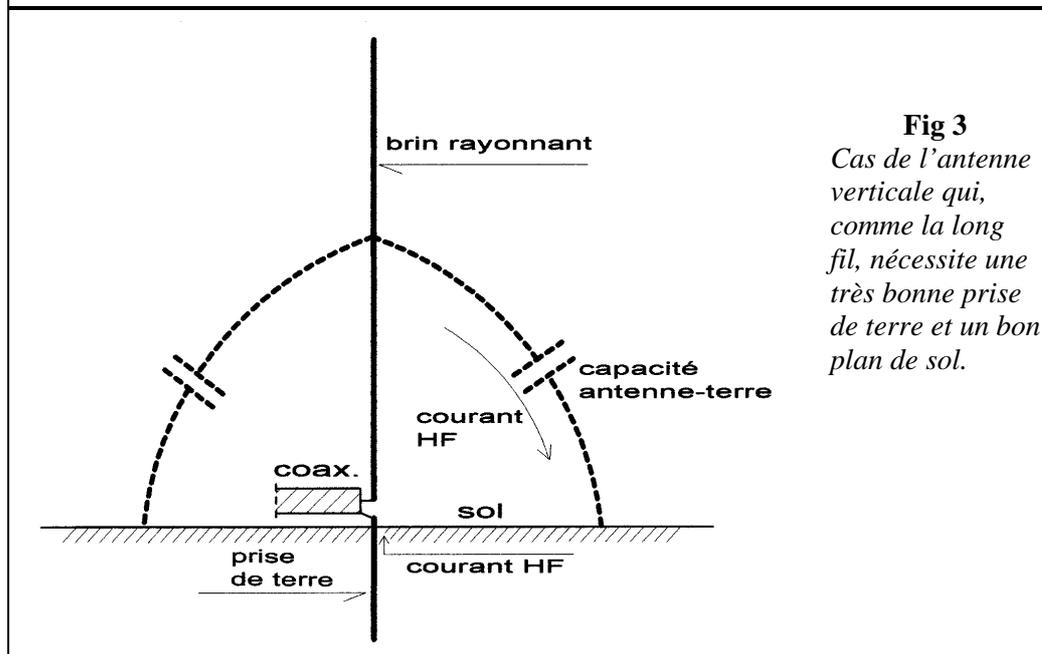


Fig 3
Cas de l'antenne verticale qui, comme la long fil, nécessite une très bonne prise de terre et un bon plan de sol.

Ce sol sera composé d'un réseau filaire monté en treillis. Nous voyons que, en l'absence de « sol artificiel », le courant de retour passe dans la terre et par la prise de terre (ce qui est le cas pour toutes les antennes dites « unipolaires », et dans la résistance de prise de terre à lieu une perte de puissance égale à : $R \cdot I^2$.

Nous voyons que avec des résistances de prises de terre couramment rencontrées, voisines de 20 Ω à 30 Ω et souvent même plus !!!, la perte peut prendre des valeurs importantes.

Pour rappel, on calcule le rendement η d'une antenne par le rapport entre « l'énergie réellement émise par l'antenne » et « l'énergie envoyée par l'émetteur à l'antenne ». On démontre que ce rendement se calcule par la formule :

$$\eta = \frac{\text{énergie rayonnée par l'antenne}}{\text{énergie totale fournie à l'antenne}} = \frac{\mathbf{R_r}}{\mathbf{R_r} + \mathbf{R_p} + \mathbf{R_s}}$$

Où : $\mathbf{R_r}$ = résistance de rayonnement de l'antenne

$\mathbf{R_p}$ = représente les différentes pertes ohmiques et par effet pelliculaire qui peuvent être très importantes en fonction du matériau choisi pour la confection du fil d'antenne

$\mathbf{R_s}$ = représente les différentes pertes dues au sol et à la résistance de la prise de terre

NB : $\mathbf{R_p}$ et $\mathbf{R_s}$ auraient pu être regroupées en un seul terme représentant la somme des résistances équivalentes de pertes, mais j'ai présenté ces deux termes de façon à ne pas oublier la présence de l'effet pelliculaire qui peut avoir une grande importance dans le cas d'un matériau mal choisi pour la confection de l'antenne (voir : Quel matériau pour vos antennes, sur les sites www.bts.uba.be ou <http://users.skynet.be/on5hq>).

Examinons d'un peu plus près les pertes d'énergie dans une antenne :

- les pertes $\mathbf{P_j}$ provoquées par la résistance \mathbf{R} du fil d'antenne. Il faut évidemment calculer \mathbf{R} en tenant compte de l'effet de peau ou effet pelliculaire (skin effect). Pour plus de précisions à ce sujet, voir l'article « quel matériaux pour vos antennes » sur le site du BTS

La perte dans un fil mauvais conducteur de l'électricité, et surtout un fil en matériaux magnétique tel que le fer, peuvent être très importantes.

- La perte de puissance $\mathbf{P_j}$ correspond à : $\mathbf{P_j} = \mathbf{R} \cdot \mathbf{I}^2$ et sert uniquement à chauffer le conducteur.

- les pertes $\mathbf{P_t}$ dans la prise de terre : $\mathbf{P_t} = \mathbf{R_t} \cdot \mathbf{I}^2$

Avec $\mathbf{R_t}$ = résistance équivalente de perte comprenant celle de la prise de terre et de la terre en tant que plan de sol.

On voit que cette perte peut aussi être très importante avec une prise de terre résistante, et désolé pour les OMs qui croient avoir installé une bonne prise de terre, car même dans le cas d'une « boucle à fond de fouille » prévue dans les nouvelles constructions, il est parfois difficile de descendre en dessous de la dizaine d'ohms !!!! que dire alors des piquets de terre ??, et dans le cas d'utilisation de plusieurs piquets, il y a toujours les fils de liaisons qui font, dans une mesure plus ou moins grande en fonction des résistances de terre de chaque piquet, partie de l'antenne, qu'on le veuille ou non !! (des « bonnes » prises de terre de 20 Ω et plus sont courantes et déjà considérées en électrotechnique comme étant une prise de terre convenable !!).

Dans le cas de la long fil et de la verticale, une terre habituelle peut absorber la moitié de l'énergie envoyée à l'antenne.

Citons aussi :

- les pertes par induction dans les masses métalliques voisines $\mathbf{P_i} = \mathbf{R_i} \cdot \mathbf{I}^2$, ou $\mathbf{R_i}$ représente la résistance équivalente de perte.

- Les pertes dans les diélectriques voisins (entrée de poste, végétation, etc. ...) $\mathbf{P_d} = \mathbf{R_d} \cdot \mathbf{I}^2$, ou $\mathbf{R_d}$ représente la résistance équivalente de perte

- Les pertes dues à la conductibilité tant interne que superficielle des isolateurs, généralement faibles, mais qui augmentent avec des conditions atmosphériques telles que : pluie, verglas, brouillard, fumées industrielles, etc. ... ; $\mathbf{P_c} = \mathbf{R_c} \cdot \mathbf{I}^2$, ou $\mathbf{R_c}$ représente la résistance équivalente de perte.

- et enfin, les seules pertes utiles, celles qu'il faut augmenter le plus possible : les pertes par rayonnement $\mathbf{P_r}$!! Cette énergie rayonnée est bien une énergie perdue, mais dans ce cas, de façon utile, car elle se perd dans l'espace, ce qui est bien le but de l'antenne, on a : $\mathbf{P_r} = \mathbf{R_r} \cdot \mathbf{I}^2$.

La résistance totale d'une antenne est donc : $\mathbf{R_t} = \mathbf{R} + \mathbf{R_t} + \mathbf{R_i} + \mathbf{R_d} + \mathbf{R_c} + \mathbf{R_r}$

$\mathbf{R_r}$ représentant la résistance de rayonnement, il est nécessaire, pour obtenir un bon rendement, que la somme des termes composant la résistance totale $\mathbf{R_t}$, excepté $\mathbf{R_r}$, soient la plus faible possible et très inférieur à $\mathbf{R_r}$.

L'importance de la prise de terre apparaît très bien, ainsi d'ailleurs que celle du choix des conducteurs composant l'antenne, et les résistances parasites peuvent devenir très vite importantes, ce qui aura pour effet de diminuer ainsi le rendement de l'antenne, c'est à dire, de diminuer la puissance réellement rayonnée.

Les contreponds et radiales

Ce sont des éléments fondamentaux dans le fonctionnement correct de l'antenne Long-fil ou verticale. A moins de disposer d'un « plan de sol artificiel » exceptionnel tel une grande toiture métallique au dessus de laquelle serait positionnée l'antenne et lui permettre ainsi un fonctionnement parfait. Il s'agit simplement d'un fil isolé, long de $\lambda/4$ à la fréquence de travail, connecté à la masse du système émetteur et dont l'autre extrémité est laissée libre.

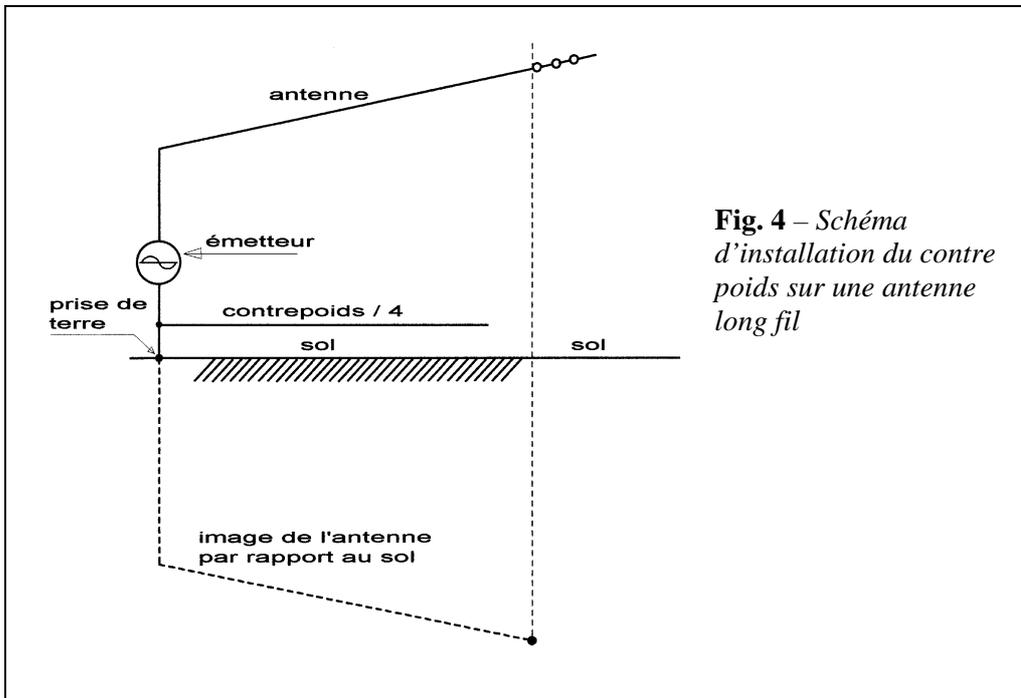


Fig. 4 – Schéma d'installation du contrepond sur une antenne long fil

Le contrepond n'étant pas à proprement parler un élément rayonnant n'a pas besoin d'être « dégagé ». Il peut même être au voisinage du sol, ou le long d'un mur ... ! c'est donc un élément **discret**. Le radiale est par contre un élément **accordé** qui ne fonctionne parfaitement que sur une étroite bande de fréquence. L'O.M. devra donc en prévoir pour chaque bande utilisée.

Le fonctionnement du contreponds est facilement compréhensible (voir fig. 5) ; l'extrémité libre est un ventre de tension; la longueur du radial étant $\lambda/4$ (ou multiple impair de $\lambda/4$), on trouve à l'extrémité «émetteur» un noeud de tension, donc un point à très basse impédance à la fréquence de travail (principe de la « terre artificielle » :

http://bts.uba.be/montages/une_terre_artificielle.pdf ou http://users.skynet.be/on5hq/montages/une_terre_artificielle.pdf)

Le contreponds se comporte donc, vu de l'extrémité émetteur, comme une excellente prise de terre.

Notons cependant que l'utilisation d'un contreponds ne dispense pas de positionner l'antenne au dessus d'un sol bon conducteur de l'électricité. Le contreponds fournit une terre artificielle mais n'améliore pas «l'image » de l'antenne sur le sol (Fig. 4). Pour ce faire, il faudrait reconstituer un « plan de sol » (voir fig. 2); c'est le cas de

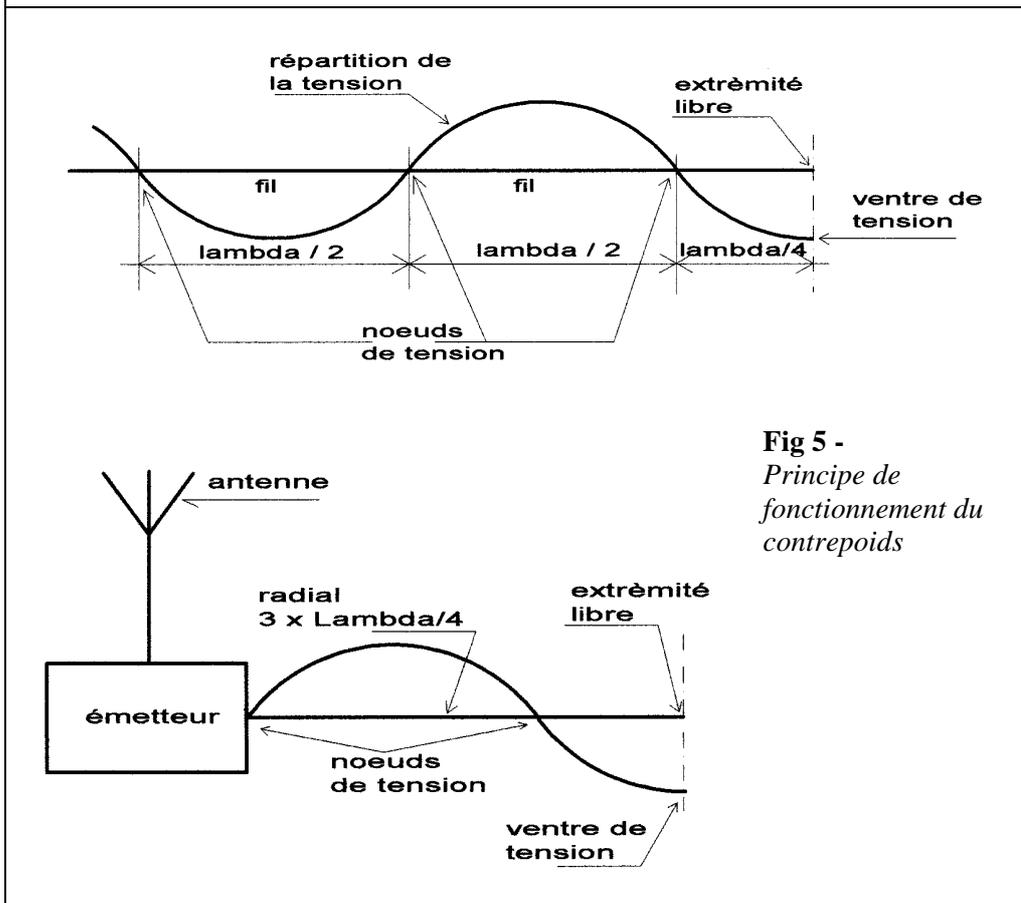


Fig 5 - Principe de fonctionnement du contreponds

l'antenne « ground plane » ou les « radiales » forment un plan de sol artificiel.

On ne pourra donc se passer de prise de terre, mais l'utilisation d'un contreponds permettra d'être moins exigeant sur sa qualité, et même de s'en passer pour un trafic en portable!

Mais la solution idéale pour une station fixe est d'utiliser conjointement une très bonne prise de terre, avec la connexion la plus courte possible au châssis de l'émetteur, et un ou plusieurs contrepoids «taillés» en fonction de la ou des bandes utilisées (et ne pas oublier que cette antenne rayonne dès la sortie du coupleur).

Si la longueur de la connexion à la terre est longue (devant la longueur d'onde), il sera nécessaire d'éliminer la tension HF éventuellement présente à la connexion avec l'émetteur par l'emploi d'un « coupleur de terre » (http://bts.uba.be/montages/une_terre_artificielle.pdf ou http://users.skynet.be/on5hq/montages/une_terre_artificielle.pdf).

L'emploi correct d'une antenne Long-fil ou verticale suppose donc :

- l'emploi d'une prise de terre, la meilleure possible (quelque m² de grillage enterrés) complétée par un ou plusieurs contrepoids;
- l'emploi d'un dispositif de couplage de l'antenne à l'émetteur, chargé de l'accord de l'antenne et de l'adaptation d'impédance antenne/émetteur ;
- l'emploi d'un T.O.S. mètre intercalé sur la ligne adaptée reliant l'émetteur au coupleur (figure 2).

Voilà quelques conseils pour « tirer » le maximum de votre antenne long fil ou verticale, et je vous souhaite beaucoup de succès à tous ceux qui veulent tenter l'expérience.

Mais je ne saurai terminer sans rappeler encore une fois de ne pas juger le bon fonctionnement de votre antenne simplement par rapport aux QSO effectués !!! cela n'est pas une preuve de « bon fonctionnement » et signifie seulement qu'elle rayonne assez d'énergie dans la direction du correspondant que pour avoir pu effectuer la liaison, mais ne dit rien des performances réelles de l'antenne et si elles peuvent être encore améliorées !!

Le seul moyen de réaliser une installation correcte est de bien connaître les notions essentielles concernant vos antennes, les lignes, et de les appliquer ; trop de « marchands d'antennes » vous vendent n'importe quoi et généralement sans le « mode d'emploi !!!!! », car aucun vendeur ne vous renseigne sur les conditions optimum d'installation, et on trouve ainsi des antennes qui ne fonctionnent que par miracle, à côté de celle qui ne fonctionnent pas du tout ou très mal !!!

Une perte de puissance n'est pas dramatique disent certains, puisque une perte de la moitié de la puissance ne provoque que une chute de signal de 1/2 point S (un vrai, bien étalonné HI), et une chute de 75 % (3/4 de la puissance fera chuter le S-mètre de 1 point S seulement !! Ceci est d'ailleurs la raison pour laquelle on ne se rend généralement pas compte que l'antenne peut mieux fonctionner ou fonctionne mal, mais à chacun sa façon d'apprécier le problème ; entre une antenne qui permet des QSO et une antenne qui donne le meilleur d'elle-même et qui permettra les mêmes QSO dans de meilleures conditions encore !!!

Il est bien évident que lors d'installations rapides en portable ou en vacance le problème se pose tout à fait différemment (possibilités d'installation, facilité de transport de l'antenne), et là le but essentiel est de pouvoir « garder le contact généralement pour une période limitée », et avec un espace souvent limité qui ne nous appartient pas !!, mais au QRA, et lorsque la place ne fait pas défaut (et que l'YL l'accepte bien sur), pourquoi se priver d'une bonne antenne ??

ON5HQ