

Chapitre 6 : Les antennes et les lignes de transmissions

par Pierre Cornélis, ON7PC rue J. Ballings, 88 1140 Bruxelles

Annexe 1: Les antennes en pratique

Le programme HAREC ne reprend que quelques antennes élémentaires. Nous allons à présent examiner d'autres antennes utilisées dans le domaine radioamateur. Cette annexe a aussi la particularité d'être aussi volumineuse que la base théorique.

Certaines antennes que nous verrons ici portent l'indicatif ou le nom de leur inventeur. On peut trouver sur Internet des centaines de sites expliquant en détails les réalisations pratiques. Cette liste n'est pas exhaustive, nous n'avons repris ici que quelques "idées".

Nous donnerons également les références de l'article décrivant en détail la réalisation.

Les dimensions que nous donnerons ne sont qu'approximative, dans presque tous les cas il faudra faire des mesures et "retailer" l'antenne.

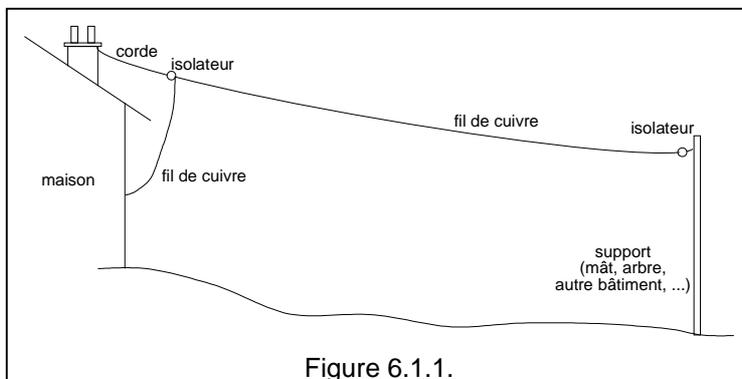
1. Autres antennes filaires

Nous allons regrouper ici toutes les antennes filaires que l'on ne sait pas classer dans une autre catégorie !

1.1. L'antenne long fil

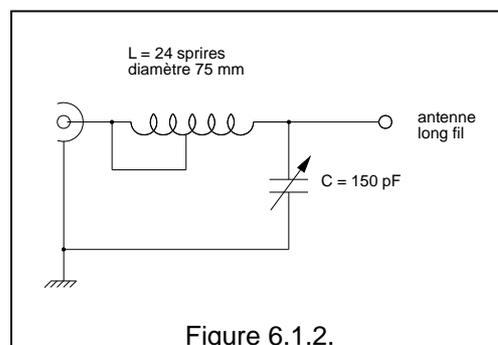
L'antenne la plus simple est certainement constitué par un simple fil dont la longueur est quelconque par rapport à la longueur d'onde. On appelle souvent cette antenne "long fil".

Une antenne long fil ne nécessite pas de ligne de transmission, car l'extrémité du fil entre directement dans la maison ¹ et est directement connectée à l'émetteur ou au récepteur.



Toutefois si l'antenne long fil est utilisée en émission, la désadaptation entre son impédance et celle de l'émetteur pourra nécessiter l'emploi d'un coupleur d'antenne.

On peut soit utiliser un coupleur LC tel que représenté ci-contre. Il s'agit d'un circuit en L avec une self ajustable et un condensateur variable.



¹ Inutile de préciser qu'une antenne long fil rayonne également à l'intérieur de la maison !

Variante:

On peut aussi utiliser un long fil

- vertical le long d'une canne en fibre de verre par exemple,
- horizontal (comme indique ci-dessus)
- ou "un peu n'importe comment"

et partant du fait que l'impédance d'une antenne long fil est relativement grande, on peut utiliser un transfo d'impédance² 1:4 ou 1:9 tel que représenté ci-contre.

On utilisera un tore T130-2 pour des puissances jusqu'à 100 Watts et un T200-2 pour des puissances supérieures avec un enroulement trifilaire de 3 x spires.

On pourra alors choisir le rapport qui donne le meilleur résultat. Le tableau ci-dessous³ montre le SWR obtenu avec un transfo 1:9 et pour différentes longueurs de fil et pour différentes bandes.

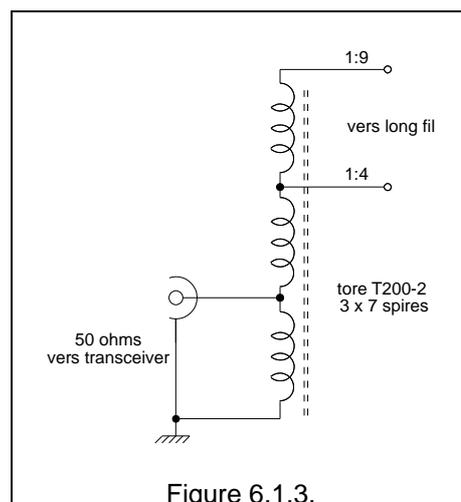


Figure 6.1.3.

Il est important de noter que **l'antenne ne peut pas être en résonance**, il faut donc éviter les longueurs de $\lambda/4$ ⁴.

L'impédance de ce fil, rapportée à la sortie du transfo n'est pas égale à 50 Ω , mais la plupart des coupleurs automatiques intégrés dans les transceivers acceptent généralement des SWR de l'ordre de 1:2 à 1:3. Une longueur de 16,2 m semble relativement intéressante à expérimenter. Notez enfin qu'une bonne prise de terre (au niveau du TCVR) donne de meilleurs résultats.

longueur (m)	1.8 MHz	3.5 MHz	7.0 MHz	10 MHz	14 MHz	18 MHz	21 MHz	24 MHz	28 MHz	50 MHz
54	5.2	1.6	1.1	1.1	1.8	1.3	1.6	1.7	1.2	1.5
53	4.65	1.2	1.2	1.2	2.1	1.4	1.4	1.5	1.2	1.1
50	3.5	1.1-1.7	1.3	1.6-1.7	1.6-1.9	1.8-1.9	1.1-1.5	1.5	1.1-1.7	1.1-1.5
45	3.2	2.2-2.6	2.4	2.4	1.4-1.6	1.3-1.4	1.1-1.2	1.4-1.5	1.1-1.6	1.0-1.6
41.5	3.4	2.7-3.5	2.6	1.6-1.7	2.0-2.1	2	1.6-1.7	1.5	1.5-1.7	1.1-1.4
35	3.3	3.8-3.9	1.2-1.4	1.6-1.7	1.6	1.8	1.6-1.7	1.4	1.1-1.7	1.4-1.5
30	2.8	3.0-3.5	1.6-1.8	2.3	1.8-2.0	1.3-1.4	1.1-1.3	1.7	1.1-1.7	1.1-1.7
27	2.8	2.5-2.8	2.1-2.3	1.8-2.0	1.2-1.4	1.9	1.7-1.8	1.4	1.5-1.7	1.2-1.6
22	2.2	1.7-2.0	2.8-2.9	1.2	1.8-2.0	1.4	1.4-1.6	1.1	1.5-1.7	1.0-1.4
18	1.6	1.6	2.0-2.1	2	1.4-1.6	2	1.0-1.1	1.6-1.7	1.2-1.4	1.4-1.6
16.2	1.6	1.4	1.4-1.6	1.5-1.6	1.1-1.2	1.9	1.2-1.3	1.1	1.7-1.8	1.0-1.2
15	1.5	1.2-1.4	1.3-1.4	2.4	1.2-1.3	1.6	1.6-1.7	1.4	1.4-1.8	1.5-1.6
13.5	3	1.1-1.3	1.1	2.1	1.7-1.8	1.3	1.7-1.8	1.6	1.1-1.3	1.2
11	2.2	1.0-1.3	1.2	1.3	2.0-2.1	1.6	1.2	1.7	1.6	1.5-1.6
9	3	1.1-1.5	1.6-1.7	1.2	2.1	2	1.3-1.4	1.2	1.6-1.8	1.3-1.5
7.5	3.2	1.6-1.8	2.2-2.3	1.6	1.4	2.1	1.8	1.2-1.3	1.2-1.3	1.4-1.5
6.5	3.5	1.5-2.0	2.0-3-0	1.7	1.1	1.8	2	1.6	1.4-1.5	1.3

Des longueurs de 16,2 m ou de 6,5 m sont souvent citées par leurs auteurs comme "le meilleur choix".

² Une version commerciale est distribuée sous le nom de MTFT : Magnetic Transformer For Transmission. Il s'agit d'un transfo, du genre un-un ("unbalanced to unbalanced"), qui emploie généralement des tores ferrites, mais le mot "magnétique" n'est pas utilisé à bon escient ! Parlons plutôt d'un transfo "un-un" avec un rapport de 1:9 (ou 1:4).

³ Selon Ronald OE3REB http://www.oe5.oevsv.at/basteln_js/technik/afu_betrieb/antennen/koppler/oe3reb/qsp1003_s60.htm, et également selon DH3ZK.

⁴ Donc éviter 5,18 m pour la bande des 20 m, 3,45 m pour la bande des 15 m et 2,59 m pour la bande des 10 m.

L'antenne long fil en réception uniquement :

Par contre si l'antenne long fil est utilisée comme antenne de réception radio et dans ce cas on peut se passer de coupleur d'antenne.

1.2. L'antenne en L inversé

Cette antenne est similaire à l'antenne long fil. Sa longueur est égale à $\lambda/2$ et les parties verticale et horizontale ont à peu près la même longueur.

2. Variantes d'antennes dérivées de l'antenne verticale

2.1. A propos des radiales

Au départ, lorsqu'on a commencé avec la radiodiffusion en AM, l'idée était d'avoir un plan de masse avec beaucoup de radiales. "Beaucoup" signifiait 60, 120 ou même plus.

Par la suite lorsque les VHF sont apparues et qu'on a mis ces antennes verticales en hauteur on a constaté que 3 ou 4 radiales dont la longueur était correctement "taillées" (par rapport à $\lambda/4$) suffisait.

Enfin, de nos jours certains prétendent qu'une seule radiale d'un $\lambda/4$ suffit.

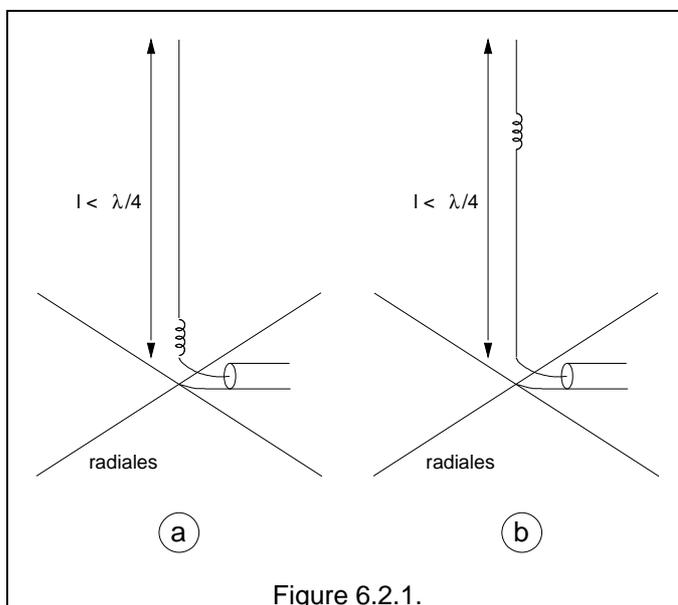
Lorsqu'on réalise une antenne 3 bandes pour 10, 15, 20 m) il est recommandé de commencer par des longueurs de 2,75 m (pour la bande 10 m), 3,60 m (pour 15 m) et 5,40 m (pour 20 m), puis d'ajuster éventuellement ces longueurs en fonction du ROS.

2.2. L'antenne verticale avec self

Les antennes verticales ne doivent pas nécessairement avoir une hauteur de $\lambda/4$.

Particulièrement pour les bandes basses (160, 80 et 40 m) la place (la hauteur) dont on dispose peut être relativement limitée et on peut souhaiter réaliser des antennes verticales plus courtes que des $\lambda/4$. Une solution consiste à "rallonger" l'antenne à l'aide d'une self. Cette self peut être mise à la base de l'antenne, mais alors comme le courant est important, les pertes (en Rl^2) sont également importantes. C'est pourquoi, on préfère insérer la self plus haut que la base de l'antenne et il est courant de la voir au dernier tiers ou dans le dernier quart de la hauteur.

Par exemple, pour pouvoir utiliser une antenne de 9,5 m sur 80 m, il faut une bobine de 15 spires de fil 1,5mm de diamètre et bobiné sur un mandrin de 76 mm, cette self étant placée à la base.



Dans une version pratique (voir QST June 1978 p 16 Build this novice four-band vertical par WB1FSB), l'auteur propose d'utiliser un tube d'aluminium de 7,6 m de haut et d'un diamètre maximum de 25 mm (4 sections télescopiques de 2 m chacune), et une self d'un \varnothing 64 mm avec 30 spires. Les radiales sont constituées d'une dizaine de fils de longueur variant entre 4 et 8 m.

Un condensateur de 100 pF est prévu pour la bande 10 m.

Pour la bande 15 m l'antenne fonctionne en $3/4$ d'onde et il n'y a donc qu'une seule position pour le 15 m et pour le 10 m !

Ce circuit d'adaptation est logé dans un coffret en plastique et monté au pied de l'antenne.

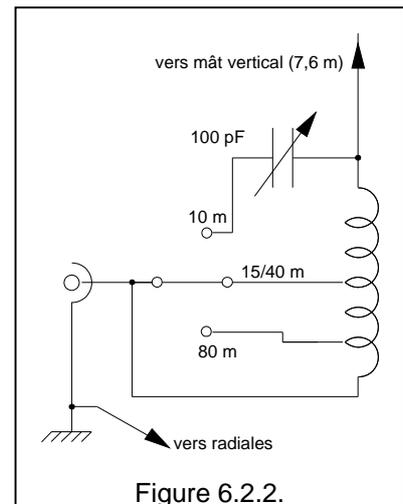


Figure 6.2.2.

2.3. L'antenne verticale avec chapeau capacitif

Antenne verticale avec un "chapeau capacitif". Le chapeau capacitif peut être réalisé par 3 ou 4 tiges (ou tubes) métalliques en haut de l'antenne (figure a). Le rallongement n'est pas très élevé.

On peut ainsi réaliser une antenne pour la bande 40 m constituée d'un tube vertical de 30 mm et de 7,13 m de haut et un chapeau capacitif constitué de 6 branches de 0,5 m en tube de 12 mm. Ces branches sont reliées par un fil périphérique qui rigidifie la structure (voir détails à la figure b) (voir QST 1978 p19 par K3OQF).

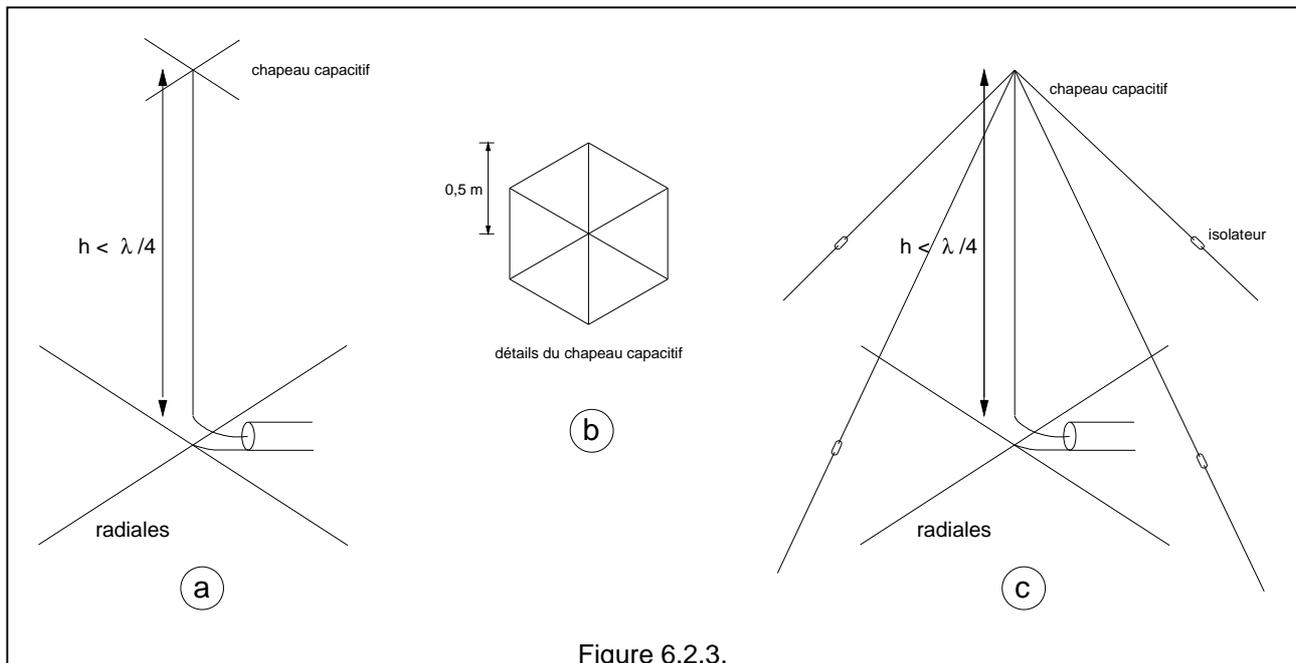
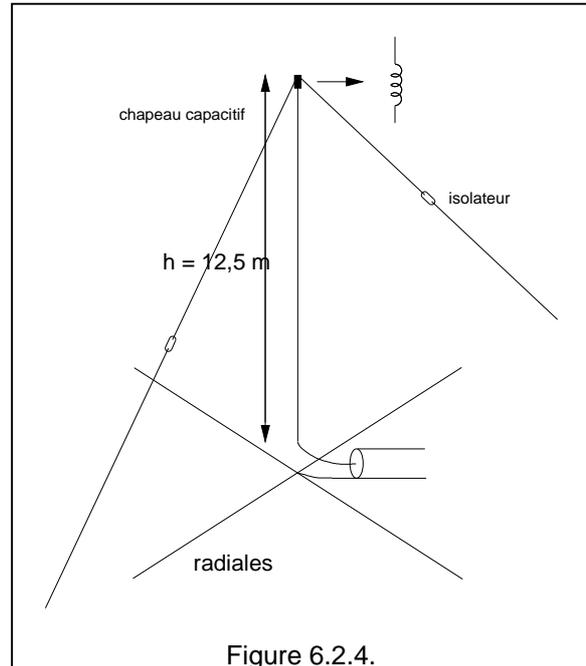


Figure 6.2.3.

Le chapeau capacitif peut aussi être réalisé avec 4 haubans qui redescendent fort bas (presque au sol). On peut ainsi réaliser une antenne pour la bande des 160 m qui est constituée d'un mat de 20 m et de 4 fils de 18 m. Les fils du chapeau capacitif sont prolongés par des haubans (voir figure c).

2.4. L'antenne verticale avec self et chapeau capacitif

On peut évidemment combiner l'effet d'une self et d'un chapeau capacitif. L'antenne ci-contre fonctionne dans la bande de 160 m, elle est constituée d'un mât de 12,5 m en aluminium avec 5 sections de tubes (50, ... et 30 mm). Au sommet de ce mat se trouve une self de 165 μH (47 spires de fils de 1,5 mm sur un mandrin de 50 mm) et deux fils de 9 m qui forment le chapeau capacitif.



2.5. L'antenne "Battle Creek"

L'antenne **Battle Creek** est une antenne pour deux bandes.

Dans l'exemple ci-contre, la partie verticale fonctionne comme un simple quart d'onde sur la bande des 40 m, elle mesure donc 10,15 m. Au sommet de cette antenne se trouve un circuit accordé sur 7,05 MHz. Sur cette bande tout se passe donc comme si les 4 fils du chapeau capacitif n'étaient pas présents.

Par contre pour la bande des 80 m, ce circuit accordé se comporte essentiellement comme un self et les 4 fils du chapeau capacitif qui mesurent 4,40 m viennent "rallonger" l'antenne. Le "rallongement" sur 80 m est donc double : d'une part l'effet de self du circuit bouchon accordé sur 7,05 MHz et d'autre par le rallongement produit par le chapeau capacitif.

Le mat est réalisé en 4 sections de diamètre 45 x 41 , 40 x 36 , 35 x 31 et 30 x 26 mm

A la base se trouve un isolateur en matière synthétique.

Le circuit bouchon résonne sur 7,050 MHz. Il est réalisé avec du câble coaxial téflon RG142 (Ø 5 mm) sur un mandrin d'un diamètre de 40 mm. L'âme (a1) d'un côté est reliée à la tresse (t2) de l'autre côté.

La self correspond à la self équivalente au même nombre de tour et au même diamètre. La capacité est celle du câble.

Pour la reproduction de ce circuit bouchon, il est plus important de tenir compte de la longueur du câble coaxial (et du diamètre du bobinage) plutôt que du nombre de spires. La longueur à considérer est de 1670 mm.

Dans la réalisation, la partie la plus délicate réside dans cette jonction a1-t2 et dans la connexion aux extrémités t1 et a2.

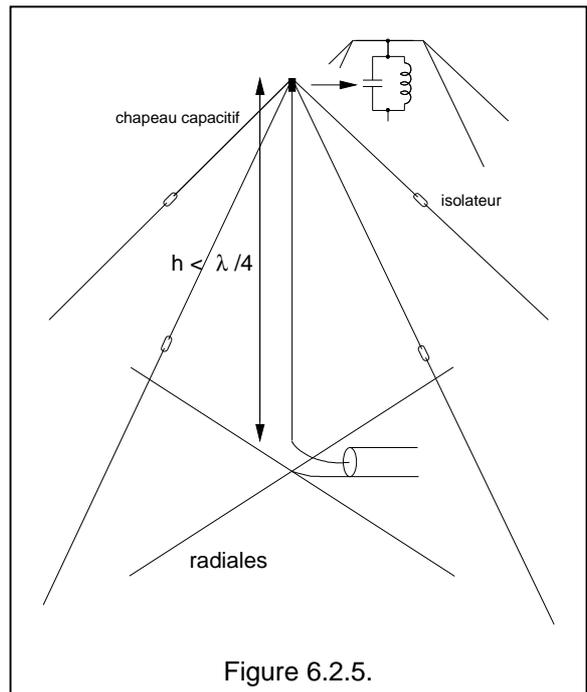


Figure 6.2.5.

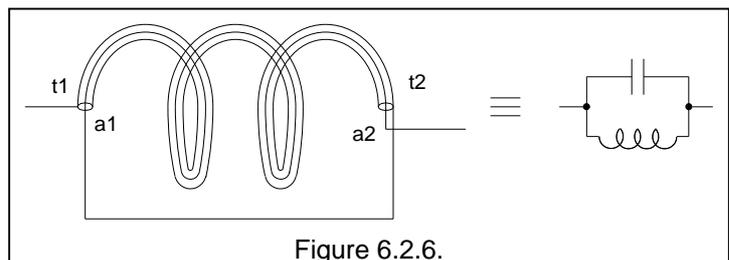


Figure 6.2.6.

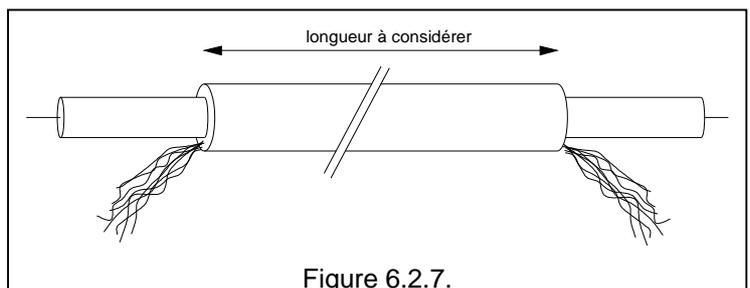


Figure 6.2.7.

(voir aussi QST May 1981 p 15 Coaxial Cable Antenna traps par W3JIP)

2.6. L'antenne verticale à charge linéaire

Antenne verticale avec charge linéaire. En fait on replie une partie de l'antenne sur elle-même. Cette charge peut prendre différentes formes (voir figures b, c et d). La figure e représente le cas d'une antenne à 3 bandes.

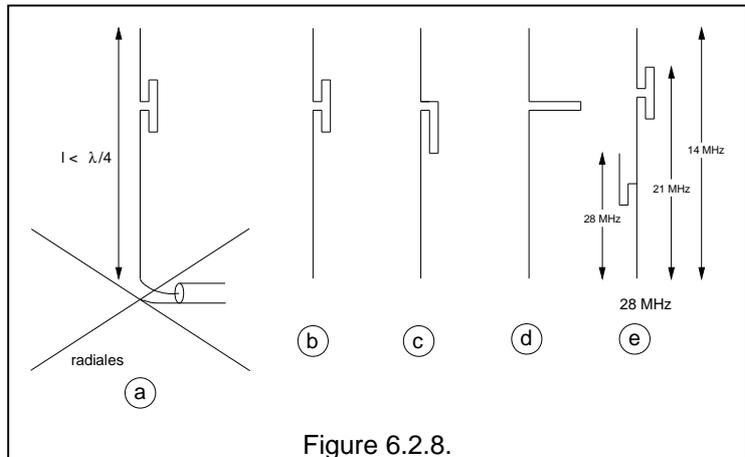


Figure 6.2.8.

2.7. L'antenne verticale à trappes

Les antennes verticales à trappes : Pour réaliser une antenne verticale multi bande (par exemple 10, 15 et 20 m) on peut mettre des trappes c-à-d des circuits accordés qui isolent les sections.

Dans la figure ci-contre la trappe T1 est accordée sur 28,5 MHz et la longueur L1 donne la résonance de l'antenne pour la bande des 10 m.

La trappe T2 est accordée sur 21,2 MHz et donc pour 15 m, la trappe T1 constitue une prédominance selfique, dont la valeur, ainsi que la longueur L1 et la longueur L2 détermineront le fonctionnement sur la bande de 15m.

Et, de manière similaire, les selfs équivalentes des trappes T1 et T2 et les longueurs L1, L2 et L3 détermineront le fonctionnement sur 20 m.

Dans une réalisation pratique : L1 = 2317 mm , L2 = 270 mm et L3 = 330 mm

Les détails d'une trappe sont donnés ci-dessous. La self est réalisée en fil d'aluminium de 2 mm de diamètre et le condensateur est en réalité un condensateur coaxial constitué entre le tube interne T3 (Ø 22 mm) et le tube externe T1 (Ø 40 mm) qui sert aussi de "protection" à la trappe. Il est évident que les longueurs de ces trappes et les selfs équivalentes qu'elles représentent, entrent aussi en ligne de compte pour l'accord de cette antenne.

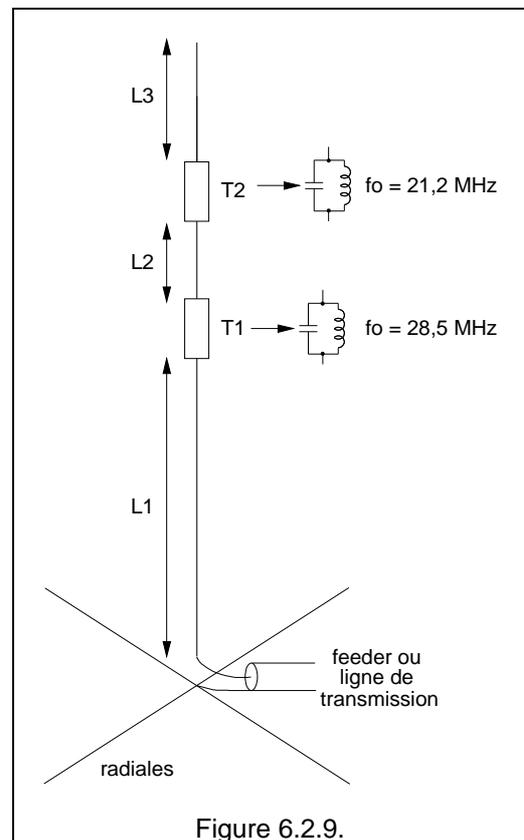


Figure 6.2.9.

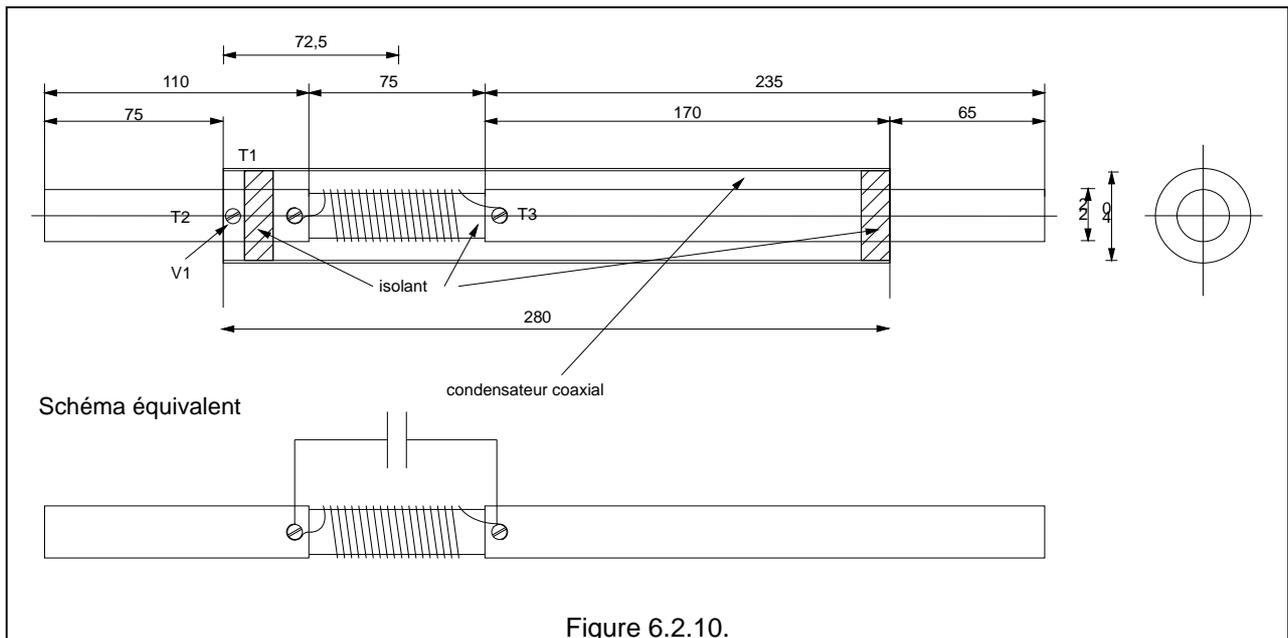


Figure 6.2.10.

En se basant sur ce principe, on peut aussi réaliser des antennes avec plus que 3 bandes.

Une trappe un peu spéciale est celle de la marque Fritzel. Elle combine en une trappe deux circuits accordés et la section d'allongement pour le 15 m. Ceci réduit le nombre de trappes, au lieu d'avoir besoin de 2 trappes pour réaliser une verticale quart d'onde, on n'a plus besoin que d'une seule trappe !

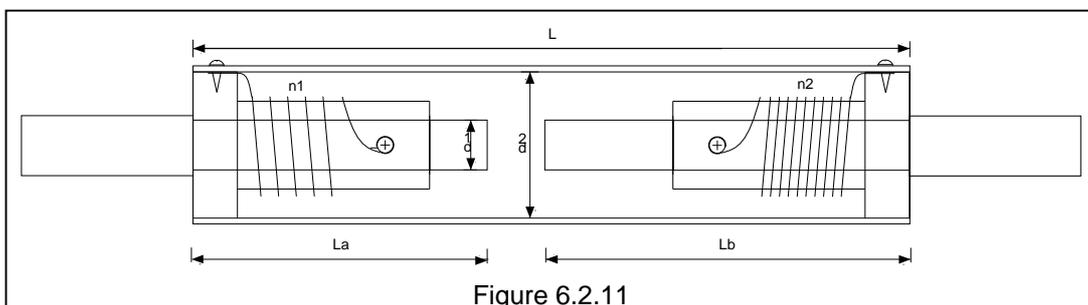
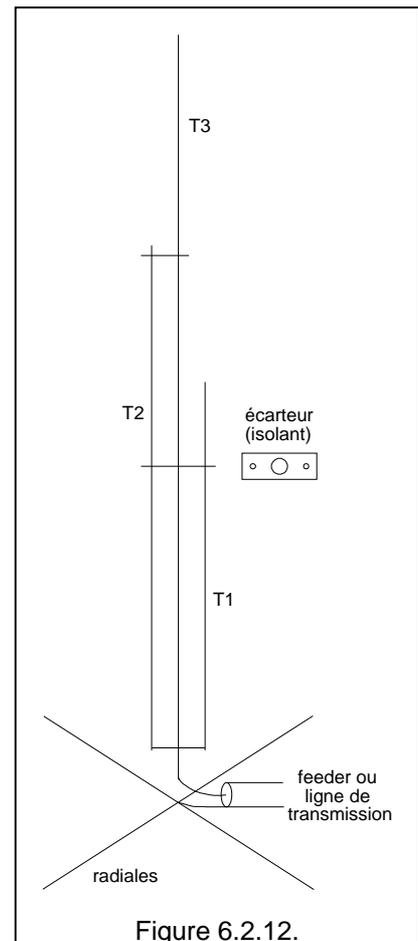


Figure 6.2.11

2.8. L'antenne verticale à éléments pilotés

Autre antenne multi bande verticale : Une autre façon de réaliser une antenne verticale pour les bandes 10, 15 et 20 m est d'ajouter à une antenne verticale pour la bande des 20m, deux éléments couplés. La longueur de l'élément T1 donne la résonance sur 10 m, la longueur de T2 donne la résonance sur 15 m et la longueur de T3 donne la résonance sur 20 m.

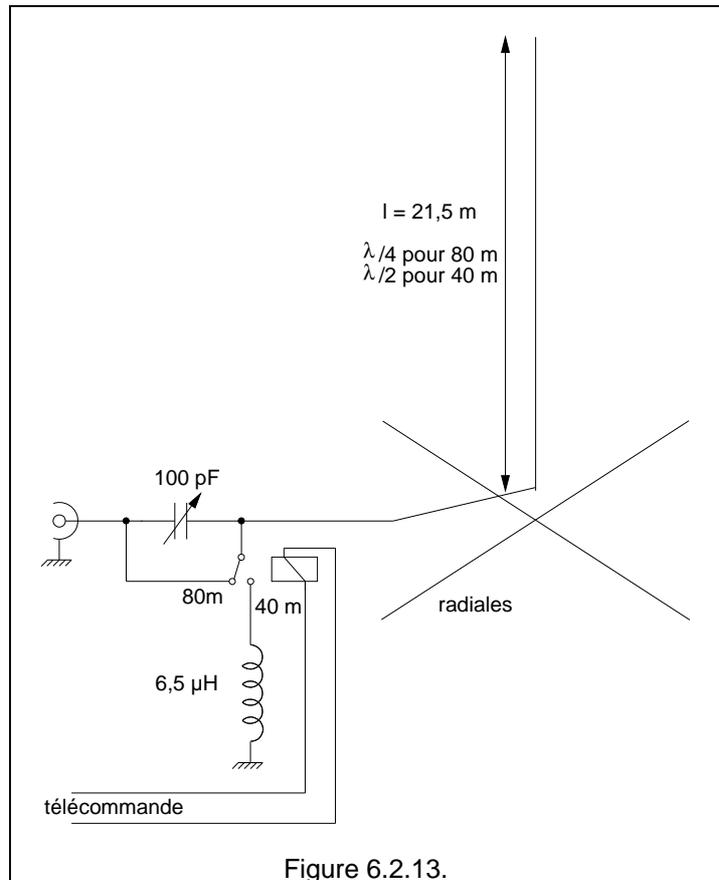
Le tube de T3 est évidemment l'élément qui "porte" mécaniquement l'antenne. Les éléments T1 et une distance d'environ 10 cm de T3 par des écarteurs en matières isolante.



2.9. L'antenne verticale tantôt en $\lambda/4$ et tantôt en $\lambda/2$

L'antenne peut aussi être plus longue que le quart d'onde. Par exemple, si on réalise une antenne quart d'onde pour la bande des 80 m, cette antenne aura une hauteur de 21,5 m, ce qui représente pratiquement une demi onde en 40 m. (cf Titanex modèle V80S ou V80E)

Pour utiliser cette antenne sur les 2 bandes, il faut un coupleur qui n'entre en action que pour la bande des 40 m. Le coupleur est situé très près de la base de l'antenne et est télécommandé par une tension de 13,5 V par exemple. Les réglages de la self et du condensateur sont fait une fois pour toutes.



Variante :

Figure 6.2.14.

2.10. Mise en phase d'antennes verticales

Deux antennes verticales peuvent être alimentées simultanément. En fonction des déphasages, on obtient deux types de diagrammes de rayonnement :

Figure 6.2.15.

Notons aussi que ...

1. Alors qu'en HF, les antennes verticales se trouvent généralement au sol, en VHF et en UHF elle se trouvent généralement montées sur un mât ou sur un pylône. Dans ce cas, le plan de masse est constitué par 3 ou 4 radiales qui se présentent sous formes de tiges ou de tubes rigides. Ces 4 radiales peuvent être disposées à 90° ou peuvent être rabattues vers le sol. Ceci entraîne que l'impédance théorique de 36 Ω augmente et se rapproche des 50 Ω .
2. En VHF-UHF, on peut avoir une antenne verticale repliée ("un demi trombone"). Cette antenne présente l'avantage d'être à la masse au point de vue du courant continu. Elle est surtout utilisée dans les zones avec un risque d'orage (en montagne par exemple) car, dans ce cas, elle réduit les tensions induites.

2.11. Les antennes Slim Jim et J-pole

Ces deux antennes se ressemblent fort. Elles sont essentiellement utilisées pour les bandes 145 et 435 MHz, mais rien n'empêche de les utiliser sur d'autres bandes.

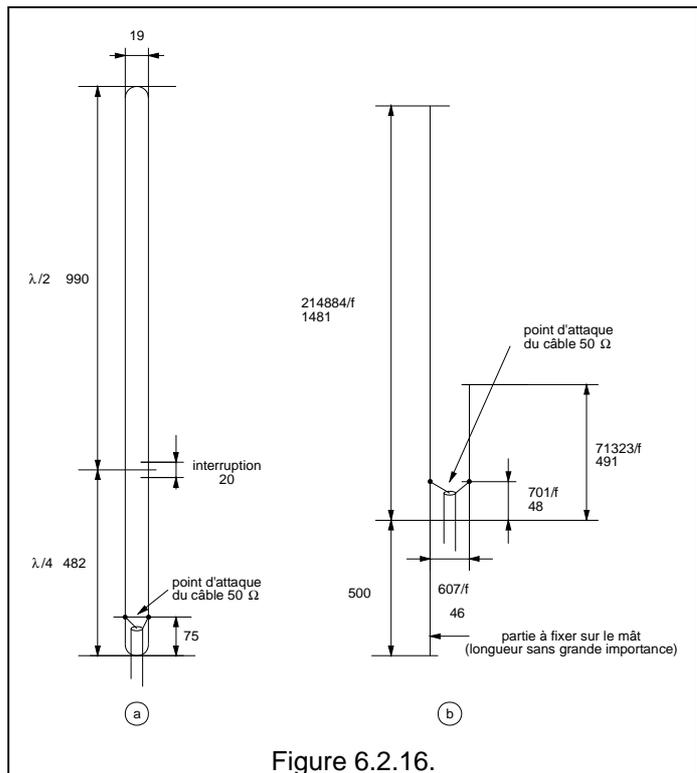


Figure 6.2.16.

2.12. L'antenne verticale 145/435 MHz

Ci contre un élément vertical qui fonctionne en 145 MHz et en 435 MHz. Il conviendra d'ajouter un système de radiales ou un plan de masse (non représenté ici).

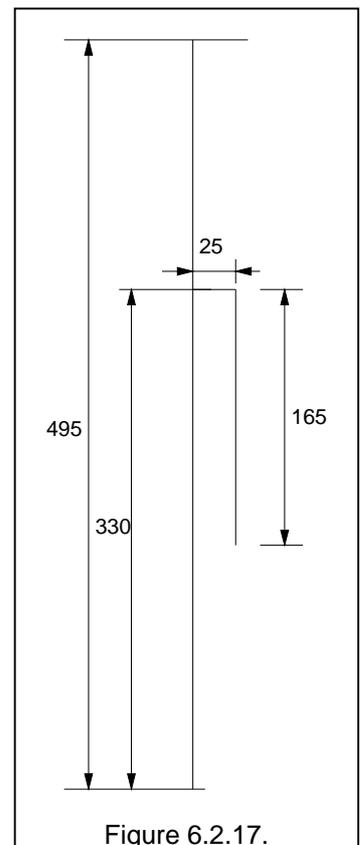


Figure 6.2.17.

3. Variantes d'antennes dérivées de l'antenne dipôle

3.1. Rappel

Les longueurs théoriques des dipôles :

bande	longueur dipôle (m)
160 m	73,15 à 77,10
80 m	37,54 à 39,62
40 m	19,98
30 m	14,10
20m	10,10
17 m	7,87
15 m	6,73
12 m	5,72
10 m	4,98
6 m	2,80

3.2. L'antenne Windom⁵

L'antenne Windom est une antenne multi bandes (ou plus exactement une antenne qui peut travailler sur des bandes harmoniques). Sa longueur totale celle d'un dipôle sur la plus basse fréquence (par exemple 3,5 MHz), mais elle est alimentée à $\lambda/6$ de l'extrémité (au lieu de $\lambda/4$ pour un dipôle "normal").

A cet endroit on obtient une impédance relativement élevée (environ 600 à 800 Ω). On peut observer que cette impédance est constante sur les bandes harmoniques. Cette antenne pourra donc être utilisée sur 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz et 28 MHz.

On remarquera toutefois que pour 21 MHz, on obtient une tension minimale (donc une basse impédance). Cette antenne malgré qu'elle soit dite "multi bandes" ne fonctionnera pas correctement (TOS élevé) sur 21 MHz.

Toutefois elle nécessite donc un balun 4:1 pour ramener l'impédance à 50 ou 75 Ω du câble d'alimentation.

Pratiquement la longueur totale sera donc de 40,23 m ($\lambda/2$) et le point d'alimentation sera à 13,4 m ($\lambda/6$) de l'extrémité.

Si on désire suspendre le balun et obtenir une structure en V inversé, il faudra veiller à isoler correctement cette antenne et à l'écartier des pièces métalliques, car étant donné l'impédance élevée, il apparaît des tensions très importantes au niveau du balun.

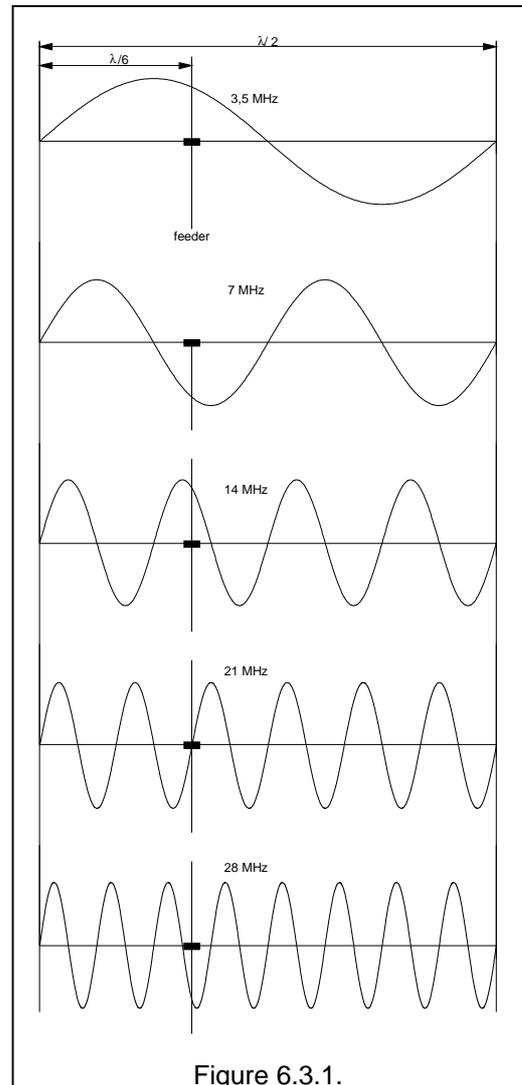
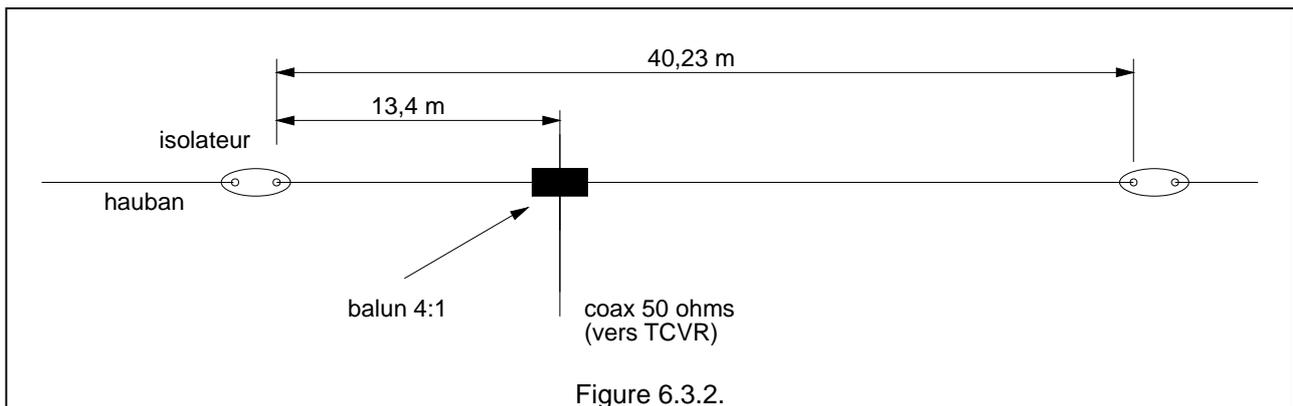


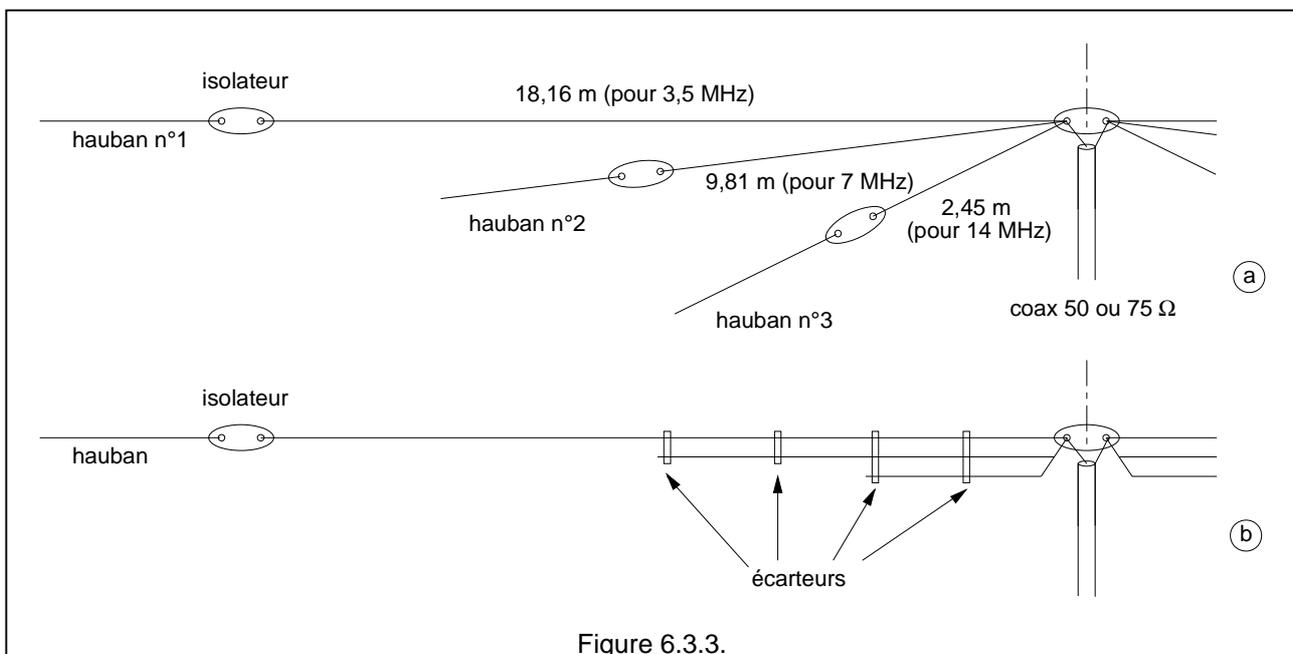
Figure 6.3.1.

⁵ Cette antenne doit son nom à son inventeur Loren G. Windom W8GZ et elle fut décrite dans le QST de septembre 1929, mais elle est encore appelée antenne Hertz ou antenne Conrad.



3.3. L'antenne dipôle multi bandes

On peut grouper plusieurs dipôles, et les alimenter par un seul câble coaxial comme indiqué ci-dessous. Notez que l'on a représenté qu'un demi dipôle ! Dans la figure a, les 3 dipôles sont maintenus par des haubans différents. Dans la figure b, les dipôles sont maintenus par des écarteurs.



3.4. L'antenne W3DZZ

Sur 40 m cette antenne fonctionne comme un dipôle. Les deux trappes "isolent" virtuellement la section a de la section b. Sur 80 m, la trappe ne résonne plus et se comporte comme un circuit essentiellement selfique, l'ensemble réagit donc comme un dipôle "raccourci". Le circuit d'accord peut être réalisé à l'aide d'une self et d'une capacité ou à l'aide d'une trappe en câble coaxial (voir plus haut 6.6.2.4).

On peut aussi mettre plusieurs trappes de façons à obtenir un dipôle qui fonctionne sur 40, 20, 15 et 10 m par exemple.

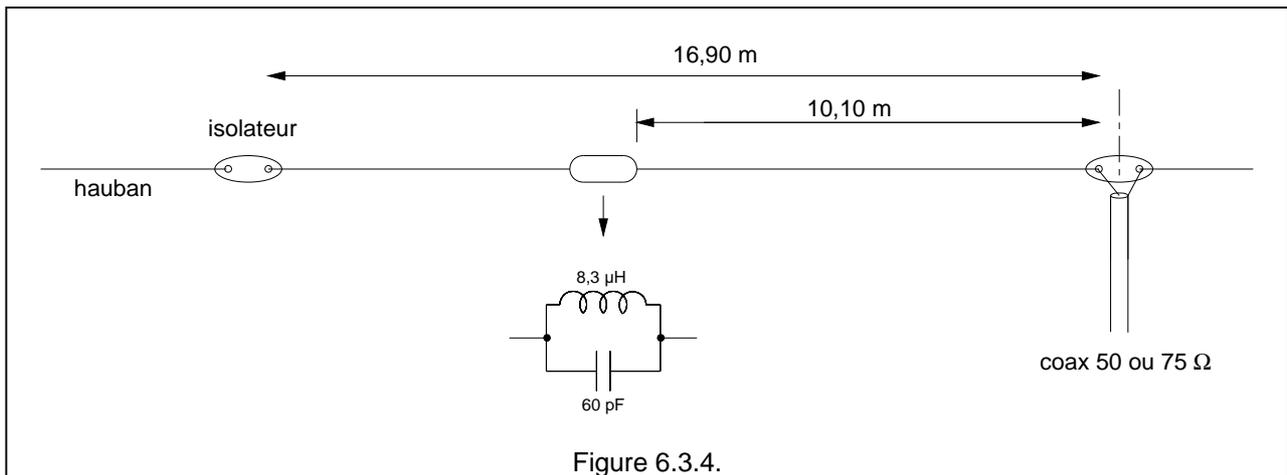


Figure 6.3.4.

Dans une autre réalisation (voir CQ-DL 1992 p 611, Traps aus Koaxial-Kabel de DF1PU) permettant de couvrir les bandes 40, 20, 15 et 10m, les trappes sont réalisées en câble coaxial (voir § 2.4)

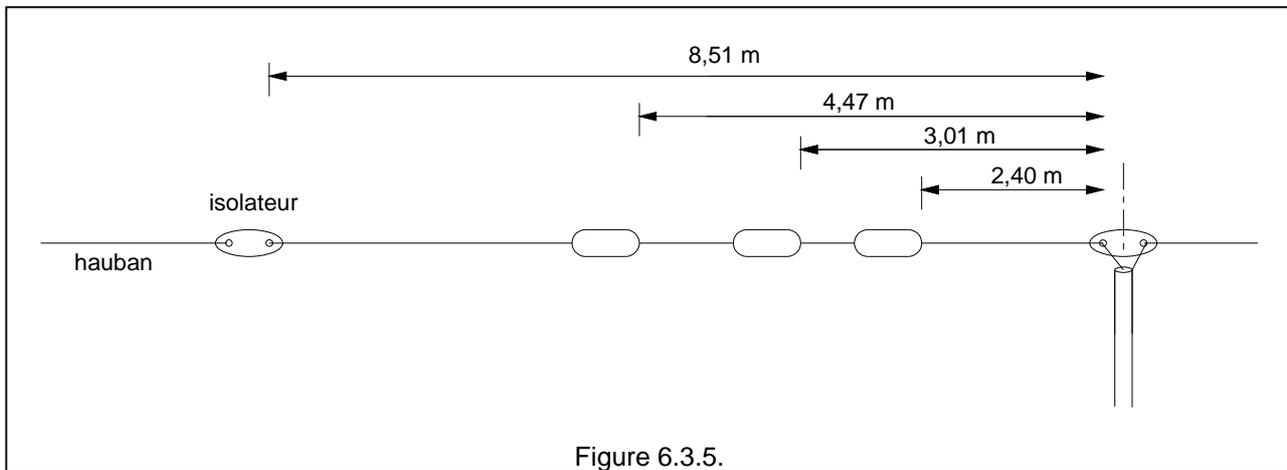


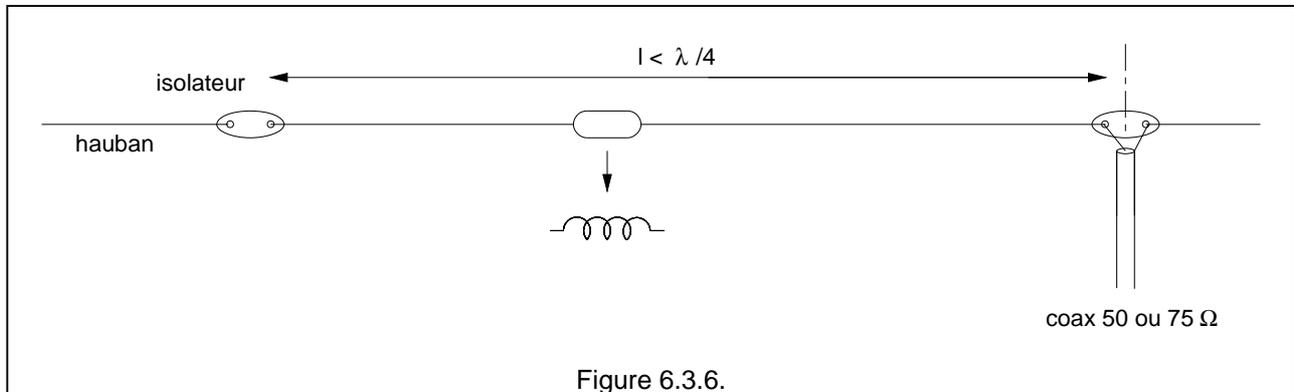
Figure 6.3.5.

Pour la réalisation des trappes on utilise ici du câble coaxial au téflon (RG-174) sur des mandrins de 24 mm de diamètre:

	résonance sur	nombre de tours
20 m	14,1 MHz	8 ³ / ₄
15 m	21,1 MHz	6 ¹ / ₄
10 m	28,1 MHz	4 ³ / ₄

3.5. Le dipôle raccourci

Par manque de place, et pour les bandes basses, on peut aussi construire un dipôle raccourci. Notons que plus on raccourci, plus le rendement diminue et plus la bande passante devient faible.

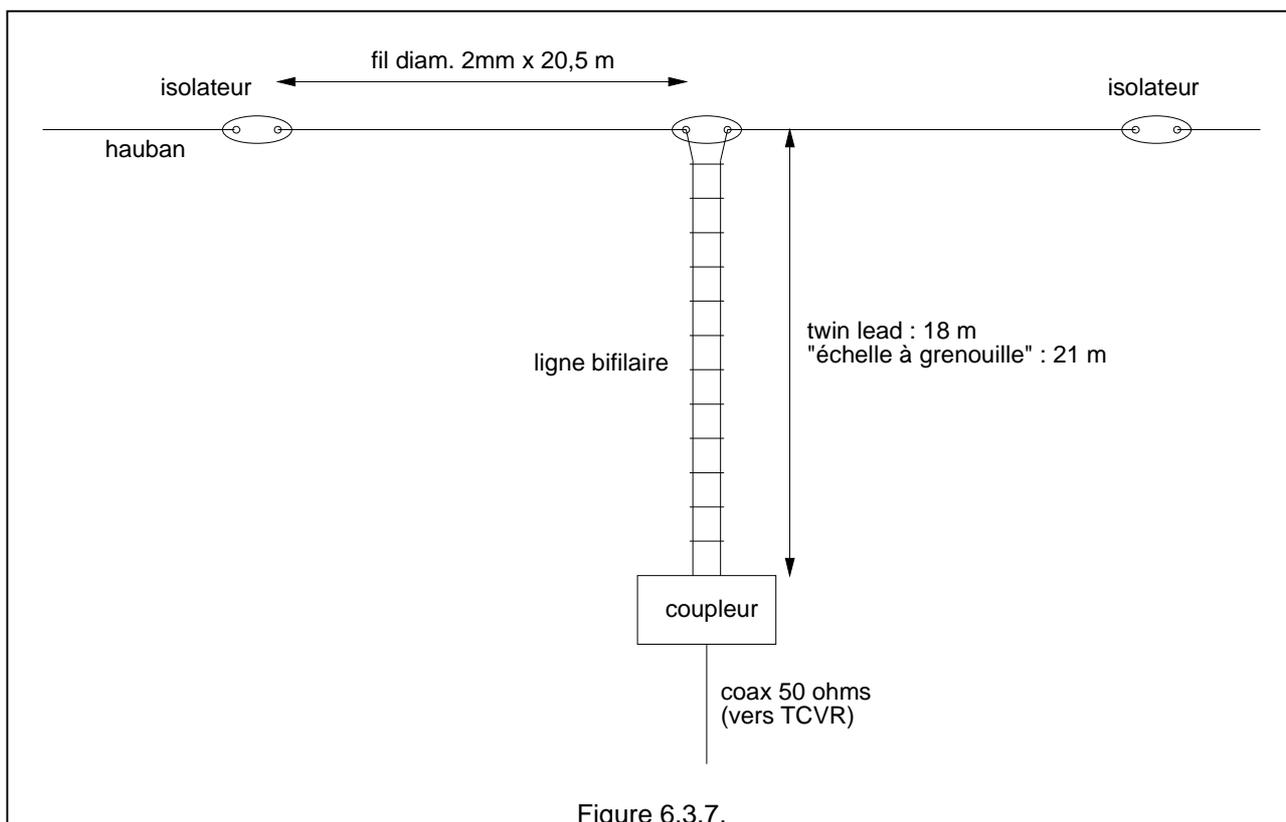


3.6. L'antenne Lévy⁶ ou "center-fed Zepp"

Nous touchons ici un point qui a suscité des débats passionnés entre radioamateurs ...

Pour cette antenne, il faut non seulement considérer la longueur du brin rayonnant, mais aussi celle de la ligne d'alimentation.

On peut l'utiliser sur plusieurs bandes de fréquences (par exemple 1,8 à 30 MHz) à condition d'utiliser une boîte de couplage.



Le brin rayonnant peut avoir une longueur quelconque, mais pour un résultat maximum, il est souhaitable que le brin rayonnant soit égal à un demi longueur d'onde pour la fréquence la plus basse. Il faut que la longueur du brin plus celle du feeder doit être égal à la longueur d'onde sur la fréquence la plus basse.

Si la fréquence la plus basse est 3,5 MHz, la dimension du brin rayonnant sera de 2 x 20,5 m, la ligne d'alimentation bifilaire aura une longueur de 21 m si elle est du type "échelle à grenouille", et 18 m seulement, si elle est en twin lead⁷.

Cette antenne nécessite un coupleur, qui réalise le passage symétrique/asymétrique et l'adaptation d'impédance. On peut prévoir plusieurs points de raccordements (marqués "A" et "B" ci-dessous) en fonctions des bandes que l'on veut utiliser.

⁶ L'antenne Lévy est l'antenne favorite des radioamateurs français, elle est décrite dans presque tous les magazines, et l'article le plus ancien remonte à 1930 ...

⁷ Ce rapport 21 m / 18 m est dû au facteur de raccourcissement (facteur de vélocité) dans le twin lead.

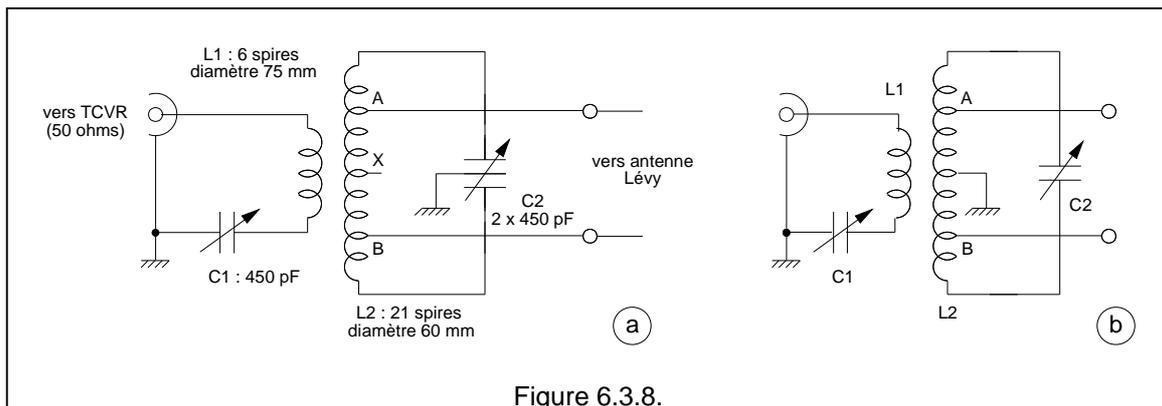


Figure 6.3.8.

La réalisation pratique de la bobine est expliqué à l'annexe 2

L'ensemble peut être monté dans un boîtier métallique de 220 x 170 x 85 mm.

Dans certaines descriptions, le point "X" est également à la masse.

Dans la variante b, au lieu d'utiliser un condensateur C2 symétrique, on met la masse au milieu de la bobine. Etant donné que la réalisation des condensateurs variables, ce montage perd un peu de sa symétrie, la commande du rotor du CV doit être isolée et les capacités parasites par rapport à la masse ne sont plus symétriques.

Pour de faibles puissances, il est encore possible de simplifier le montage et d'utiliser une seule bobine avec un montage fonctionnant en "auto transfo".

Enfin, on peut aussi utiliser le montage classique avec un balun T (1:4) réalisé par exemple avec un tore Amidon T-200 et 2 x 10 spires de fil de Cu.

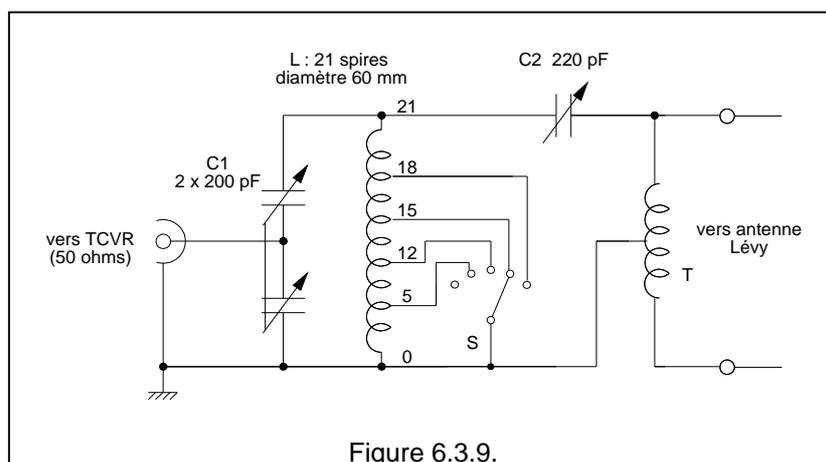


Figure 6.3.9.

3.7. L'antenne G5RV⁸

Tout comme pour la Lévy, il faut aussi considérer l'antenne G5RV comme un dipôle avec sa ligne.

On dit que cette antenne est capable de fonctionner sur toutes les bandes radioamateur de 3,5 à 28 MHz.

Cette antenne est constituée d'un dipôle de 31,1 m (c-à-d 2 brins de 15,55 m) et d'une ligne symétrique de 10,34 m. Cette longueur est valable si la ligne est du type à air ("échelle à grenouille"). Si cette ligne est en "twin", il faudra la raccourcir d'un facteur de vélocité (en général 0,905).

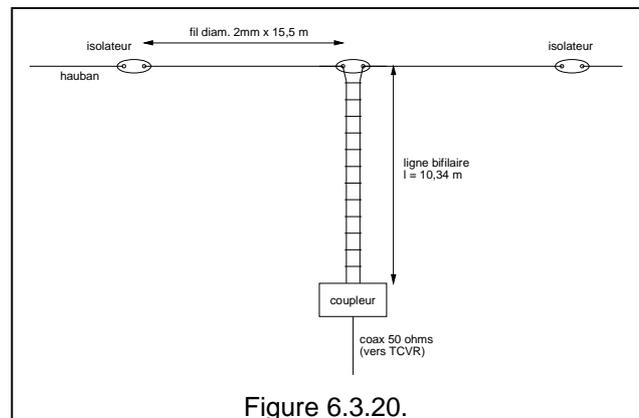


Figure 6.3.20.

Nous allons détailler le fonctionnement pour chacune des bandes en commençant par la plus facile.

Sur **14,2 MHz**, fréquence sur laquelle elle avait été conçue par G5RV, une longueur d'onde vaut 21,1 m, et la partie horizontale mesurant 15,54 m représente donc 1,5 demi onde. L'antenne est donc presque en résonance et présente par rapport au dipôle un léger gain (2 dB).

L'impédance est pratiquement celle du dipôle. La répartition du courant est indiquée à la figure ci-après. Notons que l'écart de la ligne a été exagérément augmenté de façon à pouvoir y porter le dessin de la répartition du courant. Le feeder ayant exactement une longueur d'une demi longueur d'ondes, on retrouve exactement cette impédance au pied de l'antenne. En fait, si on fait une analyse avec un programme tel que EZNEC, l'impédance se situe plutôt aux environs de 100 Ω avec une très faible réactance (+ j 1 ou - j 1).

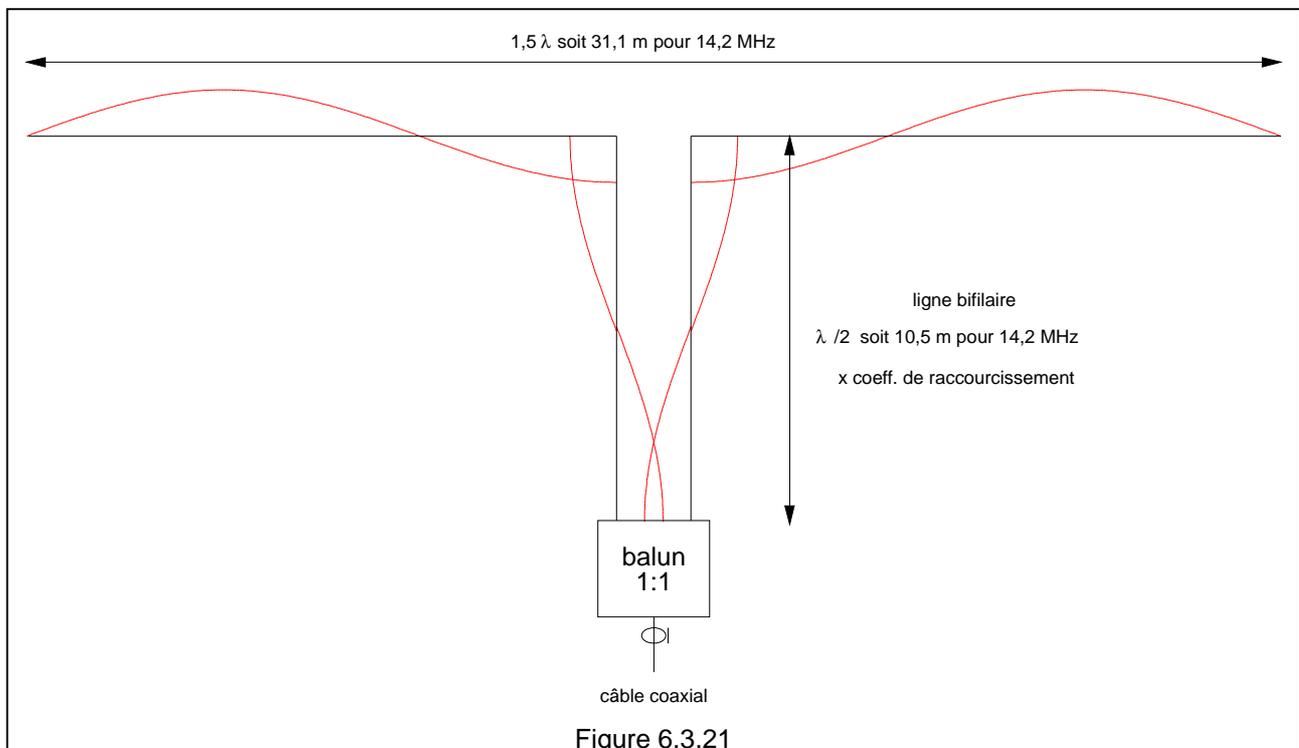


Figure 6.3.21

⁸ Cette antenne doit son nom à son inventeur Louis Varney G5RV. Elle a été décrite dans RSGB Bulletin de juillet 1958. Et si beaucoup de radioamateurs français parlent de la Lévy, beaucoup de radioamateurs anglais parlent de la G5RV !

Pour la suite, on va dessiner l'antenne et la ligne étirée, dans le prolongement l'un de l'autre partant du noeud de courant à l'extrémité de l'isolateur (à droite) nous allons dessiner l'onde de courant et voir ce qui se passe au point d'alimentation :

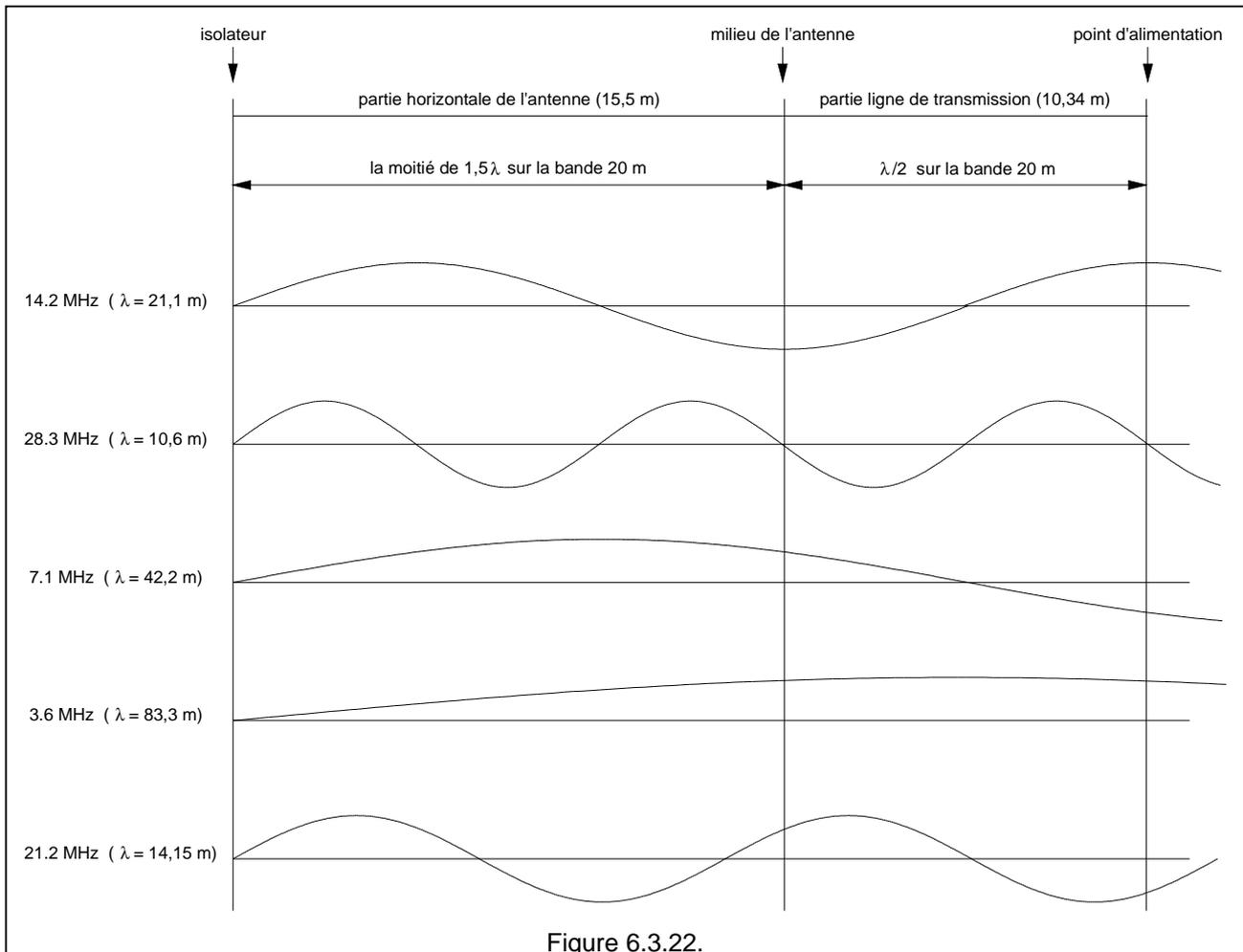


Figure 6.3.22.

Sur **28,3 MHz**, λ vaut 10,6 m, et la partie horizontale mesurant 15,54 m représente donc 3 demi onde. L'impédance est très élevée. Le feeder ayant exactement une longueur de 10,35 m ne modifie pas cette impédance et on se retrouve avec une très haute impédance au pied de l'antenne. L'analyse avec un programme de modélisation montre une impédance très élevée et qui varie rapidement (environ 1000 - j 1500), il faudra donc un coupleur d'antenne !

Sur **7,1 MHz**, λ vaut 42,2 m. Ici aussi l'antenne n'est pas en résonance. L'impédance est très faible et présente une partie réactive (environ 70 - j 130), il faudra donc un coupleur d'antenne !

Sur **3,6 MHz**, λ vaut 83,3 m. Encore une fois, l'antenne n'est pas en résonance. L'impédance est faible (environ 12 - j 200) ... il faudra donc un coupleur d'antenne.

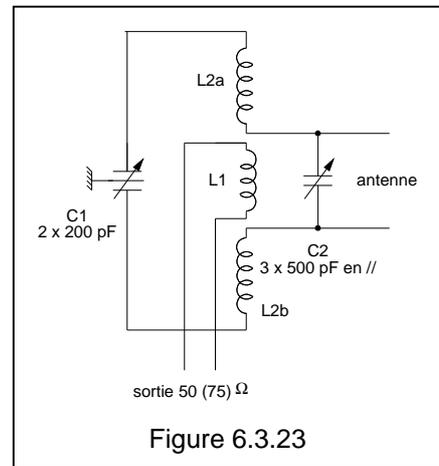
Sur **21,2 MHz**, λ vaut 14,15 m. Encore une fois, l'antenne n'est pas en résonance. L'impédance est très faible environ 60 + j200) ... il faudra donc un coupleur d'antenne

En conclusion, et contrairement à ce qu'on prétend, **la G5RV n'est pas une antenne qui a un bon TOS quel que soit la fréquence**. Elle résonne sur 14 MHz et a donc pour cette bande un TOS acceptable.

Remarquons que certains auteurs dessinent l'onde comme elle se présente exactement horizontale sur la partie horizontale et exactement verticale sur la ligne d'alimentation. En réalité cela n'apporte rien, un dessin où on représente tout en ligne est plus simple à réaliser et à expliquer.

Evidement, si cette antenne est attaquée par un coupleur d'antenne adéquat, capable de ramener ces impédances soit très élevées, soit très faibles à 50 Ω et qui de plus passe du symétrique en asymétrique, alors cette antenne pourra fonctionner sur plusieurs bandes. Un coupleur était d'ailleurs dessiné dans l'article original de G5RV, un autre article donne le schéma ci-contre. Mais la plupart des réalisations commerciales parlent d'antennes multi bande, sans préciser qu'elle ne sera multi bande qu'avec un coupleur ! Où est donc passé ce coupleur ?

Au départ, l'antenne proposée par G5RV devait fonctionner sur la bande de 20 m et par conséquent la longueur était de $149,96 (3-00,5) / 14,15 = 31,26$ m (soit ≈102 feet). Nous venons d'analyser la version originale. Mais par la suite, elle a aussi été construite pour 7,1 MHz et pour 28 MHz. On les appelle parfois G5RV longue ou courte.



Les variantes sont donc :

	longueur totale de la partie horizontale (m)	ligne de 450 Ω (m)	longueur minimale du câble coaxial (m)	remarque
1,8 à 30 MHz	62,2	19,5	42,6	fonctionne comme un dipôle $1,5 \lambda$ sur 7,1 MHz
3,5 à 30 MHz	31,10	10,34	21,33	comme décrit dans la version originale de G5RV et fonctionne comme un dipôle $1,5 \lambda$ sur 14,2 MHz
7 à 30 MHz	15,54	5,20	10,6	fonctionne comme un dipôle $1,5 \lambda$ sur 28,5 MHz

3.8. L'antenne Zéppelin⁹

L'antenne Zeppelin fait l'objet d'un brevet déposé en 1909. A l'origine cette antenne pendait sous les dirigeables du même nom.

C'est une variante de l'antenne Lévy, qui n'aurait qu'un seul brin rayonnant. Un côté de la ligne bifilaire reste donc ouvert. La longueur de la ligne bifilaire est choisie proche de $\lambda/4$ tandis que celle du brin rayonnant est voisin de $\lambda/4$.

Etant donné la dissymétrie, la ligne bifilaire est parcourue par des courants différents et cette ligne rayonne également. Ce rayonnement peut être la cause d'interférences aux autres installations (RFI).

On peut utiliser le même genre de coupleur que pour l'antenne Lévy. Toutefois à cause de la dissymétrie, on préfère un coupleur à 3 condensateurs, tel que représenté ci-dessous.

Remarquez le montage particulier de C1 (du côté 50 Ω) qui est un condensateur double mais à commande unique. Le commutateur S permet sélectionner la valeur de L en fonction de la bande.

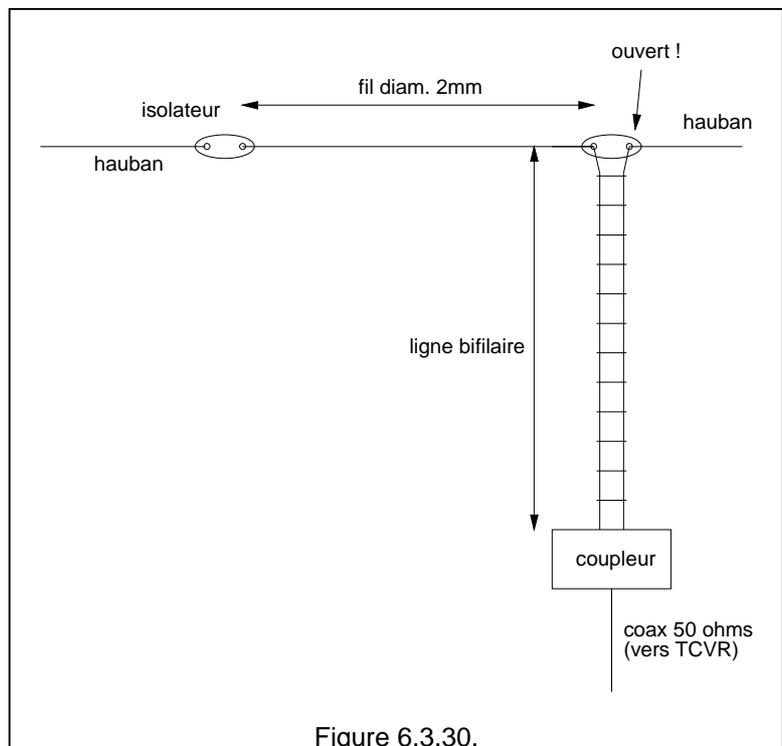


Figure 6.3.30.

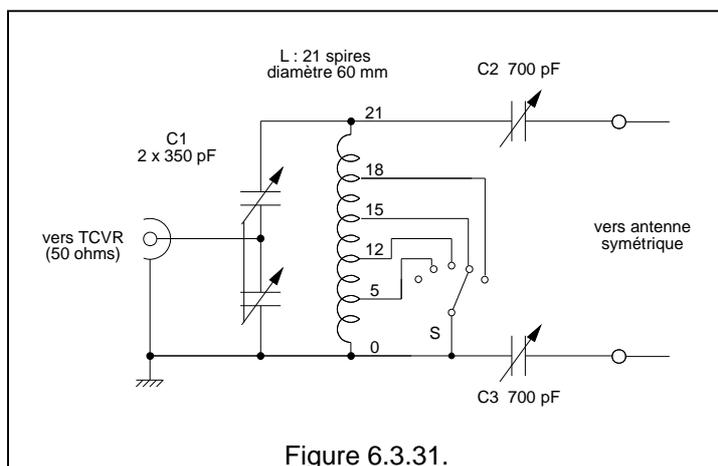
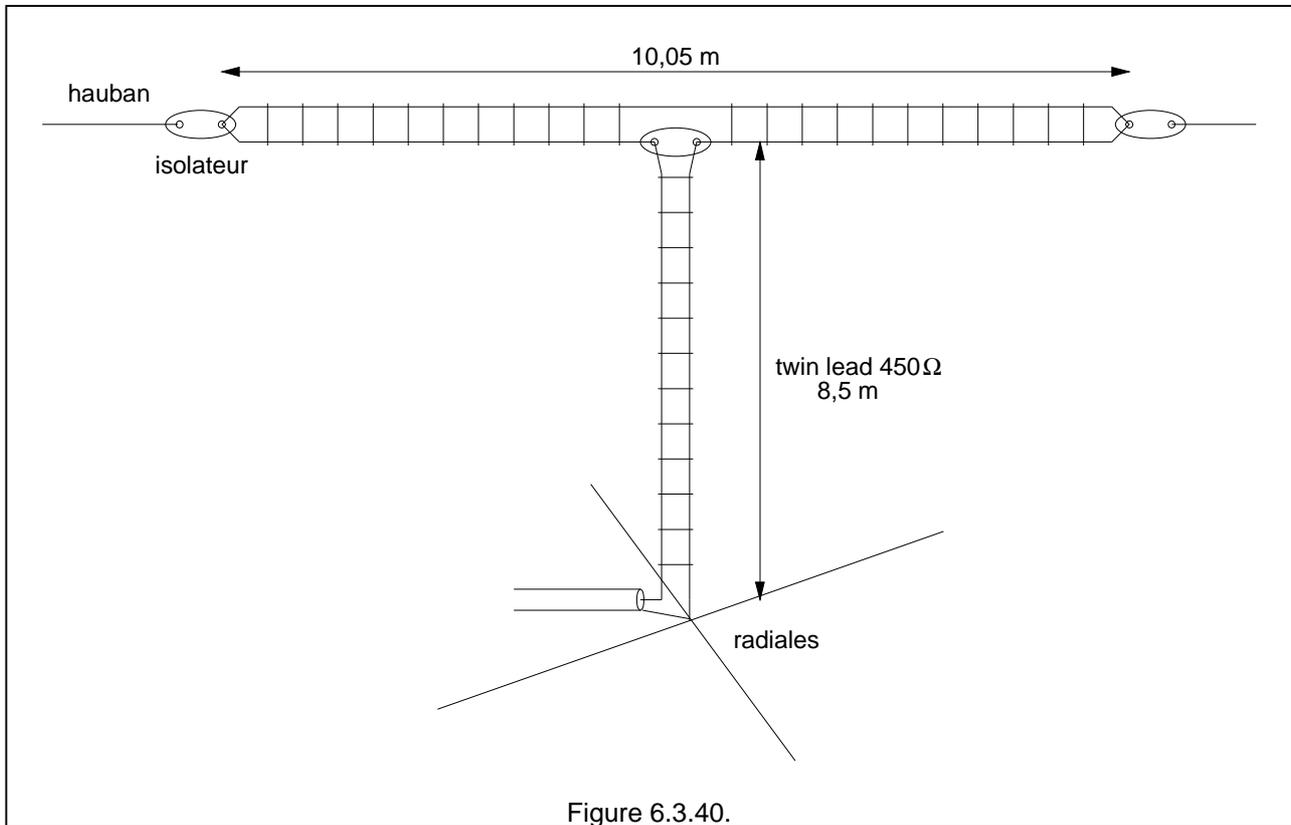


Figure 6.3.31.

⁹ Le nom de cette antenne provient des fameux dirigeables où elle était utilisée.

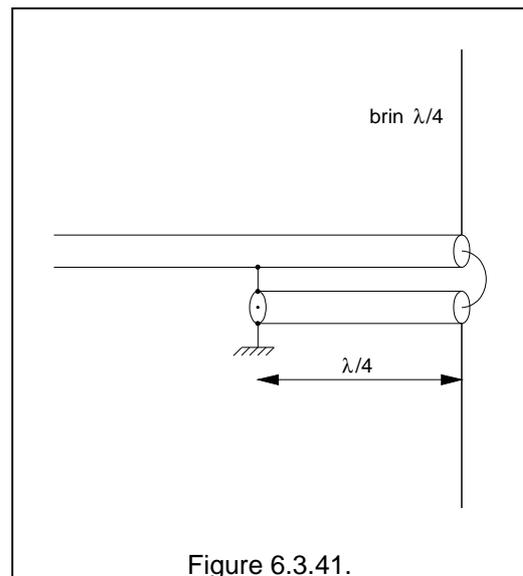
3.9. L'antenne Twin-T

Avec les dimensions données, cette antenne fonctionne comme un dipôle replié sur la bande des 40 m, et comme une verticale avec un chapeau capacitif pour 80 m. La ligne horizontale supérieure est réalisée comme une "échelle à grenouille" avec un espacement de 5 cm.



3.10. Le dipôle "tout à la masse"

Essentiellement utilisé en radiodiffusion ou en aviation où l'on craint les effets de l'orage.



4. Particularités pour les antennes Yagi

4.1. Couplages d'antennes Yagi

Au-delà de dimensions raisonnables (disons 10 éléments pour la bande des 2m, 13 éléments pour 70 cm etc ...) on peut penser à coupler plusieurs antennes Yagi. Avec en superposant 2 antennes on gagne au maximum 3 dB et on réduit l'angle d'ouverture dans le plan vertical. En mettant deux antennes l'une à côté de l'autre on gagne aussi, au maximum 3 dB, et on réduit l'angle d'ouverture horizontal.

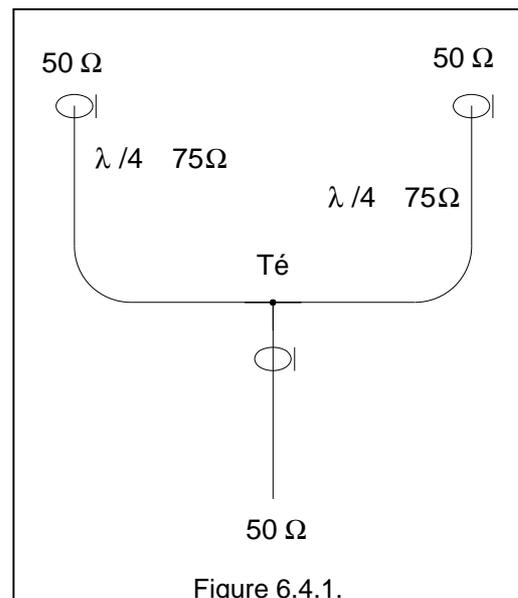
Il y a bien entendu les groupements "carré", (par exemple 2 x 2 antennes ...) où on réduit à la fois l'angle d'ouverture horizontal et l'angle vertical.

Le gain théorique de couplage (3 dB pour 2 antennes, 6 dB pour 4 antennes, etc ...) n'est jamais atteint. Ce gain dépend en effet de la distance entre les antennes et ce gain est affecté des pertes dans les coupleurs. Des valeurs plus réalistes sont:

n	2	4 (2x2)	6	8	12	16 (4x4)	24	32	48	64 (8x8)	etc ...	
Gain	2,85	5,70	7,13	8,55	9,88	11,40	12,83	24,25	25,68	27,1		(dB)

Pour réaliser le couplage on utilise les propriétés du transformateur quart d'ondes et on trouve

- des coupleurs tubulaires rigides,
- mais pour coupler 2 antennes, on peut aussi utiliser des lignes : pour obtenir 50Ω , on doit mettre 2 impédances de 100Ω en parallèle, il faut donc une ligne quart d'onde de $\sqrt{50 \times 100} = 70,7 \Omega$, un câble de 75Ω convient très bien. Pour 145 MHz, ce câble aura une longueur de $(300/145) / 4 = 0,517 \text{ m}$, et tenant compte d'un coefficient de vélocité (0,66) on a 0,341 m. C'est très certainement trop court pour arriver aux connexions de l'antenne, mais on peut utiliser des multiples impairs de cette longueur.



4.2. Les Antennes Yagi croisées et la polarisation circulaire

Pour les bandes VHF et UHF (2m et 70 cm), les relais radioamateurs utilisent la FM et sont en polarisation verticale, les communications à longues distances sont en SSB et en polarisation horizontale. Si on ne respecte pas la polarisation, le champ reçu vaut

$$E = E_{\max} \cos \alpha$$

où α est l'angle entre les 2 polarisations¹⁰.

Pour un angle de 45°, cela signifie que l'on va perdre 3 dB et pour un angle de 90° cela signifie que le signal sera nul. Mais en pratique, pour des antennes yagi et pour 90°, on a des atténuations de l'ordre de 16 dB (10 à 20 dB selon le cas).

Par conséquent, une solution consiste à utiliser une antenne yagi à polarisation croisée, il s'agit d'une antenne yagi en polarisation verticale et d'une antenne yagi à polarisation horizontale, sur le même boom. Il y a alors deux descentes : une pour la polarisation V, l'autre pour la polarisation H. Un commutateur placé dans la station permet de changer la polarisation et de constater que parfois, certains signaux émis en vertical sont mieux reçus en horizontal et vice-versa.

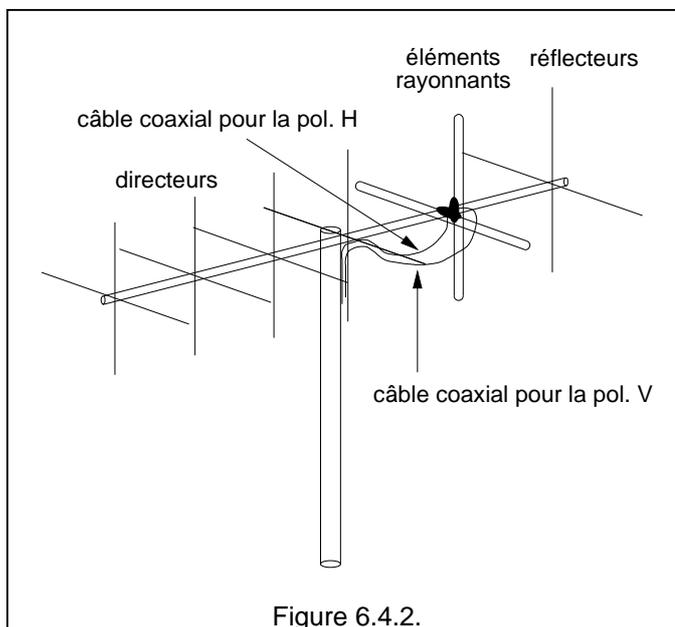


Figure 6.4.2.

Dans tous les cas énuméré ci-dessus nous sommes toujours en polarisation linéaire car le champ électrique est dans un plan et il reste dans ce plan¹¹.

Pour les communications par satellite on peut se demander ce que signifient encore les qualificatifs "verticale" ou "horizontale". On pourrait se demander par rapport à quoi. On parle alors de polarisation X et de polarisation Y. La polarisation Y est celle qui se rapproche le plus de la polarisation verticale¹².

Les choses se compliquent encore pour un satellite non géostationnaire, car la polarisation évolue en permanence et la station au sol ne peut pas en permanence corriger la position de son antenne. On préfère alors faire appel à la polarisation circulaire. Dans le cas de la polarisation circulaire, le vecteur champ électrique tourne en permanence. La façon la plus simple pour obtenir une telle polarisation est l'emploi d'une antenne hélicoïdale. Dès le départ se pose un nouveau dilemme : polarisation circulaire gauche (Left Hand Circular Polarisation) ou polarisation circulaire droite (Right Hand Circular Polarisation)¹³. L'avantage de la polarisation circulaire est une moins grande sensibilité au fading et bien entendu, un meilleur comportement vis-à-vis des rotations de polarisations.

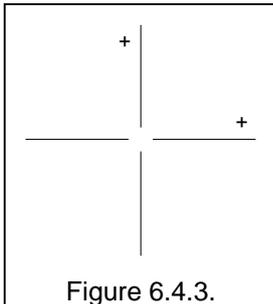
Mais on peut aussi obtenir une polarisation circulaire à l'aide d'une antenne à polarisation croisée à condition d'alimenter cette antenne d'une façon particulière. Pour simplifier le dessin nous allons nous concentrer sur les éléments rayonnants.

¹⁰ Il s'agit d'un champ et donc la puissance reçue variera en fonction du carré.

¹¹ Sauf si il y a rotation de la polarisation due à des champs magnétiques intenses par exemple ...

¹² Le moyen mnémotechnique est simple : en dessous du V de verticale, vous ajoutez un petit trait vertical et vous obtenez un "Y" !

¹³ Lévogyre ou dextrogyre



Les éléments rayonnants peuvent être des dipôles avec gamma match, ou des dipôles repliés ("trombones"), mais électriquement, on peut se contenter de représenter uniquement ces éléments rayonnants comme ci-contre. Dans les explications qui vont suivre, nous noterons aussi ces dipôles avec un signe "+", ce qui indique la phase. Pour des dipôles simples (avec gamma match) le "+" peut, par exemple, être le brin connecté à l'âme du coaxial. Dans le cas de la figure, et si on regarde l'antenne depuis l'arrière (on regarde donc vers la station avec qui on correspond), on a une polarisation circulaire droite.

Figure 6.4.3.

On peut aussi obtenir une polarisation circulaire en couplant les deux antennes et il existe deux méthodes :

- soit on utilise deux antennes croisées qui se trouvent au même endroit (voir figure précédente) et on réalise un déphasage de 90° à l'aide de câbles.
- soit on utilise deux antennes croisées qui sont décalées mécaniquement de 90° et on les attaque en phase. Dans ce cas la distance entre l'élément rayonnant en pol. V est distant de $\lambda/4$ de l'élément rayonnant pour la pol. H

Que se passe-t-il si on utilise une telle antenne pour un signal émis dans une autre polarisation ?

- en polarisation verticale : on perd environ 3 dB de gain
- en polarisation horizontale : on perd aussi 3 dB de gain
- en polarisation circulaire gauche : on perd beaucoup de gain (disons 10 à 20 dB comme en cas de croisement pour la polarisation linéaire) !

Mais lorsqu'on fait du DX, la polarisation peut changer et ce qui était émis en polarisation horizontale peut donc être mieux capté (gain de 1 à 2 dB) par une antenne en polarisation circulaire que par une antenne à polarisation horizontale.

Première solution¹⁴ :

On utilise un commutateur rotatif

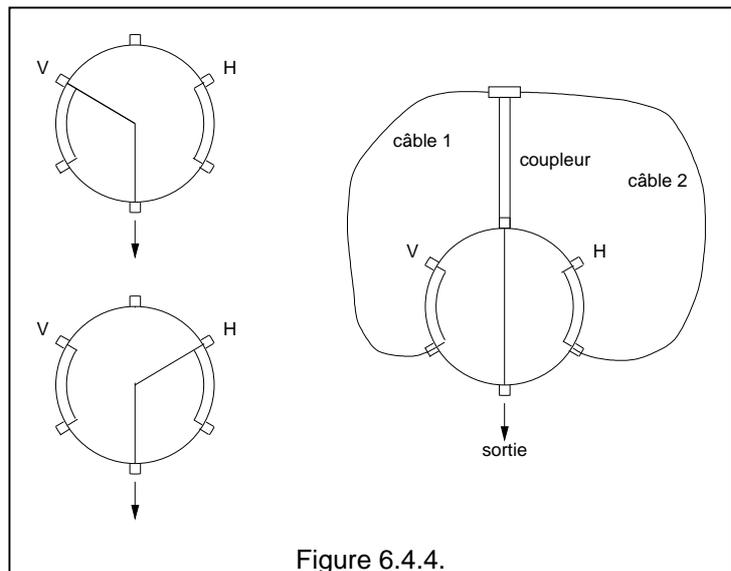
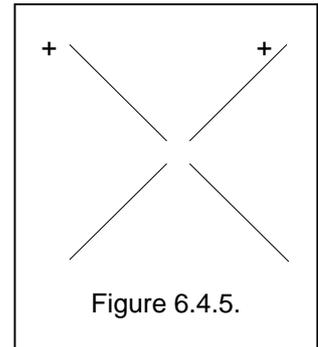
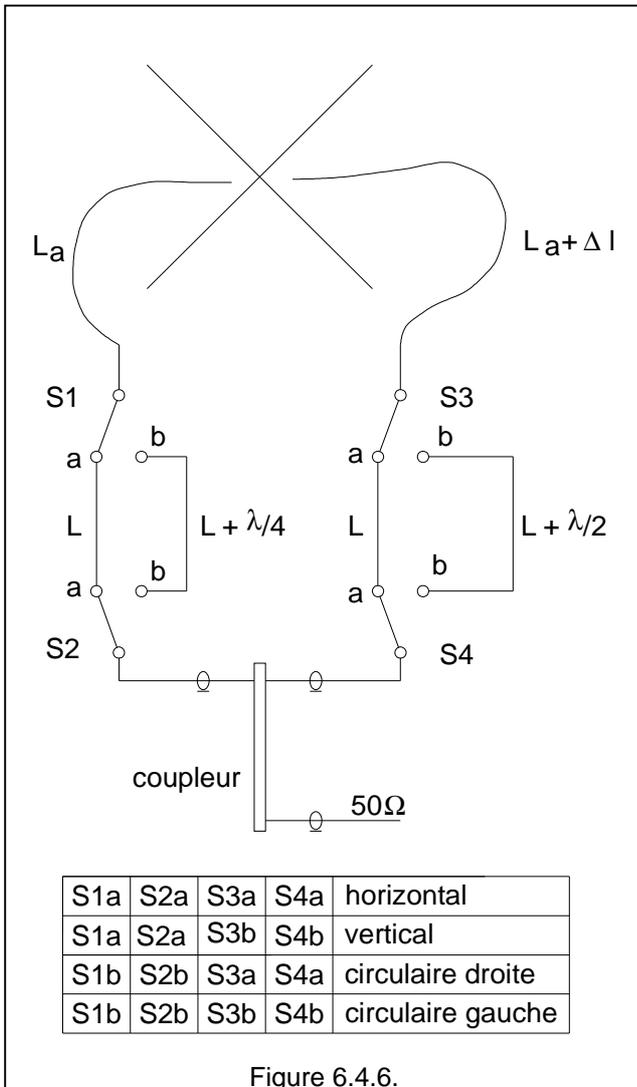


Figure 6.4.4.

¹⁴ Voir la solution de HOFI sur <http://www.hofi.de>

Deuxième solution¹⁵ :

On part d'une antenne yagi à double polarisation à 45 °.



La figure ci-dessous montre comment obtenir les 4 types de polarisation d'une antenne yagi croisée.

¹⁵ Voir la solution de Tonna

5. Les antennes loop , delta-loop et quad

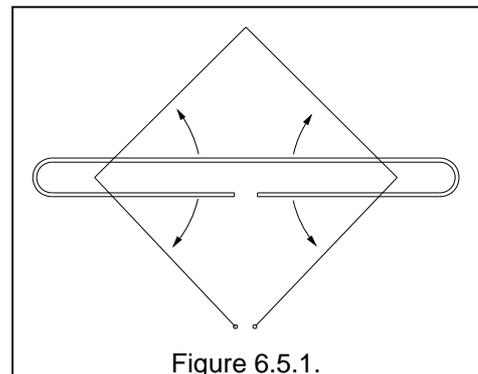
5.1. Généralités

Ce paragraphe est consacré aux antennes dont le conducteur ("le fil") est disposé en forme de boucle :

- lorsque ce conducteur forme un carré, on parle de **quad** quadrangle
- lorsqu'il y a un réflecteur on parle de **cubical quad**
- lorsque la forme est triangulaire on parle de **loop** ou de **delta loop**
- lorsque la forme est circulaire on parle de **loop**.

Le fait de donner la forme de boucle à une antenne, procure généralement un gain non négligeable par rapport au dipôle ou à l'antenne yagi. Puisque ces antennes ne font pas partie de cours HAREC, nous allons commencer par quelques notions de bases, avant d'analyser des réalisations particulières.

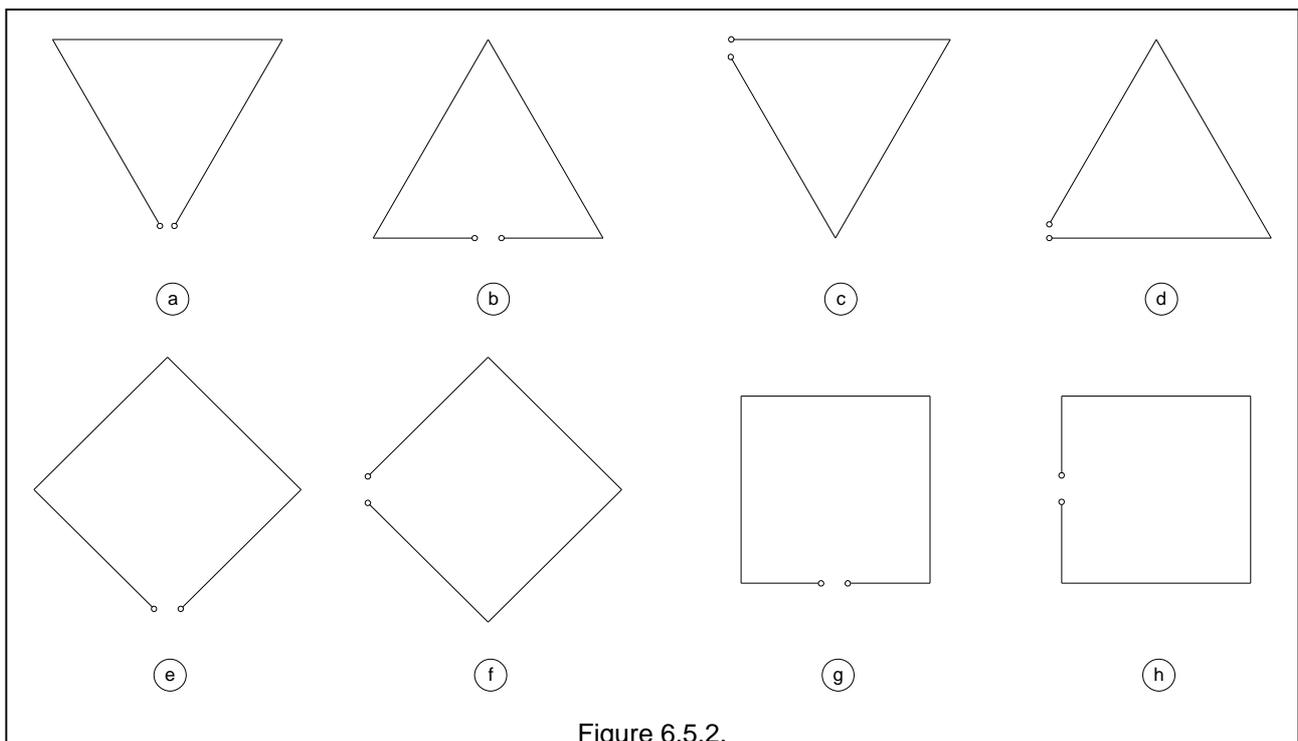
Une façon d'arriver au concept de la loop est d'imaginer un dipôle replié ("trombone") que l'on écarte pour obtenir un losange! Si on continue notre exercice d'écartement, on arrive à une ligne de longueur $\lambda/2$ terminée par un court circuit. L'impédance du dipôle replié étant comprise entre 240 et 300 Ω , celle de la ligne $\lambda/2$ court-circuitée à 0 Ω , on peut imaginer que l'impédance de la quad sera "entre les deux" soit aux environs de 150 Ω .



Les antennes loop (et aussi les quad) que nous aborderons ici auront une longueur sensiblement égale à la longueur d'onde, ces antennes ne doivent pas être confondues avec les "loop magnétiques" seront abordées dans un autre chapitre.

En espace libre, une quad donne un gain de 1,4 dB par rapport au dipôle. Le gain est donc égal à 3,45 dBi.

Selon la forme et selon le point d'alimentation, on peut distinguer plusieurs configurations :



	pol			
figure a				
figure b	H			
figure c				
figure d	H			
figure e	H			
figure f	V			
figure g	H			
figure h	V			

Considérons d'abord une quad avec un seul élément. Selon le point d'alimentation, on obtiendra une antenne à polarisation verticale ou à polarisation horizontale.

5.2. Les antennes loop pour les bandes basses

Pour les bandes basses (160, 80 et 40 m), on peut réaliser des boucles de formes triangulaires, ou carrées, ou même de forme généralement quelconque. Ces boucles ("loop") sont réalisées avec du simple fil de câblage électrique (monobrin ou multibrin). On peut installer cette loop soit dans le plan vertical, soit dans le plan horizontal, mais il faut noter que la hauteur par rapport au sol est généralement faible et ne dépasse guère le quart d'onde.

La figure a ci-dessous, donne un exemple d'une loop en forme de triangle suspendu par le point A. Aux points B et C viennent deux haubans qui tendent correctement l'antenne. Pour les bandes basses, le conducteur inférieur sera au minimum 2 m au dessus du sol. En attaquant l'antenne comme indiquée on obtient alors un TOS acceptable. La forme triangulaire est facile à mettre en place si on dispose par exemple d'un pylône avec une autre antenne (une yagi par exemple). Il n'est pas absolument nécessaire d'avoir un triangle parfaitement "isocèle" et on peut aussi obtenir de bons résultats d'autres formes (carrés, rectangles, ...). L'essentiel étant d'avoir une boucle dont la longueur est de 1λ . L'alimentation au point indiqué permet d'avoir une impédance de l'ordre de 50Ω .

La figure b représente une quad pour la bande 40 m. Cette antenne pourrait être réalisée entre deux pylônes ou entre deux mâts ou entre deux grands arbres.

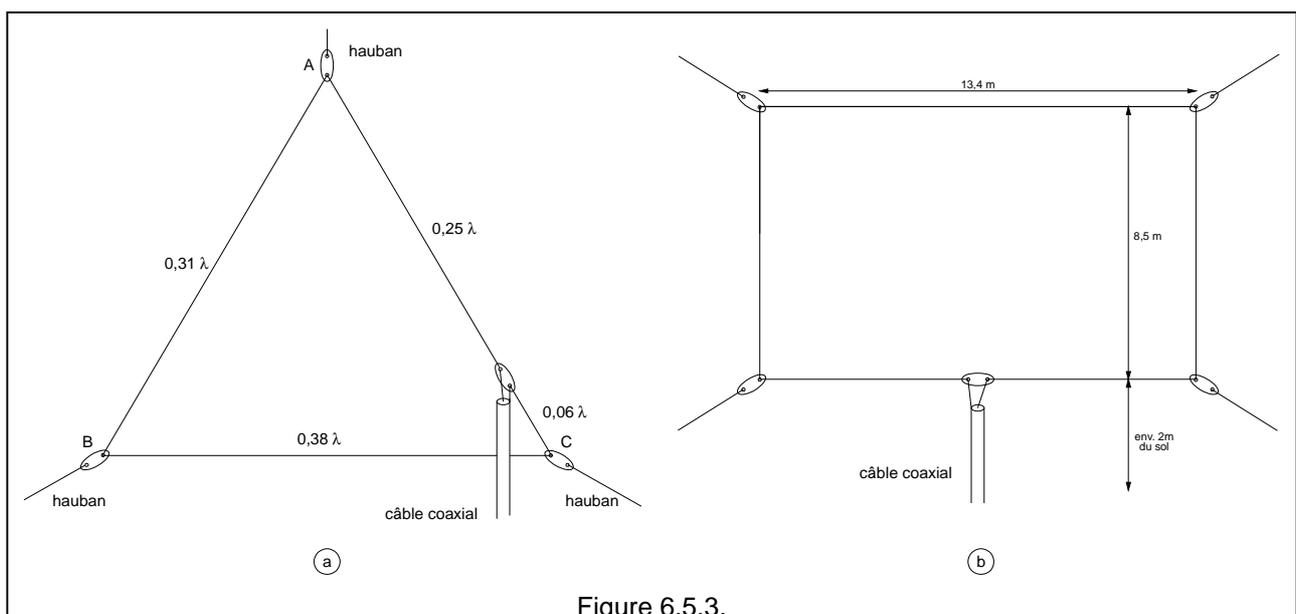
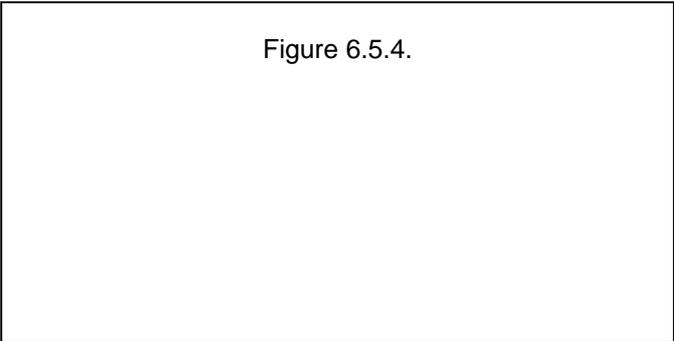


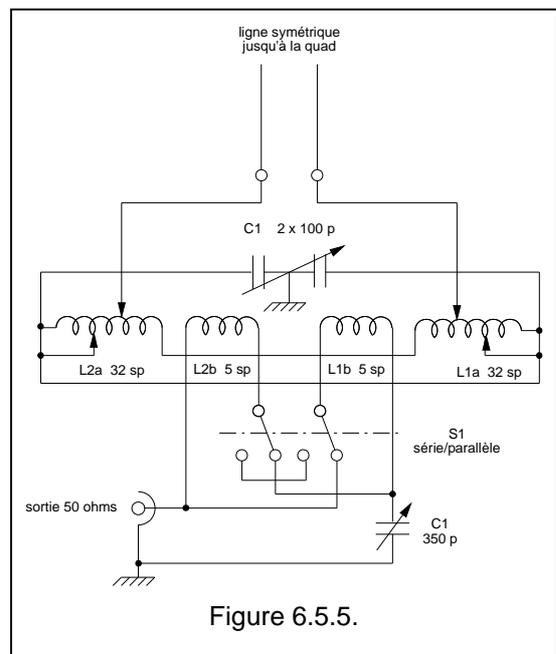
Figure 6.5.3.

Mais on peut aussi réaliser une loop dans le plan horizontal. Une loop dont le périmètre est de (l'ordre de) 83 m, et installée à une hauteur de l'ordre de 10 à 15 m, permet de travailler sur toutes les bandes entre 80 m et 10 m. La loop peut être suspendue à des arbres, à une maison ou à d'autres supports existants. Si on veut utiliser cette antenne sur 160 m, il faudrait qu'elle ait environ 166 m de périmètre. Pour la fréquence dont la longueur d'onde est égale à la longueur physique, l'impédance se situe entre 100 et 200 Ω environ et dépend de la hauteur par rapport au sol et de sa nature. Le diagramme de rayonnement est en forme de "patatoïde"¹⁶. Bien que cette antenne fonctionne aussi sur les fréquences harmoniques, l'impédance sera fort variable. Il faudra un coupleur (semblable à celui décrit pour l'antenne Lévy) pour pouvoir l'utiliser et le diagramme de rayonnement présentera de nombreux lobes.



Etant donné qu'il s'agit d'une antenne symétrique, il faut (en théorie) utiliser un coupleur d'antenne.

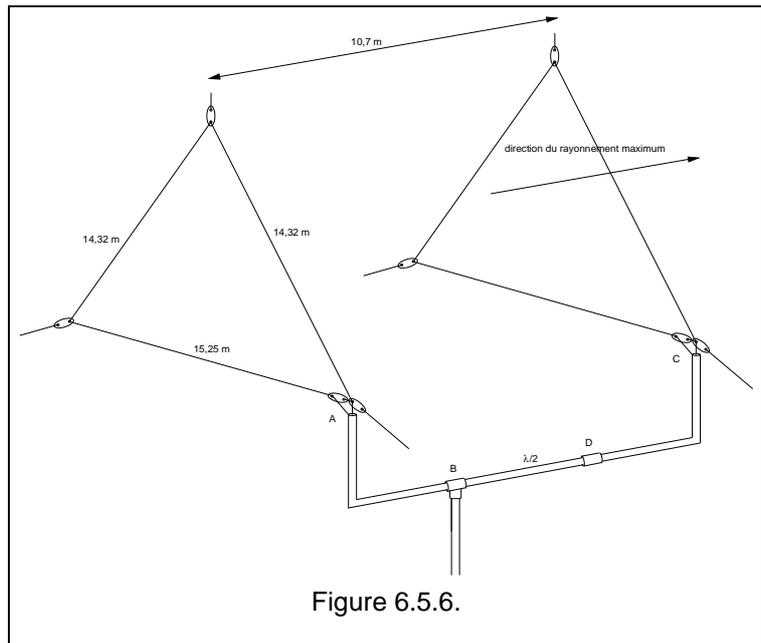
La figure ci-contre montre un tel coupleur pour les bandes 80 m à 10 m. Les selfs L1 et L2 sont juxtaposées, elles ont un diamètre de 65 mm. Les courts-circuits sont à 4 spires du bout pour 80 m, 16 sp pour 40 m, 28 sp pour 20 m et 30 sp pour 10m.



¹⁶ C'est-à-dire une forme pas très bien définie mais ressemblant à une pomme de terre !

A condition de disposer de deux supports adéquats, on peut aussi utiliser deux delta loop en phase. Ci-contre une réalisation pour 40 m. Les deux delta loop sont suspendues. Elles sont à environ 2 m du sol. Etant donné que ce dispositif n'est pas rotatif, la direction privilégiée est fixe.. Les distances AB et CD sont égales. Le câble entre B et D a une longueur électrique de $\lambda/2$. Par commutation de la section $\lambda/2$ on pourrait obtenir 2 directions privilégiées à 180° l'une de l'autre.

(voir QST May 1984 p 20, 40 meters with a phased delta loop par VE3CUI)



5.3. Les antennes loop pour les bandes hautes

Pour les bandes hautes (20, 17, 15, 12 et 10 m) on peut réaliser une quad avec un seul élément, il n'y a rien de particulier par rapport à ce qui a été dit ci-dessus pour les réalisations pour les bandes basses, la résistance de rayonnement est toujours aux environs de 140 Ω.

Mais, on peut aussi ajouter un élément réflecteur ce qui va procurer du gain à cette antenne. L'élément réflecteur est généralement 5% plus long que l'élément rayonnant, mais on peut aussi agir sur un stub ajustable.

Dimensions, selon William ORR¹⁷, W6SAI :

bande (m)	côté él. rayonnant (m)	espacement (m)
40	10,7	4,15
30	7,56	2,85
20	5,4	2,09
17	4,22	1,64
15	3,61	1,40
12	3,07	1,19
10	2,68	1,04
6	1,53	0,59

pour des antennes monobandes et n'utilisant pas de stub ajustable dans le réflecteur.

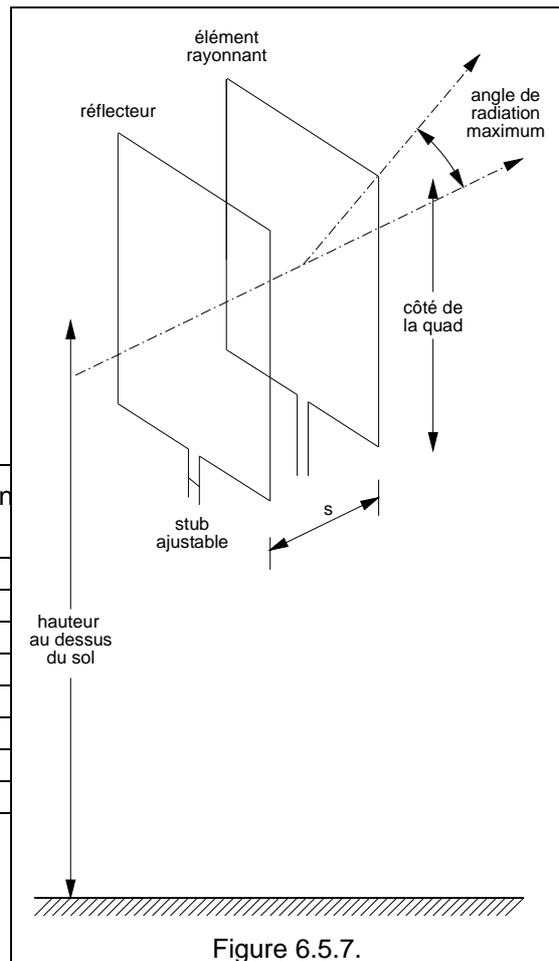


Figure 6.5.7.

Le gain (par rapport au dipôle) varie en fonction de l'espacement du réflecteur, et il atteint un maximum de 7.2 dB pour un espacement de 0,12 λ.

La résistance de rayonnement est de l'ordre de 50 Ω pour un espacement s de 0,08 λ et de 75 Ω pour un espacement s de 0,13 λ.

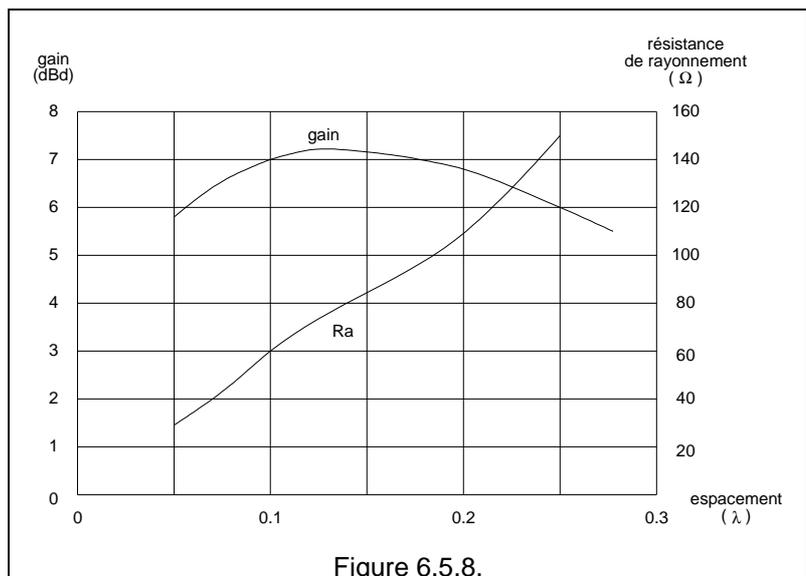
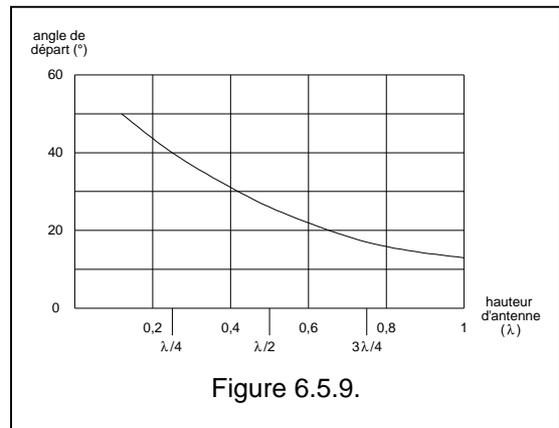


Figure 6.5.8.

¹⁷ William ORR W6SAI and Stuart COWAN W2LX, All About Cubical Quad, Radio Publications, Inc, 1982

L'angle de radiation maximum dépend de la hauteur au dessus du sol (voir ci-contre).

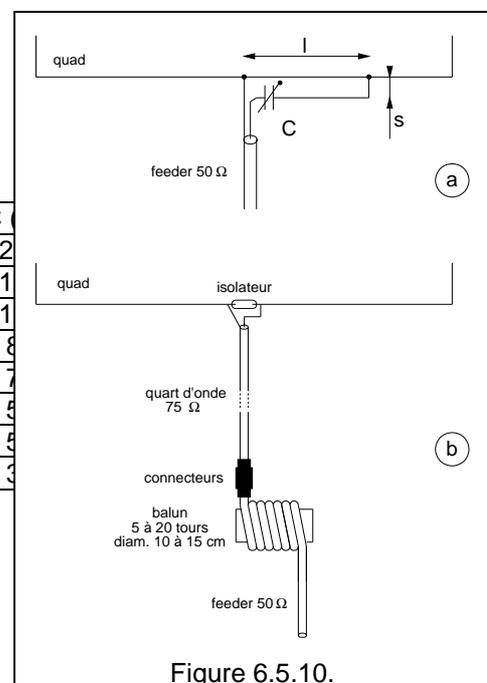


Une antenne symétrique doit normalement être alimentée par un feeder symétrique, mais dans la pratique on utilise généralement

- une attaque à l'aide d'un gamma match (figure a) selon William ORR W6SAI :

bande	l (mm)	s (mm)	C
40 m	1850	100	2
30 m	1320	76	1
20 m	890	50	1
17 m	690	50	8
15 m	630	38	7
12 m	530	25	5
10 m	460	25	5
6 m	250	25	3

L'écartement est assuré par des distanciateurs tels que ceux utilisés pour la réalisation d'une "échelle à grenouille". Généralement la ligne du gamma match est un peu plus longue que nécessaire et on procède à l'ajustement d'un court-circuit. Le réglage (minimum de SWR) se réalise en ajustant le condensateur C et la position du court-circuit.



- ou une adaptation via une ligne quart d'onde 75 Ω suivie d'un balun¹⁸ (figure c).

¹⁸ Typiquement, pour les bandes 20m à 10 m, il faut 2,5 m de câble coaxial (RG213 ou RG58) enroulé sur un support de 7 à 15 cm de diamètre.

Ces antennes sont supportées par des structures en fibre de verre. Outre le fait qu'elle puisse être mise sur pointe ("diamond") ou avec un côté parallèle au sol, on distingue encore deux formes, la première (figure a) porte le nom de "**cubical quad**", la deuxième (figure b) s'appelle "**spider-quad**". L'inconvénient de la première forme (figure a) est que le rapport écartement entre élément / lambda n'est pas constant. Cet inconvénient disparaît dans la spider-quad.

L'antenne comporte en général 2 éléments : un élément rayonnement et un élément réflecteur, mais certaines réalisations utilisent aussi un directeur. Les dimensions selon William ORR W6SAI ont été données précédemment. On obtient ainsi un gain de 7,3 dBd ou 9,45 dBi et un rapport AV/AR de 20 dB. Avec la distance entre élément rayonnant et réflecteur on obtient une impédance voisine de 50 Ω .

Dans une cubical-quad multi bande, les éléments interagissent l'un sur l'autre et les dimensions données ci-dessus devront être corrigées.

La figure ci-après montre les deux types. Il s'agit de versions tri bande (20,15 et 10 m). Le réflecteur est plus grand de quelques % (en général 5%) par rapport à l'élément rayonnant.

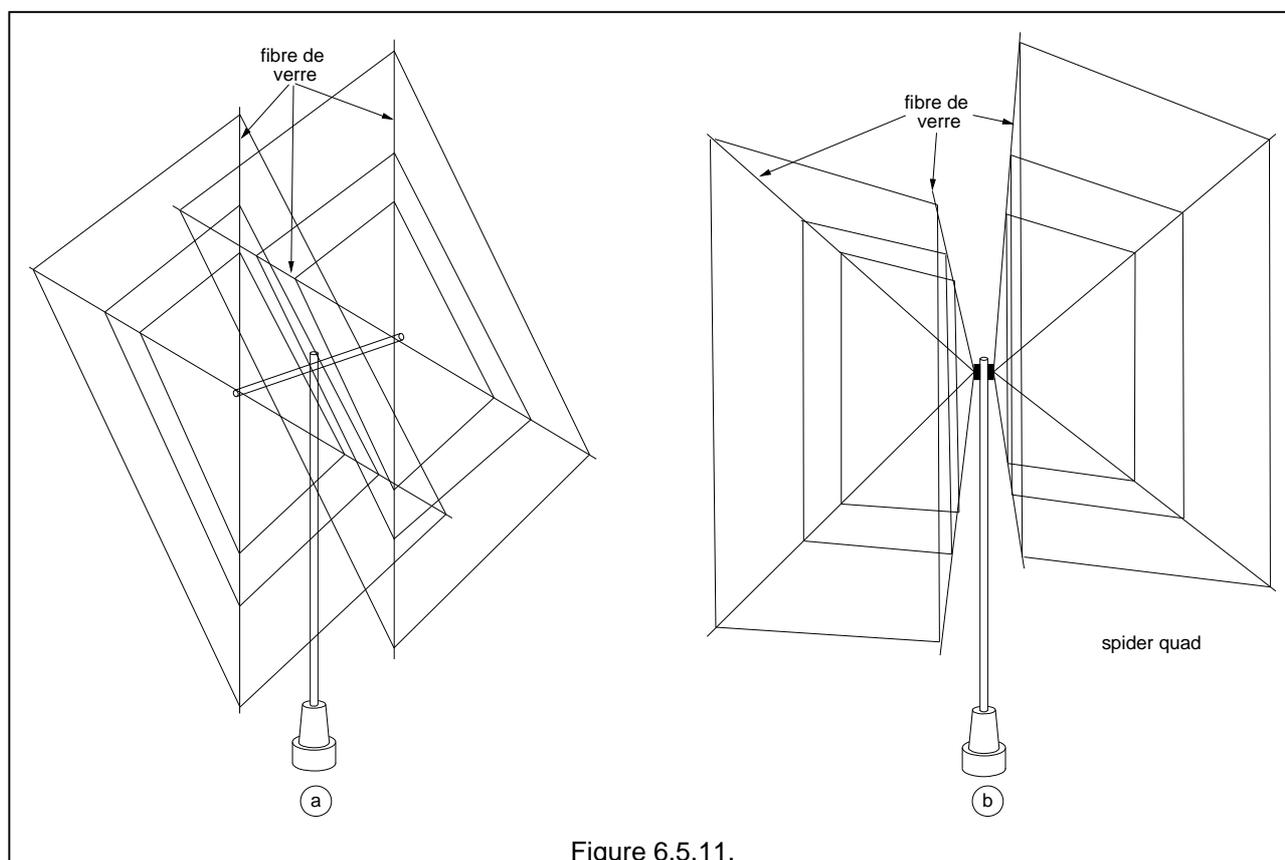


Figure 6.5.11.

Lorsqu'il s'agit d'une quad mono-bande, il n'y a pas beaucoup de problème, son impédance étant de 100 Ω , on peut l'alimenter par un quart d'onde de câble 75 Ω afin d'attaquer le feeder à 50 Ω . Même si ceci ne résout pas le problème du passage asymétrique (câble coaxial) à symétrique (la quad), cette solution est généralement acceptable.

Le point d'alimentation peut se faire au milieu de l'élément, mais il se pose alors des problèmes mécaniques dus au poids du câble. Une solution consiste à faire l'alimentation près des supports en fibre de verre.

Le cas d'une quad multi-bandes est plus critique :

a) les points d'alimentations peuvent être "simplement" mis en parallèle à l'aide de sections de lignes (fig a.). On peut aussi simplement mettre toutes les quad ensemble en déformant un peu la forme carrée (fig. b). On utilise alors à l'endroit de la mise en parallèle un balun 1:2.5 (ou simplement 1:2) pour attaquer un câble coaxial de 50 Ω. Malheureusement, dans cette "mise en parallèle", les autres éléments restent connectés et viennent perturber le fonctionnement. Une solution consiste à utiliser une boîte avec des relais.

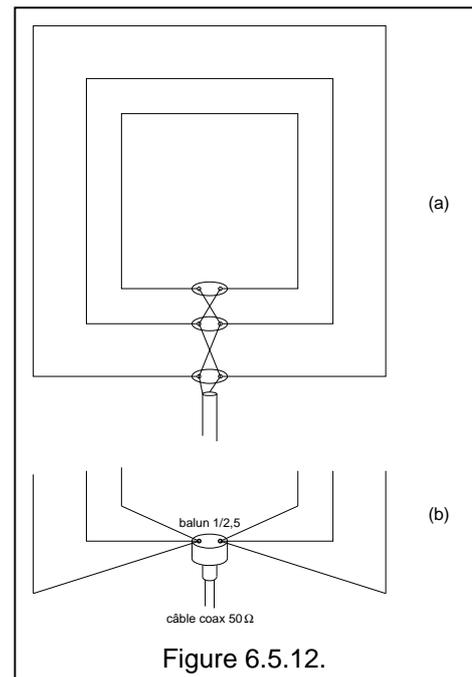


Figure 6.5.12.

b) On peut encore ajouter un élément directeur (qui sera quelques % plus court que l'élément rayonnant) et on obtient ainsi une cubical quad à 3 éléments qui donne un gain de 8,1 dBd . Avec un directeur de plus on obtient une 4 éléments qui donne 9,3 dBd.

Une façon de régler facilement la longueur des éléments est de prévoir une boucle.

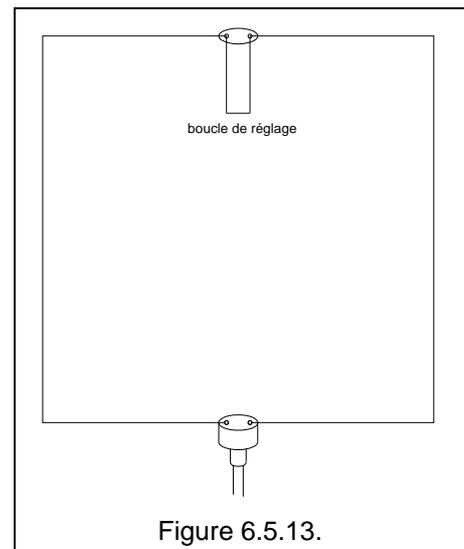


Figure 6.5.13.

c) une solution intéressante, qui va définitivement résoudre les problèmes lors de la mise en parallèle de différentes quad et aussi le problème de la descente unique, consiste à utiliser "une boîte à relais" où les 2 côtés de la loop sont commutés (voir figure ci-contre). La boîte est suspendue au milieu de la quad et peut également comporter le balun.

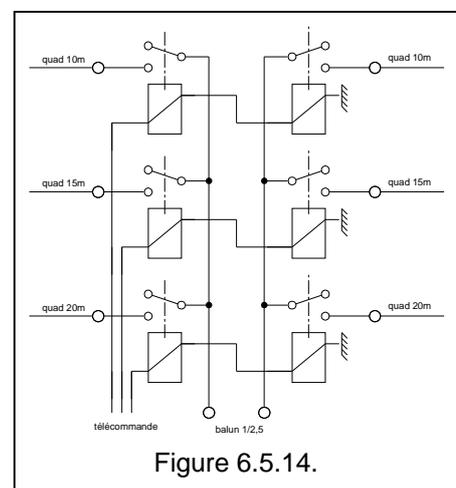


Figure 6.5.14.

d) lorsque la loop est pourvue d'adaptations gamma match et qu'il y a plusieurs câbles de descente, on peut, pour résoudre les problèmes de mises en parallèle, utiliser la boîte de commutation ci contre. Cette boîte sera placée en tête de mât et les deux conducteurs (la tresse et l'âme) du câble coaxial sont commutés. Les loops non utilisées peuvent rester ouvertes. Puisque toutes les masses des connecteurs ne peuvent pas être connectées ensemble, il faudra les monter sur une plaque isolante ou les monter sur un coffret non conducteur.

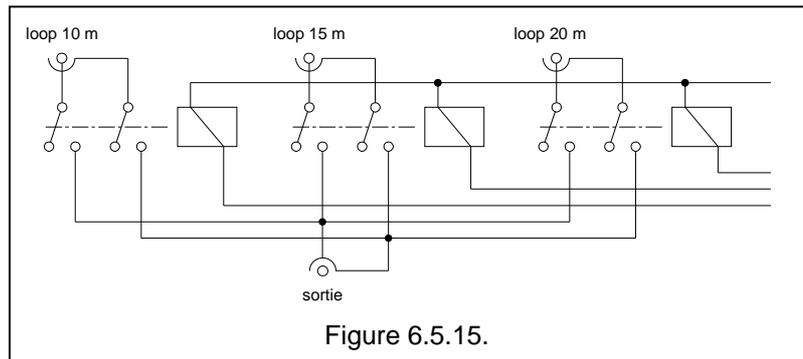


Figure 6.5.15.

Retour aux quads monobandes .. Mais, et surtout pour les bandes de 28 MHz et au delà, on peut aussi ajouter plus d'éléments. Ainsi selon N6VNG, une 4 éléments quad aurait les dimensions suivantes:

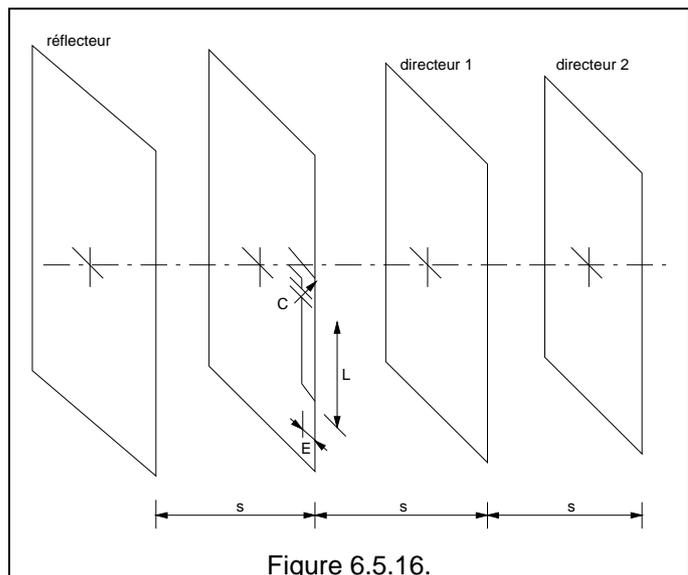


Figure 6.5.16.

fréq. (MHz)	L totale réflecteur (m)	L totale élément rayonnant (m)	L totale directeur (m)	espacement s (m)	longueur gamma match L (m)	espace gamma match E (m)	C (pf)
28,5	11,02	10,75	10,42	2,48	0,457	0,147	102,8
52,0	6,04	5,89	5,72	1,36	0,250	0,080	56,3
146,6	2,14	2,09	2,03	0,482	0,089	0,0286	20,0
445	0,705	0,698	0,668	0,159	0,029	0,0095	6,6
formule générale	$313,9/f$	$342,5/f$	$333,5/f$	$71/f$	$130/f$	$42/f$	$2930/f$

Le gain atteint 15,2 dB et l'angle d'ouverture est de 58°.

5.4. Les antennes loop pour 40 m à 10 m

Ci-dessus nous avons séparé bandes basses et bandes hautes, nous noterons ici une réalisation multibande où la loop est montée en oblique. Voir QST April 2002 p 44, A one masted sloop for 40, 20,15 and 10 meters par KI8GXI . Cette antenne permet de couvrir les bandes 40 m, 20 m, 15 m et 10 m. Cette réalisation convient fort bien pour les opérations temporaires (vacances, ...) car un seul point haut est nécessaire. Le plan de l'antenne est en oblique à 45° environ. La longueur totale de la boucle est de 41,5 m. L'alimentation de l'antenne se fait par le haut.

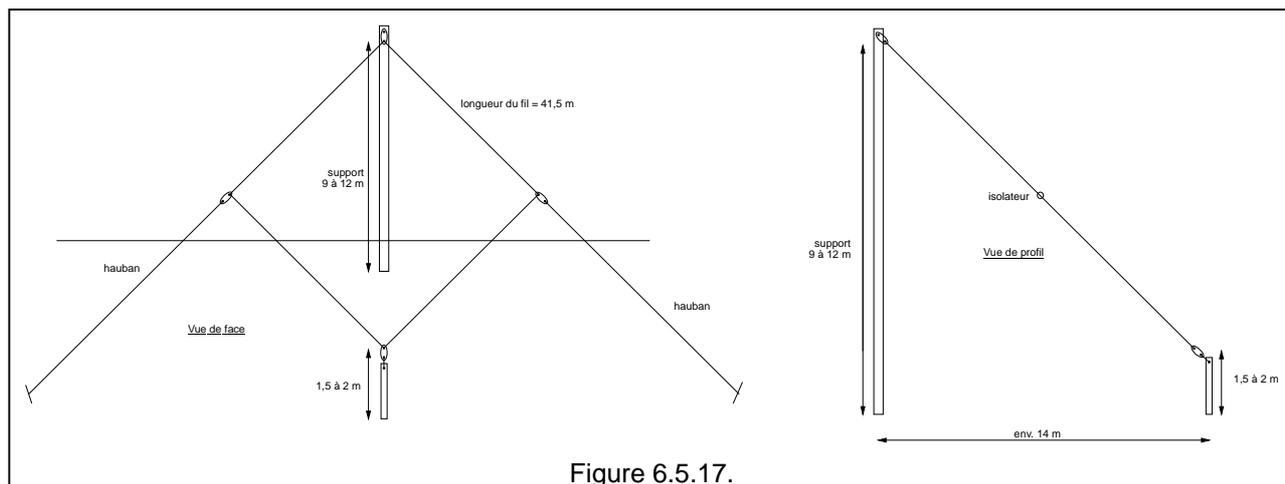


Figure 6.5.17.

Comme point de départ, les longueurs suivantes sont proposées

bande	80 m	40 m	20 m	15 m	10 m
longueur de la loop (m)	83,5	43,8	21,75	14,57	10,84

5.5. Les antennes loop pour 2m, 70 cm et au delà

Pour les bandes VHF et UHF, on peut réaliser des **doubles quad**¹⁹, et y ajouter un réflecteur.

Pour la bande de 2m par exemple, la boucle mesure 4160 mm (8 x 520 mm), elle est faite par un fil de cuivre de 5 mm de diamètre. Les 3 réflecteurs ont 1065 mm et sont éloignés de 510 mm du centre. L'écart entre le plan du réflecteur et le plan de la double quad est de 275 mm.

Cette antenne procure un gain d'environ 10 dBi et un rapport AV/AR de 25 dB. (voir The UHF Antenna Compendium par DJ9HO, Part I-II, page 340 et Die Cubical-Quad par DJ9HO)

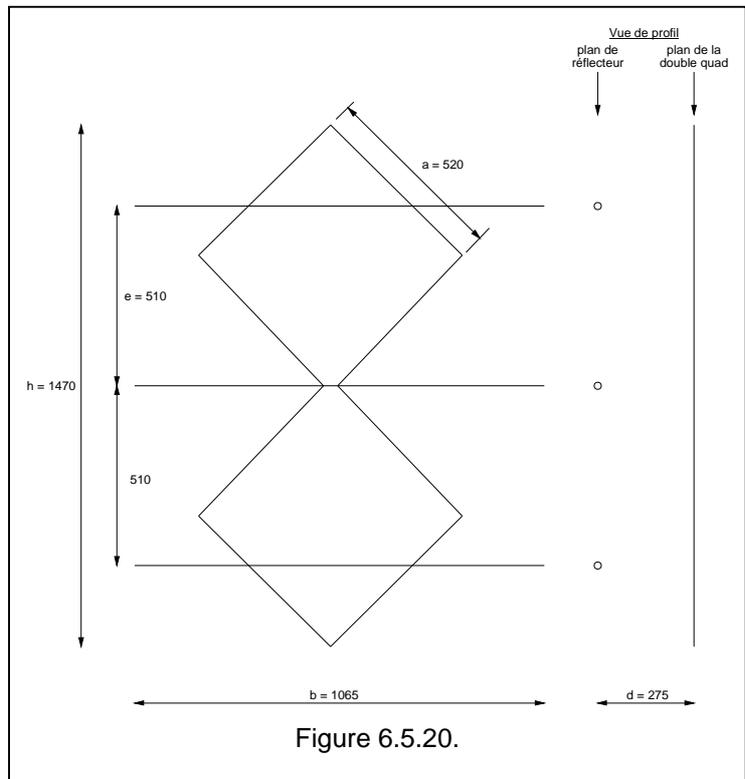


Figure 6.5.20.

Pour d'autres bandes les dimensions sont les suivantes :

fréquence (MHz)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	h (mm)	réflecteur plein ou treillis
28,5	2560	5280	1370	7240	
145	530	1065	275		
435	172	360	75		
1270	56 à 60				130 x 230
2320			15		100 x 150

Dans une variante, on peut mettre 5 réflecteurs. La distance entre réflecteur passera alors de 510 à 380 mm. (voir QST February 1985 Try a Doppelquad beam antenna for 2 meters par K8KK)

Dans la représentation ci-dessus, l'antenne est en polarisation horizontale.

Pour les bandes à partir de 430 MHz, le réflecteur peut être réalisé en treillis ou même à l'aide d'un plan métallique plein (= une tôle).

Pour les bandes à partir de 430 MHz, il est aussi possible de réaliser des "doubles-doubles-quad". A noter les deux croisements sans connexion.

Par extension on peut aussi réaliser des combinaisons de cette antenne avec une yagi (comme pare exemple pour la quagi)

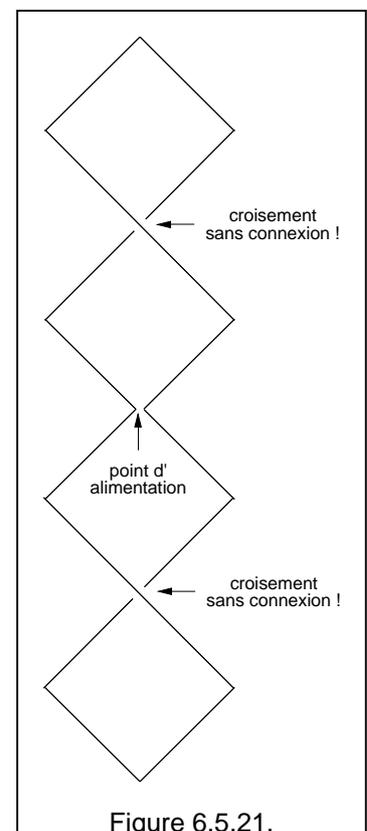
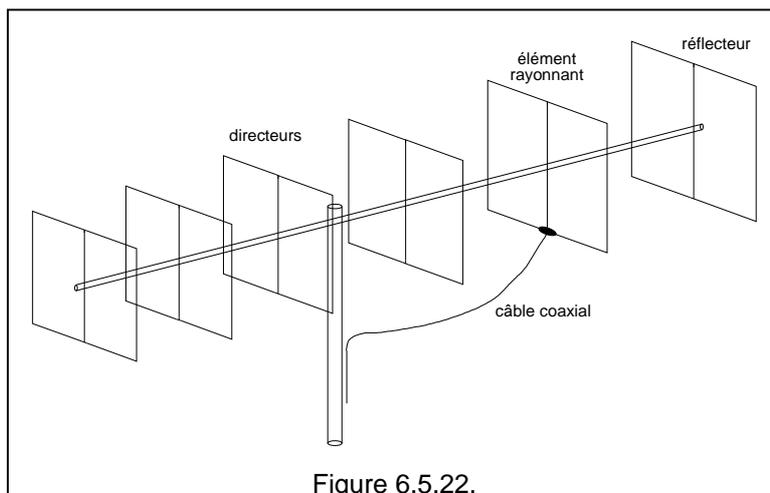


Figure 6.5.21.

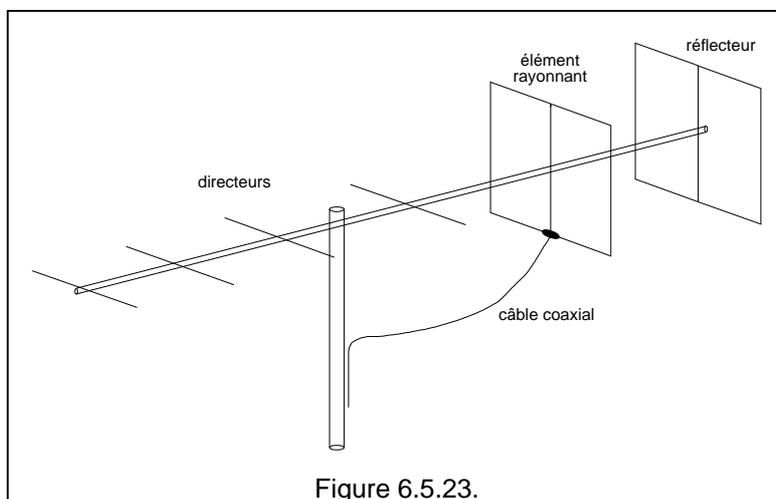
¹⁹ Encore appelées "Doppel-quad" dans la littérature allemande ou parfois aussi "Twin-quad"

Pour les bandes VHF et UHF, on peut aussi réaliser des quad multi-éléments. La figure ci-contre représente une quad 6 éléments pour la bande des 2 m. Etant donné la position du point d'alimentation, cette antenne est en polarisation horizontale.

Pour ces fréquences, mais surtout à partir de 435 MHz, on peut utiliser la forme circulaire.



Enfin la **quagi** est une combinaison d'une antenne quad (pour l'élément rayonnant et le réflecteur) et d'une yagi (pour les éléments directeurs).



Détails mécaniques

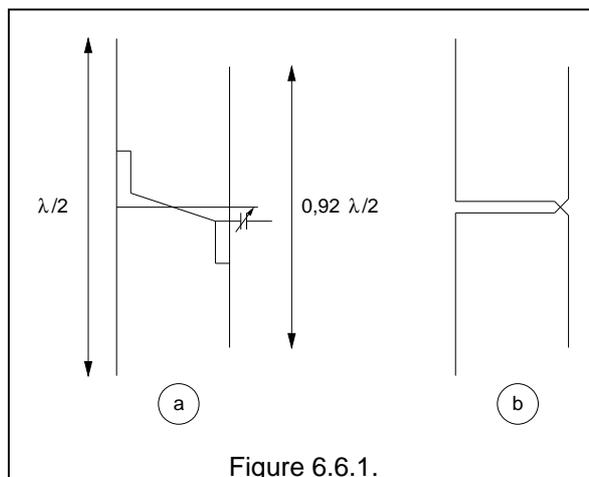
D'abord la classique plaque "boom to mast" réalisée en aluminium épais (5 mm) qui permet de fixer le boom à 90° d'un tube de mat. dans la réalisation ci-contre, les colliers sont doublés et les dimensions conviennent pour des tubes d'un maximum de 60 mm.

Les croisillons sont montés sur le boom grâce à des colliers. Des cannes en fibres de verres sont alors glissées dans ces croisillons

6. Les antennes à éléments pilotés

6.1. L'antenne HB9CV

Il s'agit d'une antenne à 2 éléments pilotés utilisée essentiellement pour les bandes 144 et 432 MHz, mais aussi sur 10m et 6 m



7. Les antennes "exotiques" ²⁰

7.1. La loop magnétique

Une loop magnétique a tout d'abord des dimensions beaucoup plus petite que λ , on a des circonférences comprises entre 0,12 et 0,25 λ .

La boucle ("loop") peut être circulaire ou en forme de carré ou de rectangle, ou encore en forme de polygone (hexagone, octogone, ...).

Cette boucle présente une self donnée par la formule

$$L = 0,623 D n^2 (\ln (D/d) + 4,68)$$

où L est en μH , D est le diamètre en mètre, d est le diamètre du conducteur en cm et n est le nombre de tours. Ainsi pour une boucle d' 1 m de diamètre et réalisée à l'aide d'un tube 20 mm, on arrive à 2,5 μH .

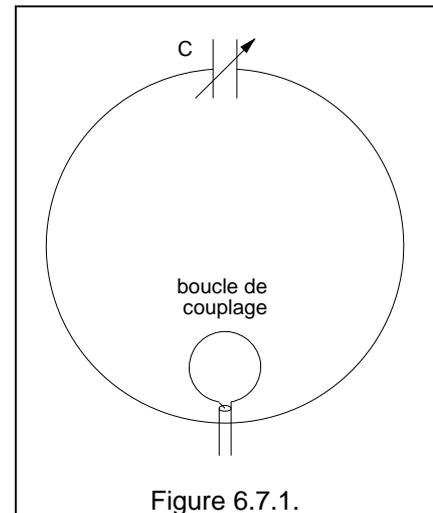


Figure 6.7.1.

Et pour accorder cela sur 14 MHz il faudra un condensateur de l'ordre de 51 pF.

La résistance de rayonnement est donnée par la formule

$$R_r = 2,376 \cdot 10^{-6} n^2 D^4 F^4$$

où D est le diamètre en mètre et F la fréquence en MHz, donc pour le cas envisagé ci-dessus et pour 14 MHz, on obtient une $R_r = 0,091 \Omega$, ce qui n'est pas beaucoup.

Le rendement de l'antenne vaut $\eta = R_{\text{radiation}} / (R_{\text{radiation}} + R_{\text{pertes}})$, comme la $R_{\text{radiation}}$ est fonction de la grandeur (surface) de la boucle et que celle-ci est faible, les R_{pertes} devront donc être aussi faible que possible. On obtient une faible R_{pertes} en utilisant un conducteur de section importante et donc un tube de cuivre ou d'aluminium. La meilleure solution consiste à cintrer un tube²¹ de cuivre (d'un diamètre de 15 à 30 mm) ou de réaliser un carré ou un polygone à l'aide de tube de cuivre et de coudes soudés. Pour réduire la résistance, il est conseillé de réaliser des brasures à l'argent.

Le facteur de surtension (facteur Q) d'une loop magnétique est donné par $Q = X_L / 2 (R_{\text{radiation}} + R_{\text{pertes}})$ et par conséquent si nous prenons deux cas extrêmes, celui où R_{pertes} serait nul et celui où $R_{\text{radiation}} = R_{\text{pertes}}$ on obtient donc des facteurs Q de 600 à 1200. Ce qui conduit à des bandes passantes relativement faibles et à la nécessité de pouvoir accorder l'antenne. Etant donné ce facteur de surtension, ce condensateur devra supporter des tensions extrêmement élevées (de l'ordre de 75 kV pour une puissance de 500 W). L'autre

²⁰ Non pas qu'elles soient importées de pays étrangers, mais ces antennes ne répondent pas directement à l'idée que certains se font d'une "antenne". Comme il existait déjà un paragraphe "autres antennes", il nous a paru intéressant d'appeler celles-ci "exotiques". Comme déjà indiqué plus haut dans ce cours, une antenne d'émission est un "machin" qui crée un champ électromagnétique à partir d'un courant (tension) haute fréquence. Et vice-versa une antenne de réception crée une tension à partir d'un champ électromagnétique. Ce "machin" est un bout de fil d'une longueur d'un quart d'onde ou d'une demi-onde. Pour "amplifier" le rayonnement dans une direction déterminée, et donc obtenir du gain dans une direction déterminée, on peut

- ajouter des éléments parasites à une demi-onde, et on obtient une "yagi".
- alimenter plusieurs quart d'ondes ou demi-ondes en phase, on obtient des "array"
- mettre plusieurs quart d'ondes à la queue-leu-leu on obtient une antenne colinéaire.

En fait, il n'y a pas de miracle, plus une antenne est complexe, plus elle a du gain, plus elle est éloignée du sol moins elle est influencée par celui-ci. Toutes ces antennes sont dérivées du "morceau de fil" utilisé par Marconi dans ces premières expériences et tout (ou presque) sur les variantes de ces antennes a été dit ci-dessus.

Il reste d'autres formes d'antennes intéressantes, non seulement pour les principes mis en application, mais aussi pour leurs petites dimensions. A essayer avant de critiquer !

²¹ Mais on peut aussi utiliser une bande de métal, par exemple une bande d'aluminium de 80 mm de large et de 4 m de longueur pour faire une boucle magnétique qui couvre 2 à 10 MHz (voir <http://home.germany.net/100-119720/loop-mag.htm>)

problème est de maintenir les résistances de connexions de ce condensateur très faibles, puisqu'elles vont contribuer à la R_{pertes} . Or dans un condensateur variable ordinaire la résistance de contact du rotor n'est pas négligeable. D'où plusieurs solutions :

- l'emploi d'un condensateur papillon ("butterfly") où les armatures A et B sont connectées à la loop et où la résistance de contact du rotor n'intervient plus. Le rotor peut d'ailleurs être complètement isolé. Il importe de noter que la capacité entre A et B est réduite de moitié. Donc un condensateur de 2 x 100 pF, n'en fera plus que 50 !

La forme particulière du rotor rappelle celle d'un papillon d'où son appellation.

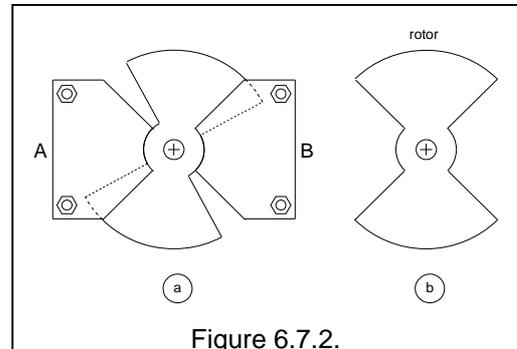


Figure 6.7.2.

- partant de l'idée "condensateur de différentiel" du condensateur papillon, on peut bien sûr concevoir une multitude de variantes où les armatures seraient constituées de deux plaques rectangulaires avec une troisième plaque mobile
- une autre solution consiste à souder les armatures du condensateur sur la boucle et à écarter la boucle de sorte que la surface de recouvrement varie, ce qui entraîne évidemment une modification de la capacité. La boucle est écartée au moyen d'un moteur de positionnement de parabole satellite et d'un système extensiateur (cf Wimo)
- condensateur à vide peut facilement être commandé par un petit moteur et il supporte des tensions extrêmement importantes. Il faudra toutefois veiller à connecter ce condensateur avec un minimum de pertes.
- certains auteurs (voir <http://www.standpipe.com/w2bri/>) utilisent un bout de câble coaxial genre RG-8 pour réaliser le condensateur.

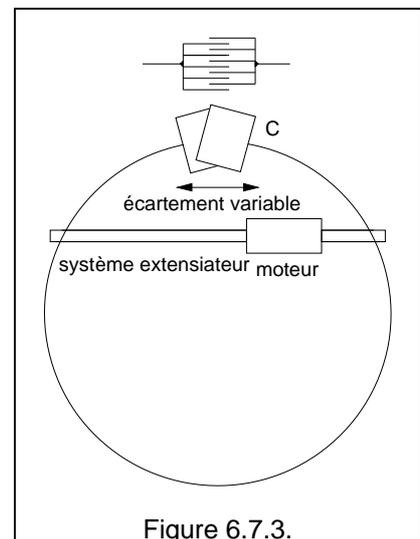


Figure 6.7.3.

Dimensions recommandées pour la boucle (voir ARRL June 1986 p 33, W5CJR) :

diamètre (m)	longueur (m)	fréquence (MHz)	C (pF)
0,82	2,6	29	9
		21	23
		14	60
		10	125
2	6	14	6
		10	29
		7	73
3,7	11,6	7,2	10
		3,5	143
5,82	18,3	3,5	47
		1,8	328
9,7	30,5	1,8	128

Le dernier point important est l'alimentation de l'antenne :

- une possibilité consiste en un simple gamma match
- mais on peut aussi faire une simple boucle concentrique
- et une méthode souvent utilisée et qui est appelée "boucle de Faraday" est représentée ci-dessous. On utilise une boucle en câble coaxial avec une mise à la masse de l'âme à deux endroits. Le rapport entre le diamètre de la boucle principale et la boucle de couplage est de 5/1



On dit que cette antenne est "magnétique" parce qu'elle engendre avant tout un champ magnétique, par opposition à la plupart des autres antennes (dipôles, verticales, yagi, quad, ...)

Une loop magnétique et moins influencée par le sol et par conséquent elle peut être montée très près du sol.

7.2. L'antenne EH

Soyons clair toute antenne produit un champ électrique (E) et un champ magnétique (H) sans quoi il n'y aurait pas de champ électromagnétique et l'antenne ne rayonnerait pas ... sic !

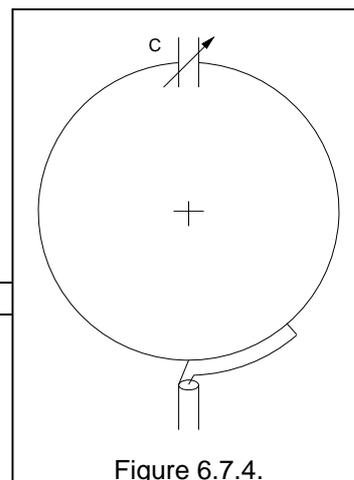


Figure 6.7.4.

8. Autres antennes

Un paragraphe où on retrouve des antennes que nous n'avons pas pu classer dans une des catégories ci-dessus ...

9. Antennes utilisées en réception

En première approximation, il n'y aurait pas de différence entre les antennes d'émission et les antennes de réception car le principe de la réciprocité suppose que tout ce qui est vrai en émission est également vrai en réception. Tant qu'on ne considère que l'impédance caractéristique et le diagramme de rayonnement cela semble évident.

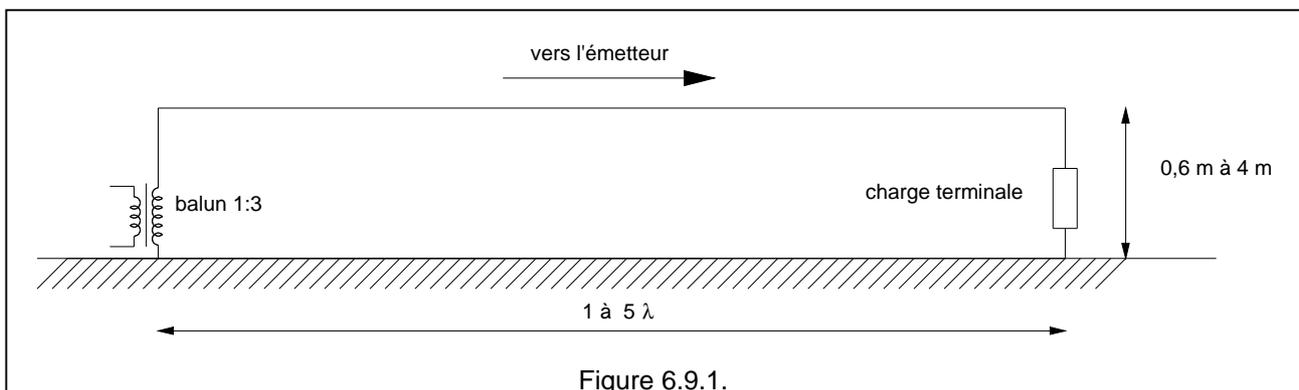
Mais nous oublions alors un élément important c'est qu'une antenne de réception ne capte pas seulement le signal souhaité, mais aussi bien d'autres signaux et notamment le bruit. Ceci est particulièrement vrai pour les bandes basses (160, 80 et 40 m) mais aussi pour la radiodiffusion (OM et OC jusque 10 MHz environ). Quelques antennes sont particulièrement intéressantes à ce point de vue et offrent des performances de réception très intéressantes pour la réception des bandes basses (et même parfois au delà).

Le phénomène est à tel point admis que les transceivers "haut de gamme" possèdent une entrée spéciale en RX uniquement !.

Nous allons donc examiner quelques unes de ces antennes maintenant ...

9.1. L'antenne Beverage²²

L'antenne Beverage est une antenne directionnelle pour la réception, elle est constituée d'un long fil typiquement 1 à 5 λ et elle est installée parallèlement au sol à une distance de 0,6 à 4 m. D'un côté ce fil est terminé par une résistance, de l'autre côté le fil va au récepteur.



En ce qui concerne le fil, on utilisera du fil de cuivre, si possible monobrin, d'un diamètre compris entre 0,7 et 2 mm. Le fil d'une antenne Beverage doit être maintenu à une distance théorique comprise entre 0,6 et 4 m du sol, pratiquement on se situe plutôt entre 1 et 2 m. Pour maintenir cette hauteur du fil sur une grande distance cela on utilise supports isolants, on peut par exemple utiliser

- des poteaux métalliques munis d'isolateurs,
- des "vrais" bambous ou des bambous en plastic (cf magasins de jardinage),
- des tubes d'installation électriques en PVC.

On placera un support tous les 15 à 25 m. On peut aussi utiliser des supports existants (un arbre, mais sans trop de feuilles ... , ou un piquet de clôture, ...).

On peut aussi utiliser un seul support assez élevé (2 à 4 m par exemple) au centre et aller en oblique au moins de départ et vers la charge terminale.

²² Harold Beverage W2BML a donné son nom à cette antenne en 1921

Une antenne Beverage a une plus grande sensibilité pour le signal polarisé verticalement que pour le signal polarisé horizontalement. L'antenne Beverage fonctionne sur le principe des ondes progressives

Etant donné que le sol joue le rôle de conducteur de retour, cette antenne fonctionne d'autant mieux que le sol est bon conducteur. L'angle d'ouverture pour $1 \lambda = 90^\circ$, pour $2\lambda = 55^\circ$

L'impédance de cette antenne est de l'ordre de 300 à 600 Ω d'où la nécessité d'utiliser un balun pour attaquer le câble coaxial 50 Ω . Ce balun devra avoir un rapport en impédance de 1:9, ce qui correspond à le rapport du nombre de spires au primaire/secondaire de $\sqrt{9}$ donc 3

Réalisation du balun

Comme il s'agit de réception, le balun ne véhiculera (presque) pas de puissance, on peut donc utiliser des modèles relativement petits. La préférence va aux tores de 0,50 à 1,14" (env. 12 à 30 mm)

Le matériau doit être adapté à la plage de fréquence et comme son coefficient de perméabilité (μ) va influencer le nombre de spires, on choisira plutôt un matériau tel que les n° 43, 61 ou 75 de la marque Amidon.

Pour réaliser le bobinage proprement dit, il existe plusieurs méthodes :

- enroulements séparés : avantage moins de couplage capacitif surtout aux fréquences plus élevées
- enroulements imbriqués : Avantage : meilleur couplage magnétique d'où moins de pertes
- enroulement bi- ou trifilaire: améliore encore le couplage entre les enroulements

Calcul du balun

La self présenté par un enroulement devra être égale ou supérieure à $L = X_L / 2 \pi f$ ou f est la fréquence la plus basse.

On pourra ensuite calculer le nombre de spires grâce à la formule $N = 1000 \sqrt{L_{(mH)} / A_I}$ où A_I est un coefficient donné pour chaque type de ferrite et exprimé en mH pour 1000 tours

type de matériau (Amidon)	43	61	75
perméabilité (μ)	850	125	5000
fréq. d'utilisation (MHz)	0,01 à 50	0,2 à 10	0,5 à 20
FT-50	523	68	2750
FT-82	557	73.3	2930
FT-114	603	79.3	3170

Pour un rapport 1/4 ou 1/9, on préfère souvent réaliser des bobinages bi- ou tri filaires.

Exemple : Pour 3,5 MHz $L > 50 / 2 \pi f = 2,27 \mu H$

Si on prend un tore FT-50-75 alors $n = 1000 \sqrt{0,00227 / 1100} = 1,4$ tours on prendra donc 6 tours pour l'enroulement du côté 50 ohms.

La charge terminale

La charge terminale sera non inductive, théoriquement elle ne dissipe pas de puissance, mais étant donné la proximité des antennes d'émission, il convient de choisir une résistance pouvant dissiper au moins 1 Watt si la puissance d'émission est de 100 W et plus si on utilise un amplificateur de forte puissance.

La résistance a une influence sur le rapport avant/arrière. On peut optimiser l'antenne en réglant la charge terminale.

En supprimant la charge finale, l'antenne devient bidirectionnelle.

Référence

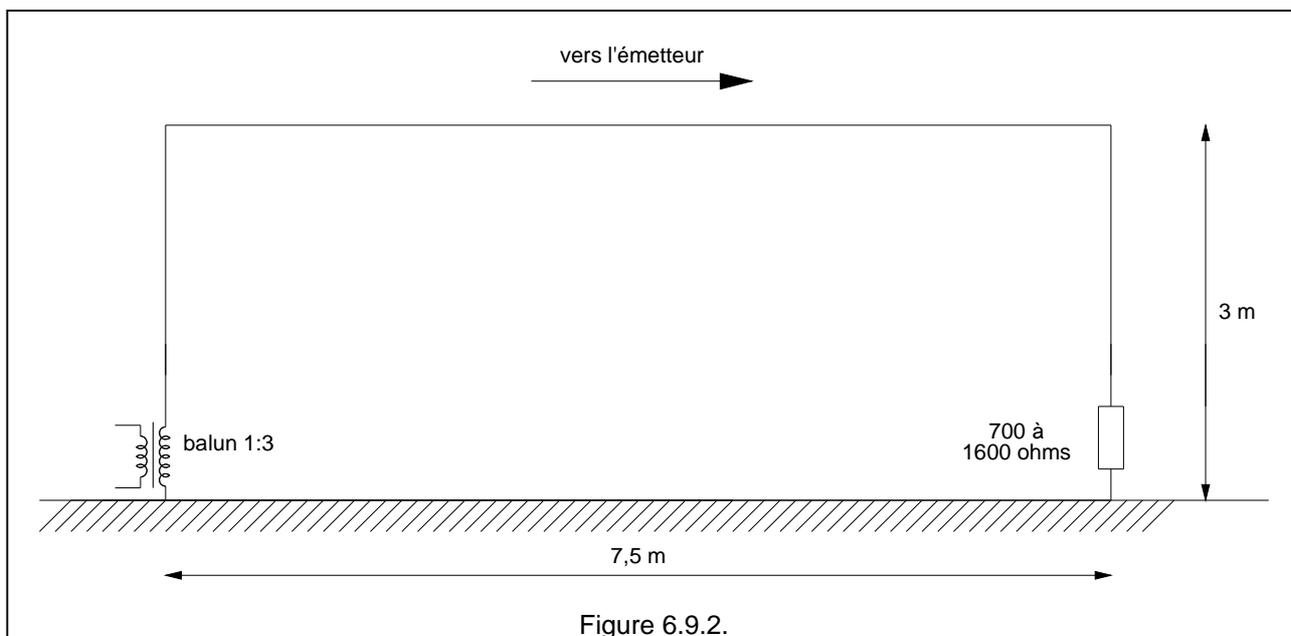
- <http://www.hard-core-dx.com/nordicdx/antenna/wire/beverage/index.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Beverage_antenna

9.2. L'antenne EWE²³

L'antenne EWE est construite selon la figure ci-jointe. Elle nécessite donc 13,5 m de fil. On pourrait dire que l'antenne EWE est une Beverage "raccourcie et élevée". Les dimensions de cette antenne s'accommodent un peu plus avec les tailles des jardins ordinaires ... Cette antenne travaille selon le principe d'ondes progressives, elle est donc "large bande" et couvre de 150 kHz à 10 MHz environ. Elle est utilisée pour les bandes basses (160, 80 et 40 m) et aussi pour l'écoute des stations de radiodiffusion (OM et OC).

Il s'agit d'une antenne directive qui nécessite une résistance de charge de l'ordre de 700 à 1600 Ω selon les caractéristiques du sol, mais à défaut d'informations précises, 900 Ω semble être une bonne valeur.

L'antenne nécessite aussi un balun 1:3 pour l'adaptation à un câble coaxial de 50 Ω . Voir réalisation du balun ci-dessus.



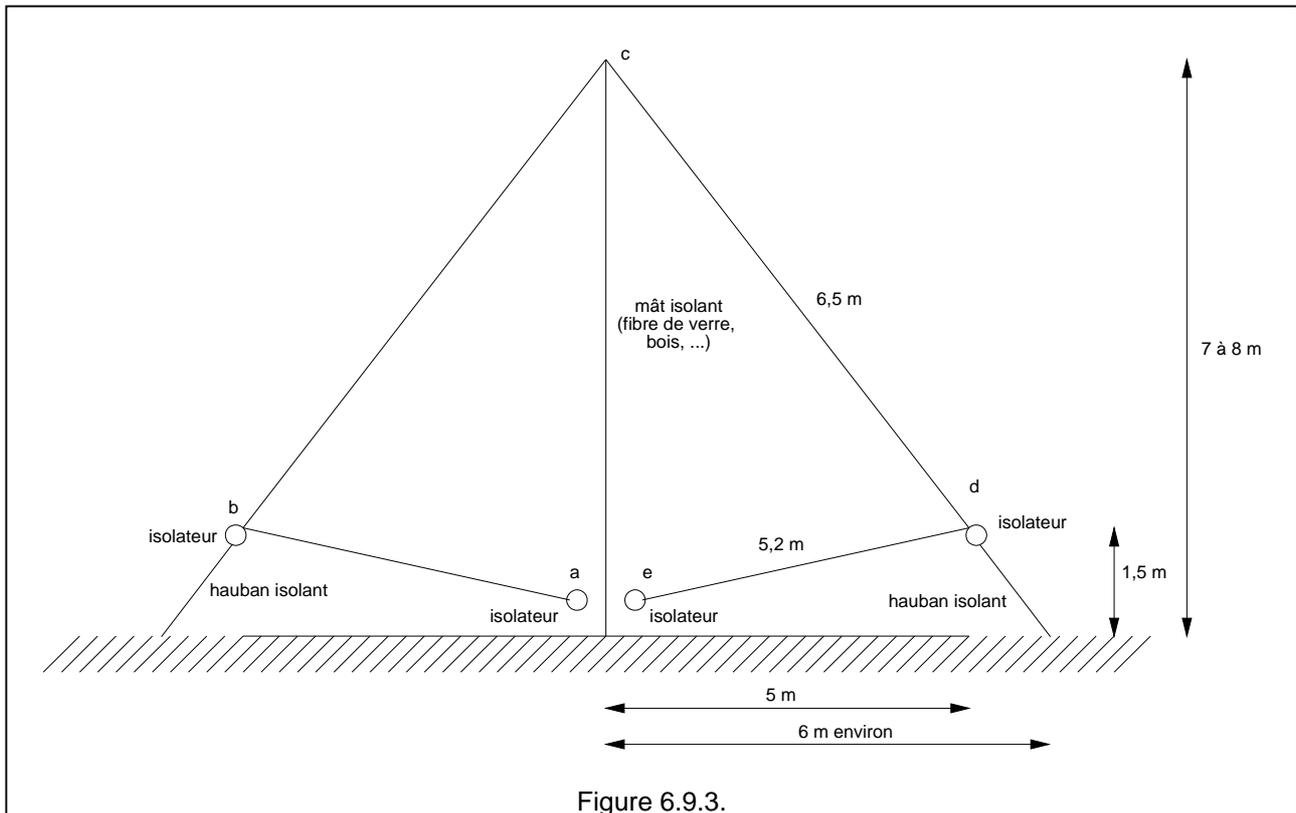
Certains auteurs ont comparé les résultats obtenus comme similaire à une antenne Beverage de 90 m.

²³ En anglais "ewe" signifie brebis, et se prononce comme la lettre "u" en anglais toujours et en fait la EWE est une antenne en forme de U inversé !

8.3. L'antenne K9AY

Cette antenne décrite par K9AY existe aussi sous le nom de BELLINI-TOSI.

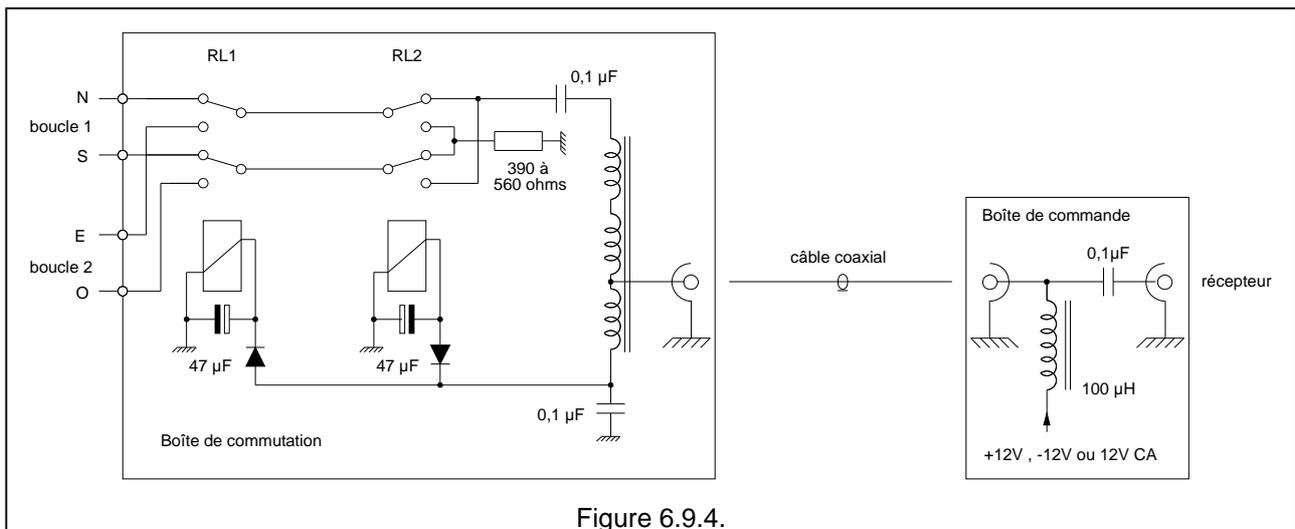
Au centre on trouve un mât en fibre de verre sur lequel est suspendu l'antenne. Il s'agit en fait de 2 boucles de fil, accrochées d'une part à une hauteur de 8 m sur le mat et allant à une distance de 5 m. Les boucles sont isolées l'une de l'autre et chaque boucle fait environ 23,4 m de long.



Une boîte de commutation est placée au pied du mât et permet de choisir la direction. Le circuit montre le schéma de cette boîte, en supposant que les boucles sont disposées NE/SO et NO/SE par exemple, alors

tension sur l'âme du câble coaxial	relais	direction
pas de tension		NS
+	RL1 activé	EO
-	RL2 activé	SN
tension alternative	RL1 et RL2 activés	OE

L'antenne est reliée par un câble coaxial à une boîte de commande qui permet de fournir les tensions nécessaires aux relais.



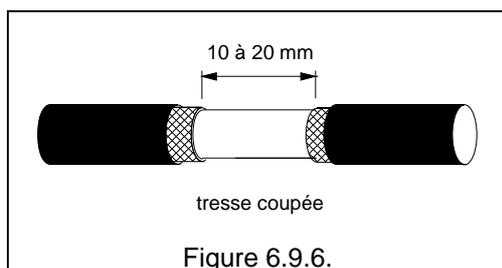
Référence :

<http://www.hard-core-dx.com/nordicdx/antenna/loop/index.html>

8.6. L'antenne "coaxial loop"

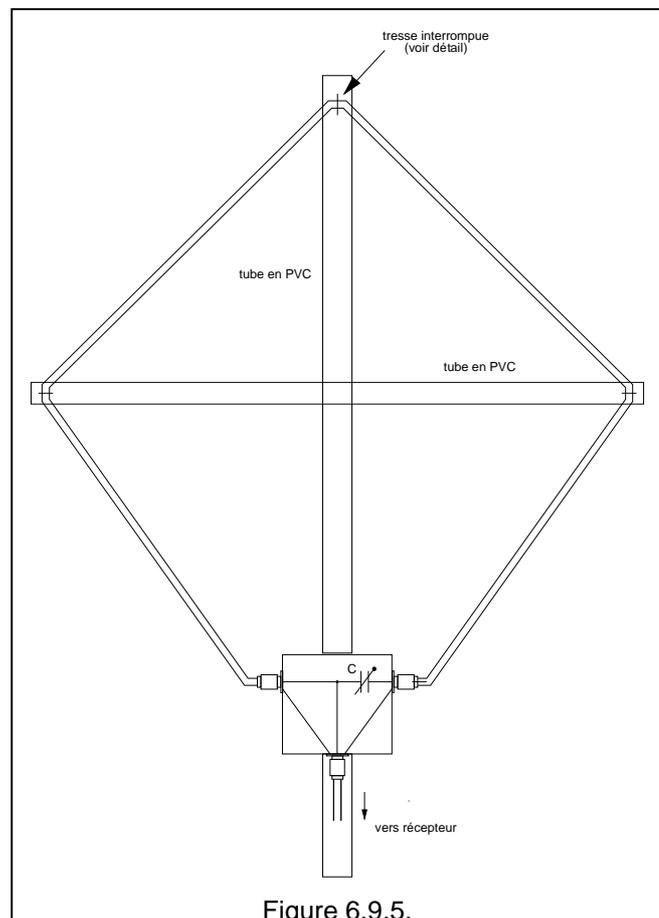
Cette antenne est constituée d'une boucle en câble coaxial, dont la longueur est inférieure à $0,1 \lambda$. Le support de la boucle est réalisé en bois ou à l'aide de tuyaux en PVC. Le type de câble coaxial n'a pas beaucoup d'importance, et la forme non plus (carré, losange ou cercle si on utilise du câble rigide).

La tresse du câble coaxial est coupée en son milieu sur une distance de 10 à 20 mm. L'âme reste intacte sur toute la longueur de la boucle (voir détail ci-dessous). Le câble est protégé par une gaine thermo rétractable (non représenté ici).



Les 2 extrémités de la boucle arrivent dans une boîte (en matière plastique par exemple), où toutes les masses sont reliées ensemble et où un condensateur C permet de faire l'accord.

Bande	longueur boucle	C
160 m	6 m	400 pF
80 m	3 m	200 pF
40 m	1,5 m	100 pF

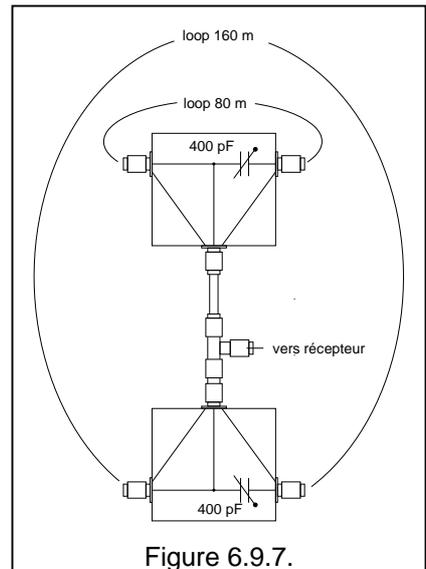


La figure ci-contre montre comment coupler une antenne coaxial loop pour la bande 160 m avec une autre pour le 80 m.

Cette antenne fonctionne comme un circuit accordé. Le blindage du câble coaxial fait office d'écran et empêche les inductions électriques, ce qui réduit sa sensibilité par rapport aux parasites électriques industriels. Cette antenne est donc sensible au champ magnétique.

Cette antenne possède une directivité dans le plan du cadre.

(Réf : <http://www.qsl.net/kc2tx>)



10. Table des matières

1. Autres antennes filaires	1
1.1. L'antenne long fil	1
1.2. L'antenne en L inversé	3
2. Variantes d'antennes dérivées de l'antenne verticale	4
2.1. A propos des radiales.....	4
2.2. L'antenne verticale avec self	4
2.3. L'antenne verticale avec chapeau capacitif	5
2.4. L'antenne verticale avec self et chapeau capacitif.....	6
2.5. L'antenne "Battle Creek"	7
2.6. L'antenne verticale à charge linéaire.....	8
2.7. L'antenne verticale à trappes	8
2.8. L'antenne verticale à éléments pilotés	10
2.9. L'antenne verticale tantôt en $\lambda/4$ et tantôt en $\lambda/2$	11
2.10. Mise en phase d'antennes verticales	12
2.11. Les antennes Slim Jim et J-pole	13
2.12. L'antenne verticale 145/435 MHz.....	13
3. Variantes d'antennes dérivées de l'antenne dipôle	14
3.1. Rappel	14
3.2. L'antenne Windom.....	14
3.3. L'antenne dipôle multi bandes.....	15
3.4. L'antenne W3DZZ	16
3.5. Le dipôle raccourci	17
3.6. L'antenne Lévy ou "center-fed Zepp"	18
3.7. L'antenne G5RV	20
3.8. L'antenne Zéppelin	23
3.9. L'antenne Twin-T	24
3.10. Le dipôle "tout à la masse".....	24
4. Particularités pour les antennes Yagi	25
4.1. Couplages d'antennes Yagi	25
4.2. Les Antennes Yagi croisées et la polarisation circulaire.....	26
5. Les antennes loop , delta-loop et quad	29
5.1. Généralités	29
5.2. Les antennes loop pour les bandes basses.....	30
5.3. Les antennes loop pour les bandes hautes	33
5.4. Les antennes loop pour 40 m à 10 m.....	38
5.5. Les antennes loop pour 2m, 70 cm et au delà.....	39
6. Les antennes à éléments pilotés	41
6.1. L'antenne HB9CV	41
7. Les antennes "exotiques"	42
7.1. La loop magnétique.....	42
7.2. L'antenne EH.....	44
9. Antennes utilisées en réception	46
9.1. L'antenne Beverage	46
9.2. L'antenne EWE.....	48
8.3. L'antenne K9AY.....	49
8.6. L'antenne "coaxial loop"	50
10. Table des matières	53

Annexe 2 :

Support pour antenne dipôle

Lorsqu'on réalise un dipôle, une antenne dérivée du dipôle, ou même une quad, il se pose alors la question de la réalisation de l'isolateur central. On utilise à cet effet du plexiglass ou un autre matériau plastique

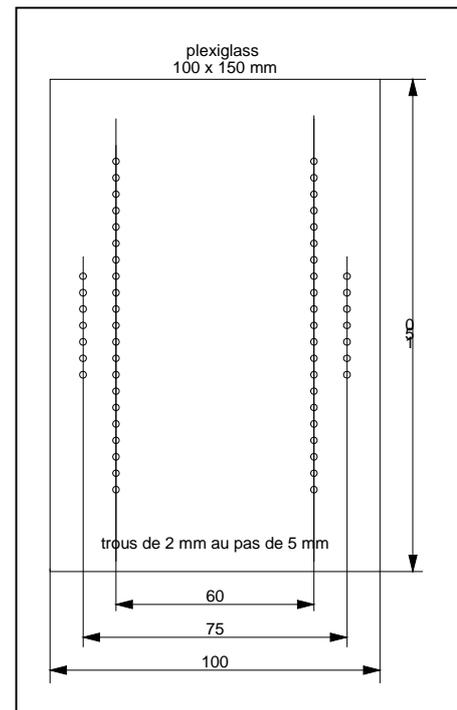
Annexe 3 :

Support de bobinage pour un coupleur d'antenne Lévy

On utilise comme support de la bobine une plaque en plexiglas trouée comme indiqué ci-contre. On réalise alors les bobines sur un support (provisoire) de diamètre légèrement inférieur, car avec l'élasticité du cuivre, la bobine aura tendance à se laisser aller et à augmenter de diamètre.

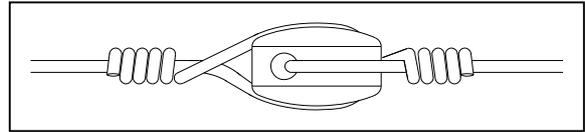
Cette bobine aura quelques tours de plus.

Ensuite, retirera le mandrin et on "visera" la bobine dans les trous du support en plexiglas.

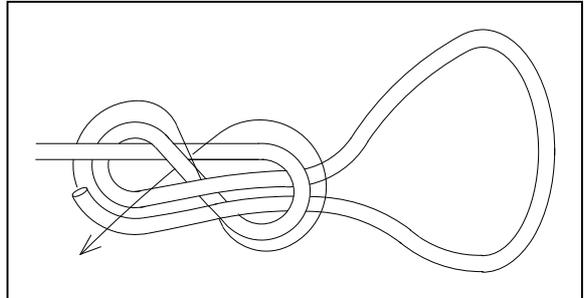


Annexe 4 :

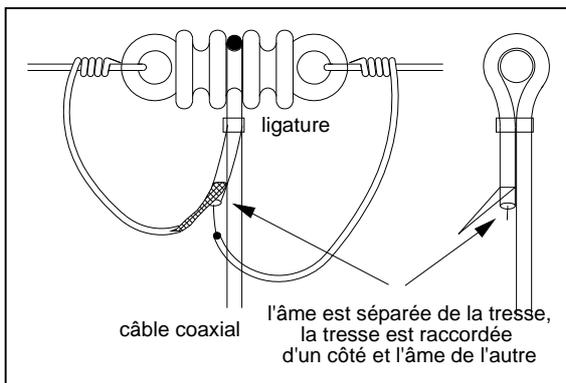
Il n'est peut être pas inutile d'indiquer comment utiliser un isolateur en porcelaine avec du fil monobrin.



Le "nœud en 8" sera utilisé pour les haubans (drisse) en matière synthétique.



Quand à la partie centrale elle peut soit être réalisée avec un isolateur en porcelaine un peu spécial



Annexe 5 :

Nœud de réglage

Un nœud de réglage est parfois utile pour les installations temporaires (field day, IOTA, ...) ou à titre provisoire