

## Antenne "cube" pour le 2 mètres

*Cet article est la concaténation de deux articles parus dans Radio-REF. En janvier 2020 Antoine, F1AYO, a présenté la traduction d'un article de QST écrit par John Portune, W6NBC, au sujet de la réalisation d'une antenne 145 MHz compacte, de forme cubique. Si cette antenne originale est très intéressante, le concepteur s'est fourvoyé dans l'explication de son fonctionnement, d'où la publication de mon article "Retour sur l'antenne 2m cubique" le mois suivant.*

**Première partie : traduction de l'article de W6NBC par Antoine Guichard F1AYO.**

### **Le mot du traducteur**

*Les radioamateurs américains envient les Français plus souvent que vous ne l'imaginez. Par exemple le droit à l'antenne n'existe pas encore chez eux. Selon leur localisation, la pose d'une antenne est un problème sérieux, aussi ont-ils développé un véritable savoir faire pour pouvoir trafiquer, même modestement, sans se faire remarquer. Dans ce domaine, John Portune, W6NBC, a apporté une contribution certaine, soutenue par de sérieuses compétences techniques. Selon l'habitude de QST, chaque article est suivi par une courte notice de présentation de l'auteur. Cela me semble une bonne idée à suivre, pas du tout saugrenue.*

*Lorsque la description de cette antenne a été publiée dans le QST de janvier 2019, ma première idée était d'en fabriquer une avant de me lancer dans la traduction de l'article. Mais divers embarras sont venus contrarier ce projet et le reporter. Entre temps, le QST de novembre a publié une version 6 m de ce genre d'antenne. Il m'a donc fallu commencer par le commencement et vous proposer la version 145 MHz. Comme pour toutes mes traductions, je transforme les mesures anglo-saxonnes en unités normalisées SI.*

*Le tube proposé par l'auteur est du tube en cuivre 1/2 pouce, soit un diamètre de 12,7 mm. Les valeurs usuelles en Europe sont en millimètres et la valeur la plus proche est du tube de 12/10. La bande VHF est aussi plus large aux USA. Le tableau fourni par l'auteur indique un ROS de 1,8 à 1/1 de 144 à 146 MHz, ce qui est encore acceptable.*

*J'espère que cette description attirera quelques expérimentateurs. Ils pourront me faire part des résultats obtenus, et j'en publierai volontiers la synthèse. Mais avant d'entreprendre votre réalisation, je vous conseillerais d'attendre le Radio-REF du mois prochain dans lequel F5NB fera une analyse complète de cette antenne et donnera quelques conseils pour la fabrication et la mise au point. Voir sur la figure 1 la photo faite par W6NBC de son antenne terminée.*



Figure 1 : L'antenne « cube » terminée (photo W6NBC)

## Ce que dit John Portune, W6NBC :

Peu d'antennes de fabrication OM ont été aussi populaires que l'antenne en J, construite à partir de tubes en cuivre rigide : ceux du réseau d'eau de la maison. Mais la structure bien visible d'une antenne en J peut provoquer des problèmes avec le voisinage. Si vous risquez ce genre de soucis, voilà peut-être votre solution. En utilisant du simple tube de cuivre, vous pouvez fabriquer une antenne moins visible et plus efficace qu'une antenne en J.

### **Le cube.**

L'antenne 2m présentée figure 1 mesure seulement 254 × 254 × 178 mm hors tout. Elle est omnidirectionnelle et a le gain d'une antenne en J, mais elle est plus efficace. Non, ce n'est pas une « halo », mais une antenne « squelette » repliée. Les antennes « halo » ont habituellement une polarisation horizontale. Cette antenne est polarisée verticalement, en alimentant en parallèle les boucles supérieures et inférieures. Ceci est conforme au trafic via relais, qui doit être en polarisation verticale.

La boucle en cuivre de l'antenne squelette équivaut au plan d'une antenne à fente, l'espace entre les boucles constituant la fente. Toute l'antenne est repliée verticalement en forme de cube pour la rendre omnidirectionnelle. Pour une meilleure efficacité et une grande bande passante, l'antenne est constituée de tube en cuivre ordinaire ½ pouce et de raccords qui se trouvent dans n'importe quel magasin de matériaux ou de bricolage [NDT : *magasins US pour les dimensions*]. Une modélisation par EZNEC montre globalement une meilleure efficacité par rapport à une antenne en J. Voir sur la figure 2 la courbe du ROS dans la bande 2m. [NDT : *bande US, dans la version française, le centre de la courbe sera décalé de 1 MHz.*]

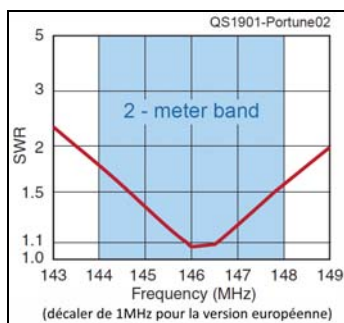


Figure 2 : Courbe du ROS dans la bande amateur US

La figure 3 montre le diagramme de rayonnement EZNEC en présence du sol (courbe bleue).

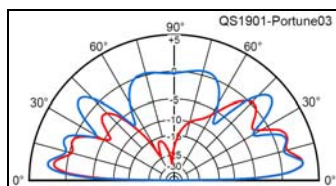


Figure 3 : Diagrammes de rayonnement en présence du sol

### **La construction.**

Au lieu de travailler à partir d'un plan coté, une façon plus simple est de couper les tubes à la longueur, selon la liste du matériel à la fin de cet article. Les morceaux de tube se placent presque naturellement en forme de cube. Une bonne pratique serait de monter l'ensemble « à blanc », puis de marquer les pièces et de procéder ensuite aux soudures.

Commencez l'assemblage en nettoyant les pièces de cuivre avec de la laine d'acier. Ensuite, souder séparément les boucles supérieures et inférieures sur une surface plane. Ne pas placer tout de suite les coudes sur les parties les plus courtes. Assemblez et soudez les parties

verticales. Les boucles déjà soudées tiendront l'antenne en position pour les dernières soudures.

### Le point d'alimentation.

J'avais prévu de ne pas souder le point de raccordement, pour pouvoir le faire glisser et régler ainsi le ROS. Ceci supposait des coups de lime fastidieux autour des tés et de leurs fixations. Je me suis aperçu, un peu plus tard, que je pouvais souder le point d'alimentation aux extrémités de la boucle la plus courte,

Il y a un espace séparant les parties en cuivre dans le raccord plastique. Notez que ce raccord est en CPVC, et non en simple PVC. Ce type de raccord est prévu pour se raccorder à des tubes en cuivre et peut supporter les températures de soudage. Le raccordement s'effectue en perçant et en taraudant l'extrémité des tubes de cuivre. Des trous filetés améliorent le contact et la tenue des vis.

Prenez une longueur de coaxial RG58 (ou Mini-8) terminé par une prise. La longueur doit être suffisante pour faire 6 tours autour du mât support, ceci pour obtenir une self de choc et bloquer les courants de gaine. Fixez les spires avec des colliers anti-UV. Protégez l'extrémité du coaxial contre l'humidité avec un manchon thermo-rétractable et de la graisse silicone. La liaison vers l'émetteur se fera avec un câble coaxial à faibles pertes, comme du RG-8, du RG-213 ou du LMR-400.

### Mise en place et dissimulation.

Si vous placez l'antenne sur un mât, percez quatre trous à travers les coudes en utilisant un mât en PVC. Pensez à décaler les trous pour pouvoir passer les vis sans difficultés.

Cette antenne peut aussi se poser directement sur le toit, en la maintenant de niveau. En posant dessus une assiette plastique, ou un autre objet, toujours en plastique, on pourra dissimuler sa fonction réelle.

Il y a un certain temps, j'avais publié un article sur une antenne du type « boucle magnétique », dissimulée dans une vraie girouette. Je pense que l'antenne cube est plus performante et surtout bien plus facile à réaliser, et on peut la déguiser aussi facilement,

### Liste du matériel.

**NDT :** *L'auteur ne donne pas les dimensions de l'antenne d'axe en axe, mais la longueur des tubes. Cela suppose que l'on utilise les mêmes raccords, tés et coudes qui sont aux normes US. On laisse le soin au lecteur de modifier les longueurs en fonction de ses propres raccords.*

Pour la longueur des tubes, on se référera à l'auteur et au dessin de la figure 4.

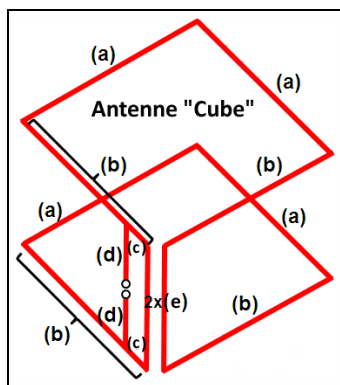


Figure 4 : Vue du cube pour dimensions des tubes

On supposera que le fait de passer d'un diamètre de 12,7 mm à 12 mm ne change pas la longueur des tubes. Nous avons les longueurs suivantes :

**a** = 8,5 pouces, soit 215,9 mm (×4).

**b** = 8 pouces, soit 203,2 mm (×4).

**c** = dimension non précisée. On remarquera sur la fig. 1 que les tés et les coudes se touchent, ce qui fixe cette dimension. Alors les tubes (b) traversent entièrement les tés pour venir se ficher dans les coudes (NDT : ceci n'est pas possible avec tous les tés).

**d** = 3,5 pouces, soit 88,9 mm, moins 1,5 mm afin de laisser un espace de 3 mm pour le branchement du câble coaxial (×2).

**e** = 7 pouces, soit 177,8 mm (×2).

Soit au total une longueur un peu supérieure à 2 m d'un tube 12 × 10 Cu, auquel on ajoutera :

10 × coudes en équerre, cuivre 12 × 10.

2 × raccords en Té, cuivre 12 × 10.

1 × raccord droit, CPVC 14 × 12.

## Deuxième partie : Article de F5NB "Retour sur l'antenne 2m cubique"

*Si cette antenne de W6NBC est originale et intéressante, le concepteur s'est fourvoyé dans l'explication de son fonctionnement, comme va le montrer cet article, volontairement didactique.*

### Une antenne 2m compacte, adaptée et à large bande.

Je reproduis sur la figure 1 la photo "européanisée" de cette antenne.

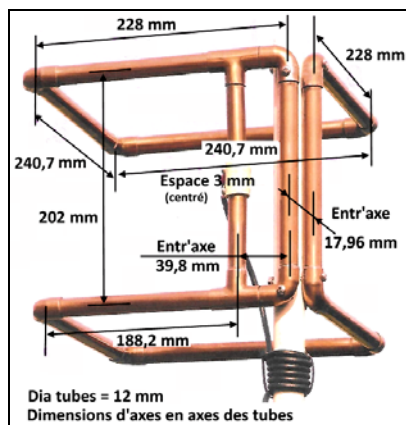


Figure 1 : L'antenne cube "européanisée" (d'après W6NBC)

Sur cette figure, les dimensions sont celles que j'ai utilisées pour la simulation avec "NEC-Win Pro". Si elles sont valables pour l'étude, elles sont susceptibles de varier légèrement dans la réalisation. En effet, bien que mon simulateur ait une option pour les faibles rapports [écartements / diamètre] entre les fils, comme il est basé sur NEC qui utilise la méthode des moments ( MoM), il n'est vraiment précis que pour les antennes à fils minces <sup>(1)</sup>.

### Analyse des affirmations de W6NBC

Il compare son antenne à une antenne "squelette" qui fonctionne selon lui comme une antenne "fente". Voir plus loin le principe de l'antenne squelette et sur la figure 2 le principe de l'antenne fente.

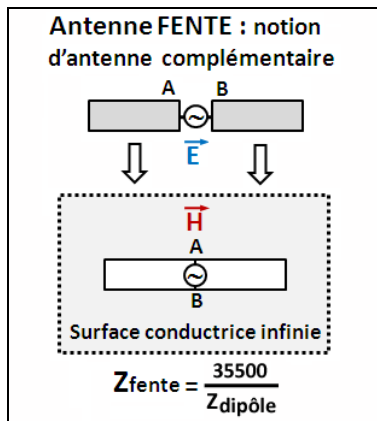


Figure 2 : Principe de l'antenne "fente"

Bien sûr, entre l'antenne cube et l'antenne fente, il n'y a rien de commun. En réalité il s'agit d'une **antenne boucle de longueur lambda** qui a été repliée pour entrer dans un cube. Voir sur la figure 3 sept types d'antennes boucles de longueur lambda avec leurs gains et leurs diagrammes de rayonnement **en espace libre**.

**Antennes boucles de longueur lambda**

Caractéristiques communes :

- Diamètre des fils =  $\lambda / 1000$
- Ecartement  $K = \lambda / 300$
- Diagrammes et gains en espace libre
- Diagrammes en décibels (échelle Log)
- Polarisation **H** (tourner l'aérien de  $90^\circ$  pour polar V)
- Impédances à la résonance ( $Z_{ANT} = R_{ANT} + j0$ )
- Gains en **dBd** ( $G_{(dBi)} - 2,15$  dB)
- Rendement 100% (pas de pertes)

Boucle	Carrée (Quad)	Losange	Triangle	Delta loop	Trombone	Rectangle	Cubique
Géométrie							
Diagramme Plan H							
Diagramme Plan V							
$Z_{ANT} (j=0)$	124 $\Omega$	125 $\Omega$	115 $\Omega$	120 $\Omega$	285 $\Omega$	18 $\Omega$	35 $\Omega$
Gain (dBd)	1,15 dBd	1,08 dBd	0,84 dBd	0,65 dBd	0 dBd	1,8 dBd	-0,94 dBd

Figure 3 : Gain et rayonnement de sept types d'antennes boucles de longueur Lambda

Ici l'antenne cubique correspond à celle de W6NBC sans l'ajout du doublet d'adaptation.

On voit que pour les cinq premières antennes, les diagrammes en espace libre sont quasiment les mêmes. Mais en présence du sol, ils se différencient, surtout en polar H, du fait que les principales parties rayonnantes ne sont pas aux mêmes hauteurs.

Dans cet ensemble on voit que c'est l'antenne cube qui a le moins de gain et c'est logique, car c'est la plus omnidirectionnelle <sup>(2)</sup>. Je rappelle que le gain est égal à la directivité multipliée par le rendement (ici supposé égal à 100%). Noter par ailleurs que l'antenne en J a un gain de 0 dBd car sa partie rayonnante est un dipôle demi-onde. Donc l'antenne cube de  $0,1 \lambda$  de côté à un gain diminué de l'ordre du décibel par rapport à l'antenne en J, ce qui est **très honorable**.

### ***De l'antenne rectangle à l'antenne squelette***

On notera sur la fig. 3 que c'est l'antenne rectangle qui a le meilleur gain grâce au rayonnement de deux doublets espacés de  $0,45 \lambda$ . Les autres fils ne rayonnent pas. Tournons le rectangle de  $90^\circ$  pour passer en polar V, puis prenons un deuxième exemplaire et réunissons les au niveau des doublets de l'alimentation qui devient unique. Nous aurons besoin de retoucher un peu les dimensions pour garder la résonance et une impédance de  $50 \Omega$ . Nous obtenons l'antenne squelette de la figure 4.

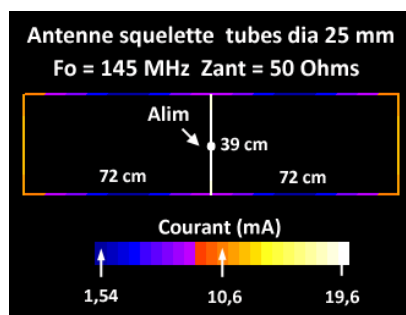


Figure 4 : Géométrie et courants de l'antenne squelette

Seuls les trois doublets verticaux rayonnent perpendiculairement au plan de l'antenne car ils sont en phase. Nous obtenons une **antenne directive** en polar V avec un angle d'ouverture H à 3 dB de deux fois  $58^\circ$  et un angle V de  $94^\circ$  (ce qui ne nous sert à rien en VHF). Elle est loin d'être omnidirectionnelle. Par contre elle a un gain de 3,75 dBd, soit 2,8 dB meilleur que l'antenne rectangle (+3 dB théorique). Nous voyons qu'elle n'a rien à voir avec l'antenne cube, sauf peut-être un rayonnement de doublets très raccourcis, mais dans des encombrements très différents (N-B : *un seul doublet pour le "cube" et trois pour la "squelette"*). **Dans les antennes, bien différencier les parties qui rayonnent et celles qui ne sont là que pour adapter l'impédance.** Dans un cas il s'agit de champs actifs (action sur  $R_r$ ) et dans l'autre cas de champs réactifs (action sur  $Z_{ant}$ ).

### **Analyse de l'antenne de la figure 1.**

Son fonctionnement est identique à celui de l'antenne de W6NBC. Nous avons affaire à une boucle électrique de longueur  $\lambda$ . Pour les pertes, on aura *grosso modo* les mêmes pertes qu'avec un doublet demi-onde construit en tube de cuivre de 8 mm (non significatif).

Cette boucle  $\lambda$  présente donc deux ventres et deux nœuds de courant. Alors on se débrouille pour mettre les ventres en parallèle (les parties qui rayonnent le plus) comme dans une antenne trombone. Cela aura pour effet de quadrupler la résistance de rayonnement qui est alors d'une trentaine d'ohms. C'est ce que nous constatons sur la fig. 3. Mais W6NBC ajoute un troisième doublet entre les deux, en parallèle sur celui qui est alimenté. Le courant du doublet de retour se partage alors entre les deux autres doublets et celui qui est alimenté ayant moins de courant voit sa résistance de rayonnement augmenter <sup>(3)</sup>. En ajustant les écartements entre les trois doublets verticaux on arrive à une résistance d'antenne de  $50 \Omega$ .



Nous y reviendrons. Noter que les trois doublets étant très rapprochés rayonnent comme un doublet unique (comme pour l'antenne trombone). Concernant l'effet des deux carrés horizontaux, il reste faible car nous avons deux boucles faiblement espacées parcourues par des courants opposés<sup>(4)</sup>. Elles rayonnent donc très peu. Cela sera évident en examinant sur la figure 5 le diagramme des courants dans l'antenne (les dimensions correspondent à une simulation pour  $Z_{ant} = 50 \Omega + j0$ ).

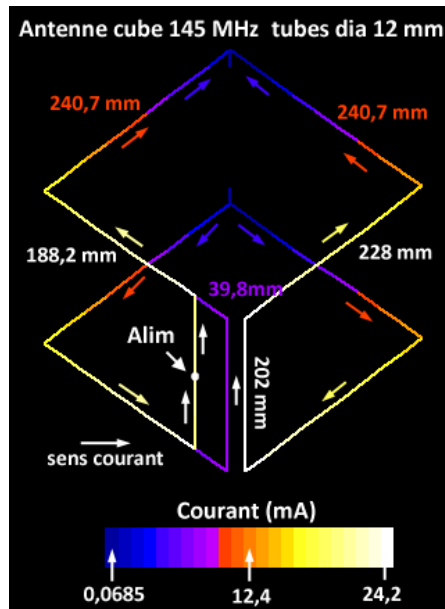


Figure 5 : Courants dans l'antenne optimisée au simulateur

N-B : Nous verrons plus loin le rôle des deux petits bouts de fils à l'angle des nœuds (en bleu). Examinons maintenant sur la figure 6 le rayonnement dans le plan horizontal (gains en dBi).

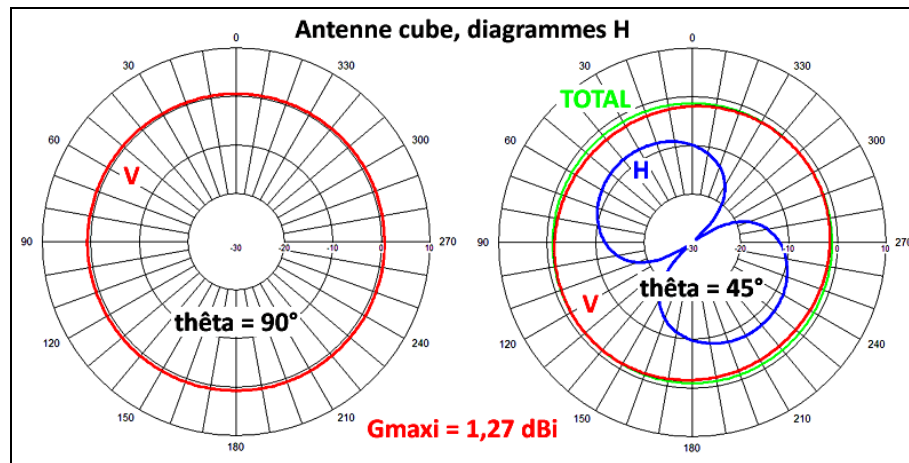


Figure 6 : Rayonnement dans le plan Horizontal pour les deux polarisations

Nous avons un gain de -0,9 dBd essentiellement en polarisation V, avec une omnidirectionnalité presque parfaite, légèrement contrariée par le système d'adaptation. On remarquera que pour un angle de départ de 0° (thêta= 90°) seule la polarisation V est présente avec un rayonnement omnidirectionnel. Mais à 45° d'élévation, la polar V n'est plus aussi omnidirectionnelle et il apparaît un rayonnement en polar H en forme de huit, avec un niveau non négligeable d'environ 20% (-7dB).

Poursuivons avec la figure 7 qui montre le diagramme dans le plan vertical pour les deux polarisations, H et V.

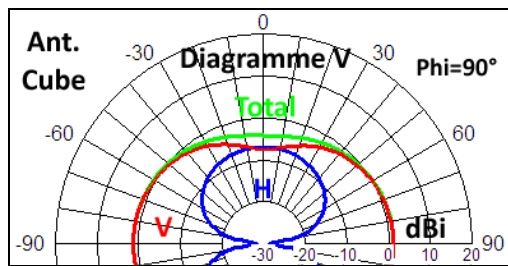


Figure 7 : Rayonnement dans le plan Vertical pour les deux polarisations

Nous voyons que nous avons un rayonnement en polarisation H vers le zénith (et le sol) faible, mais non négligeable (environ -8 dB). Il est dû aux parties carrées horizontales qui sont espacées de  $\lambda/10$  et leurs champs ne se compensent pas parfaitement à distance. Par ailleurs ces boucles horizontales ont une dimension qui n'est plus négligeable devant  $\lambda$ . En conséquence, le diagramme en huit que l'on aurait avec l'antenne en J ou avec un simple dipôle devient "patatoïde". C'est la différence entre les deux formes (les deux directivités) qui est à l'origine de la différence de gain de 0,9 dB en défaveur pour l'antenne cube.

Passons maintenant à l'impédance d'antenne en examinant l'abaque de Smith de la figure 8.

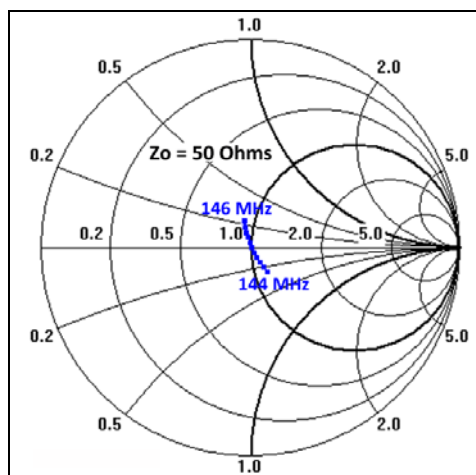


Figure 8 : Impédance de l'antenne de la figure 5

Noter que si les diagrammes de rayonnement ne posent pas de problème avec la simulation, pour l'impédance d'alimentation elle est à prendre avec circonspection comme base de départ pour l'expérimentation. Ici la simulation est surtout intéressante pour constater les résultats quand on fait varier certains paramètres. Ainsi en allongeant un peu les parties verticales et en diminuant les parties horizontales pour conserver l'accord, on arrive très bien à remonter l'impédance à  $50 \Omega$  (cf. dimensions Fig.5). Mais cela ne veut pas dire que les dimensions de W6NBC sont fausses <sup>(5)</sup>. On peut aussi alimenter le doublet vertical à une extrémité au lieu du centre. On augmente ainsi un peu la résistance de rayonnement, mais on diminue le gain en brisant un peu plus la symétrie (rayonnement vertical en polar H plus important).

### Alimentation coaxiale du cube.

La manière de connecter le coaxial de W6NBC est peut-être simple, mais elle est peu fiable. Il serait plus judicieux d'employer la méthode "center fed" utilisée professionnellement pour les antennes verticales demi-ondes. Principe général : le câble coaxial d'alimentation passe à l'intérieur du brin inférieur du dipôle. Naturellement la tresse du câble ne doit pas être en contact avec le brin. Si son diamètre est suffisant, on peut même enfiler sur le coaxial, près de sa sortie, quelques tubes de ferrite pour bloquer un éventuel courant de gaine. Pour notre application, la figure 9 donne tous les détails de fabrication.



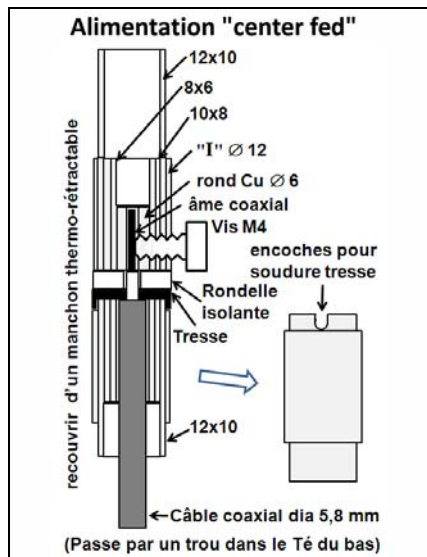


Figure 9 : Alimentation "center-fed"

## Méthode de fabrication du cube

Pour la fabrication on se référera au dessin de la figure 10.

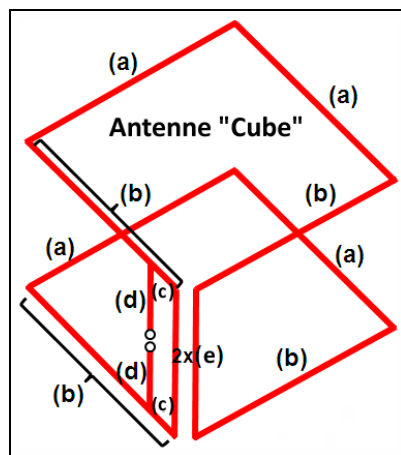


Figure 10 : Disposition des références pour les longueurs de tubes

Nous aurons besoin au minimum de :

- 2 m + 50 cm de tube Cu rigide 12×10.
- 50 cm de tube 10×8 et 50 cm de tube 8×6 (longueur minimum de vente)
- 10 coudes et deux tés pour tubes 12×10. De préférence des tés "traversants", sinon on sera obligé de couper les tubes (b) en deux morceaux.
- 2 raccords "I" pour tube 12×10 avec limage éventuel de la butée interne (petite bosse) au milieu du I.
- 1 manchon thermo-rétractable pour diamètre 12-14 une fois rétreint.
- Visserie Inox.

Les longueurs des tubes seront telles qu'avec les raccords que l'on aura approvisionnés, une fois les tubes emmanchés à fond, on obtiendra les dimensions d'axe en axe de la figure 5.

Pour la soudure des tubes à l'étain, on aura besoin du matériel suivant (dans toutes les bonnes quincailleries) :

- un petit chalumeau à gaz butane
- du fil d'étain gros diamètre, plus du décapant
- une plaque isolante de la chaleur pour mettre sous les tubes pendant le soudage

- de la laine d'acier (utilisée pour le récurage des grosses casseroles) pour décaper les tubes avant soudage.

**Processus :**

- On commencera par renforcer les extrémités des tubes (d) pour l'alimentation en soudant une série de petits tubes emboîtés les uns dans les autres puis on taraudera le trou M4 sur le brin supérieur (*cf.* fig.9). Ensuite on percera un trou dia 8 mm dans le Té du bas, ceci pour passer le coaxial avec un renforcement de son isolation par manchons thermo-rétractables.
- Enfiler sur les Tés les tubes (b) et les positionner . Si les Tés ne sont pas traversants, raccourcir les tubes (b) et utiliser deux petits tubes (c) pour relier les tés aux coudes qui les toucheront.
- Assembler sur le même plan les tubes (b), (d) et (e) avec les tés et les deux coudes de droite. Si les tés sont traversants percer un trou de 8 mm pour le coaxial dans le tube (b) du bas (dans le trou du Té). Ne pas oublier les manchons thermorétractables sur les tubes (d) écartés de l'épaisseur de la rondelle isolante (3 mm). Puis souder (pas de retour en arrière possible).
- Tailler le câble coaxial de façon qu'avec la prise de raccordement, il ait une longueur **électrique** de  $\lambda/2$  (appliquer le coefficient de vitesse), depuis la soudure de sa tresse sur le tube (d) jusqu'à l'extrémité de la prise. Ceci pour faciliter les mesures.
- Préparer le coaxial comme montré sur la figure 8 (coaxial isolé téflon de préférence), puis l'enfiler dans la partie (d) du bas sans oublier d'insérer la rondelle isolante de 3 mm en téflon.
- Souder la tresse du coaxial dans les encoches avec un fer de 300 Watts puis rétreindre les manchons au bon endroit sans mettre la vis M4.
- A l'aide d'un foret, dégager le trou de 4 sous le manchon rétractable. Ensuite insérer et serrer la vis M4 puis croiser les doigts pour qu'il y ait continuité électrique et aucun court-circuit.
- Enfiler un ou deux manchons thermorétractables sur le coaxial puis monter la prise. Plus tard on enroulera cette partie de la ligne coaxiale autour du mât isolant pour réaliser une self de choc.

La partie la plus compliquée étant terminée, continuer par l'assemblage et le soudage (toujours sur le plan isolant de la chaleur) :

- des tubes (b) et (e) du côté avec deux coudes
- des tubes (a) du dessus avec un coude
- des tubes (a) du dessous avec un coude

Il doit rester quatre coudes pour l'assemblage final après réglage.

Avec nos quatre morceaux plans plus les quatre coudes restants, nous pouvons assembler le cube. L'insertion dans les coudes doit se faire "à force modérée", quitte à ovaliser un peu les tubes pour avoir un bon contact électrique. Nous devons obtenir un beau cube. Pour renforcer provisoirement sa tenue, on peut utiliser un tube intercalaire isolant VHF attaché verticalement aux tubes de cuivre dans l'angle opposé à l'alimentation.

**Méthode de réglage**

Installer le cube à une distance de 3 à 4 m de toute surface conductrice, y compris le sol. A cette distance cela ne devrait pas avoir d'incidence sur l'impédance (sur le diagramme de rayonnement on verra que c'est autre chose).

Pour la fixation du cube, on utilisera un tube PVC dans l'angle de l'alimentation, comme au final, mais attaché provisoirement avec des colliers "rilsan".

Brancher au bout du coaxial, un VNA auto-alimenté avec liaison Blue-tooth au système d'exploitation (on peut aussi utiliser un VNA avec écran incorporé, mais penser à se munir de jumelles pour lire les résultats à plus de 4 m de l'antenne).

Auparavant, le VNA aura été calibré en mettant à son entrée les trois charges adéquates (ouvert, C/C et  $50\Omega$ ) **exactement** au niveau du branchement sur la prise coaxiale de l'antenne. Ceci veut dire qu'il faudra peut-être fabriquer des charges de calibration à la norme de cette prise. Se rappeler qu'à 144 MHz, un simple raccord coaxial supplémentaire peut significativement fausser la mesure.

Important : Les mesures ne pourront se faire qu'à l'intérieur de la plage de fréquence qui a servi à l'étalonnage (prendre 140 - 150 MHz au début). Par ailleurs, si l'on a bien respecté la longueur électrique de  $\lambda/2$  du câble coaxial, la mesure que l'on fera sera la copie de l'impédance de l'antenne pour la fréquence correspondant à  $\lambda/2$ .

Noter que si l'on utilisait un ROSmètre pour le réglage, cela serait beaucoup plus compliqué car les ROSmètres sont peu sensibles, donc peu linéaires aux faibles puissances. Par ailleurs il est difficile de savoir à quoi est dû le ROS : est-il dû à la partie réelle et/ou à la partie imaginaire, avec quel signe, et dans quelle proportion ? Pour la suite, on supposera l'utilisation d'un VNA avec toutes les précautions d'usage que nous avons vues. Voir le synoptique de l'installation sur la figure 11.

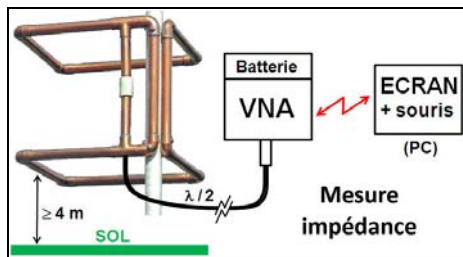


Figure 11 : Méthode pour la mesure de l'impédance

Analysons une première mesure de l'antenne fabriquée selon les dimensions de la figure 4. Supposons que l'on constate que la fréquence de résonance ( $j=0$ ) n'est pas correcte :

a) Elle est trop basse.

Alors, calculer ainsi les nouvelles dimensions des tubes dont les extrémités sont encore libres d'accès, c'est-à-dire deux tubes (a) et deux tubes (b) pour chaque carré horizontal (on ne peut pas accéder aux tubes verticaux) multiplier leurs dimensions par le facteur K suivant :

$$K = 1 - [1 - (F_0 / F_{\text{mesurée}}) \times (2199,2 / 1795,2)].$$

N-B : 2199,2 est la longueur totale de la boucle et 1795,2 est la longueur totale des tubes à modifier.

Par exemple pour une résonance à 143 MHz au lieu de 145 MHz, on obtient :

$$K = 1 - [(1 - 0,986) \times 1,225] = 0,983. \text{ soit une diminution de longueur de :}$$

4,1 mm pour les tubes (a) de 240,7 mm et 3,9 mm pour les tubes (b) de 228 mm.

On ne chipotera pas sur les longueurs au  $10^{\text{ème}}$  près ! D'autant qu'on a un autre moyen d'ajustement pour les faibles écarts :

Dans les deux angles opposés à l'alimentation, il suffit de souder sur les tubes haut et bas, parallèlement au coude, un fil de cuivre dia 2 mm en diagonale. On réduit ainsi la longueur de la boucle de 1,4 fois la somme des distances entre le fil et les deux extrémités des brins (comme si le coude était d'équerre).

b) Elle est trop haute.

Même façon de calculer le facteur K, mais c'est ici un facteur d'allongement. Ce n'est pas aussi facile de rallonger les tubes sans en recouper d'autres. On peut à la rigueur les enfoncer un peu moins dans les coudes (par exemple 5 mm au lieu de 10 mm). On a aussi un autre moyen qui consiste à souder dans les deux angles opposés à l'alimentation deux fils de cuivre

dia 2 ou 3 mm perpendiculairement aux tubes, en regard l'un l'autre. Au simulateur, les deux petits fils bleus verticaux que l'on voit sur la figure 5 ont fait baisser  $F_0$  de 300 kHz.

Pour la partie réelle de l'impédance, on a un moyen d'ajustement en réglant l'espace entre les deux tubes verticaux à l'angle d'alimentation. Pour cela, on change le rapport entre les tubes (a) et (b), tout en gardant la même somme (quelques calculs simples). Pour vous donner un ordre de grandeur, au simulateur avec la boucle de la fig.1, le fait de passer d'un écart de 17,96 mm à 31,6 mm fait passer  $R_{ant}$  de  $50 \Omega$  à  $67 \Omega$  (longueur de la boucle constante).

Quand on a réalisé un premier ajustement, on recommence les mesures. Si l'on est "presque bon", alors on soude les tubes en calant le cube de façon à lui donner une "belle allure". Ensuite on recommence les mesures et on corrige les petits écarts avec les bouts de fils.

## Finitions

Quand l'antenne donne satisfaction, la fixer sur un mât PVC dans l'angle d'alimentation à l'aide de vis traversant les tubes (cf. article de W6NBC). Ensuite la vernir avec un vernis HF ou la peindre avec une peinture genre "époxy" garantie sans particules métalliques. Une fois sèche, elle est prête à être installée.

## Installation

Jusqu'ici tout s'est passé en espace libre, ou tout comme, si l'on ne considère que le comportement "réactif" (impédance) de l'antenne. Mais le but recherché, c'est son rayonnement et là il faut tenir compte du sol. En présence de celui-ci, les diagrammes et les niveaux de réception vont dépendre de la qualité du sol, de la hauteur au dessus du sol et de la distance entre l'antenne et le récepteur (au moins au début). On oubliera la propagation par onde de surface qui ne concerne que les monopôles au sol <sup>(6)</sup>.

## Influence du sol sur le diagramme

Nous avons sur la figure 12 les diagrammes de rayonnement pour des hauteurs de 4 et 7 m au dessus d'un sol standard (prairie).

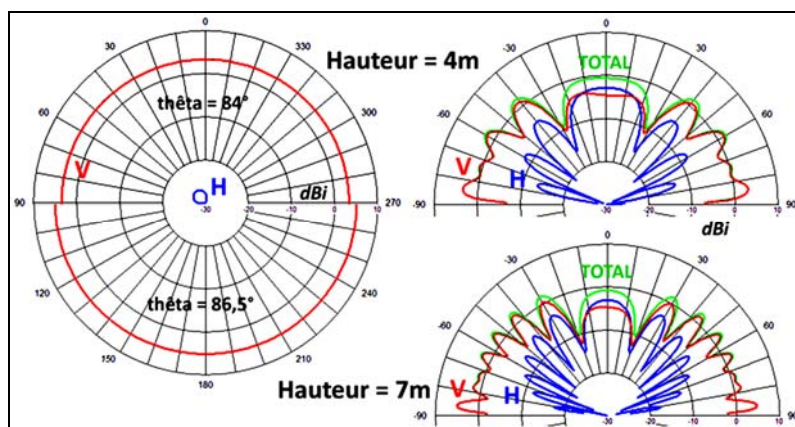


Figure 12 : Diagrammes de rayonnement pour deux hauteurs au dessus du sol

A 4 m de hauteur, le gain est de 3,3 dBi à  $6^\circ$  d'élévation. A 7 m de hauteur, le gain est de 5 dBi à  $3,5^\circ$  d'élévation. Mais le gain en dBd est toujours de -0,9 dBd <sup>(7)</sup>.

Noter que ces diagrammes sont réalistes en terrain complètement dégagé. En pratique, l'environnement proche de l'antenne au niveau du sol étant plus ou moins diffusant et accidenté, le gain pour  $\theta = 90^\circ$  (l'horizontale) est celui pour rayonnement en espace libre.

## Influence du sol sur la propagation

On considère que l'on rayonne vraiment en espace libre si le sol n'est pas dans le premier ellipsoïde de Fresnel <sup>(8)</sup>. Sinon nous avons un affaiblissement de propagation qui ressemble à celui de la figure 13.

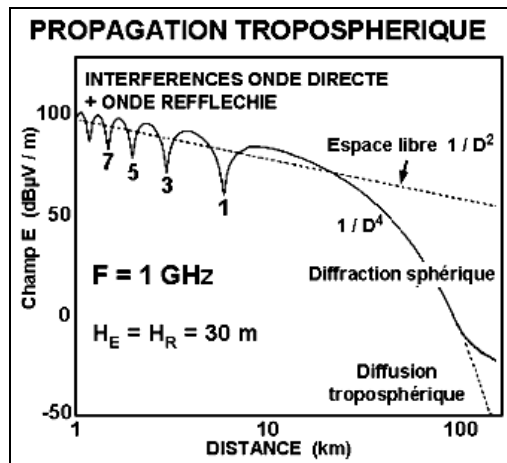


Figure 13 : Influence du sol sur la propagation en V-UHF

A 145 MHz, l'influence d'un sol réfléchissant n'a pas disparu. Pour cela, il faudrait monter l'antenne sur un pylône de 100 m de hauteur ! En pratique, les obstacles divers au niveau du sol absorbent le rayon réfléchi, ce qui fait que cela ne se passe pas trop mal. Mais cela montre que les mesures que l'on peut faire à l'aide des QSO, sont plus ou moins aléatoires.

## Conclusion

Cet article se voulait avant tout didactique. Au lecteur de juger si j'ai réussi mon pari. Quant à la réalisation de W6NBC, son principe général est connu et appliqué aux monopôles depuis la nuit des temps de la radio avec l'antenne "Marconi". Il s'agit de charger un monopôle très raccourci par un "chapeau capacitif" (long fil ou nappe horizontale). Le système peut être appliqué au dipôle avec un chapeau capacitif à chaque extrémité. Le problème de ces systèmes réside dans la faible résistance de rayonnement à la résonance qui nécessite une adaptation. L'ingéniosité mise dans cette antenne cube consiste à partir, non pas d'un doublet, mais d'un trombone, ce qui permet d'obtenir avec une dimension de l'élément rayonnant de  $\lambda/10$  une impédance de  $50 \Omega$  sans système d'adaptation, donc sans pertes. Mais nous avons toujours le rayonnement d'un doublet  $\lambda/10$ , c'est-à-dire avec un gain maximum de  $-0,4$  dBd si les chapeaux capacitifs sont parfaits (ne rayonnent pas) <sup>(9)</sup>. Donc ce n'est pas une antenne "miracle".

Concernant la réalisation de W6NBC, c'est celle d'un "plombier" et pas d'un "mécanicien". Ce dernier aurait utilisé des cornières dural de  $15 \times 15$  pour les parties horizontales et des carrés pleins dural  $10 \times 10$  pour les parties verticales. Certaines cornières auraient été allongées et munies à l'une de leurs extrémités d'une série de trous (par exemple des trous de 4 mm avec leurs centres espacés de 6 mm) ce qui aurait permis un réglage facile de la résonance. Pour l'alimentation, elle aurait été faite au bas du barreau directement sur une prise "N" fixée en diagonale sur la cornière du bas ("N", car étanche). Pour les arêtes verticales non conductrices les carrés en alu auraient été remplacés par du carré ou du rond isolant, ceci pour conserver une bonne rigidité au système. Mêmes performances qu'avec les tuyaux de cuivre (gain, impédance et largeur de bande), mais moins lourde et moins chère à approvisionner en

matière et matériel d'usinage. Et surtout, plus facile à fabriquer (expériences personnelles dans les deux domaines). Mais bien sûr, elle aurait été moins jolie...  
J'encourage les OM à se lancer dans l'aventure et à en faire bénéficier Radio-REF.

F5NB.

Notes

- (1) *Les autres simulateurs utilisés par les radioamateurs, comme EZNEC et MMANA, sont aussi basés sur NEC.*
- (2) *Contrairement à ce que W6NBC semble croire, on ne peut pas avoir le beurre (le gain) et l'argent du beurre (l'omnidirectionnalité), puisque c'est en diminuant l'omnidirectionnalité qu'on a du gain.*
- (3) *Il s'agit d'une composition vectorielle des courants car si les courants dans le tube alimenté et dans le tube de retour sont à peu près en phase, celui du tube en parallèle sur l'alimentation qui subit un fort couplage avec le tube de retour est déphasé de 45°. Sans ce couplage le système ne fonctionnerait pas et l'on comprend très bien que l'écartement entre les deux tubes modifie le couplage et par suite les courants et l'impédance.*
- (4) *En lisant attentivement W6NBC, il semblerait qu'il pense que les brins verticaux ne servent qu'à alimenter les deux boucles rayonnantes du haut et du bas. S'il avait pu examiner le diagramme des courants, et surtout leurs sens, il aurait tout de suite vu son erreur.*
- (5) *On remarquera quand-même que la hauteur de son antenne est plus faible que les dimensions horizontales, s'écartant ainsi du cube, sans doute pour cause d'ajustements de l'impédance (du ROS).*
- (6) *Et ici, nous avons affaire à un dipôle et pas à un monopôle. Le "carré" du bas doit être bien dégagé du sol pour ne pas subir son influence.*
- (7) *Car l'effet du sol est le même que pour un dipôle demi-onde de **polarisation identique** et à la **même distance** du sol (aux ventres de courant). D'où l'intérêt de donner le gain en dBd. C'est d'ailleurs celui qui est mesurable avec la meilleure précision. Mais les vendeurs d'antennes radioamateurs nous donnent généralement leurs gains en dBi, sol compris (pas fous les marchands de tapis !)*
- (8) *Relire le "Comment ça marche ?" de juillet 2013 sur les ellipsoïdes de Fresnel.*
- (9) *Ici nous avons un gain de -0,9 dBd et la diminution de 0,5 dB résulte d'un rayonnement dans le plan orthogonal de 10% avec les boucles carrées.*