

Du doublet à la Big-Wheel

R. BERRANGER, F5NB

Avec une liaison en polarisation verticale, un simple doublet V permet d'avoir un rayonnement omnidirectionnel dans le plan H. Pour l'obtenir avec une polarisation horizontale, les choses se compliquent. Cet article a pour but de montrer la démarche du concepteur d'antenne qui partant d'un doublet aboutit à la Big-Wheel.

Données du problème

Comme cahier des charges, nous nous forcerons d'obtenir un rayonnement omnidirectionnel dans le plan H et notablement plus faible dans le plan V pour améliorer le gain et être peu dépendant d'un plan de sol proche, tout en conservant un système simple mécaniquement. Nous allons voir ce que nous pouvons obtenir avec un seul doublet, puis deux doublets, et enfin avec trois doublets, principe fondamental de la Big-Wheel.

Un seul doublet circulaire

Si l'on courbe circulairement un doublet H, on peut espérer un rayonnement omni dans le plan du doublet. Nous avons sur la figure 1 les diagrammes de rayonnement obtenus.

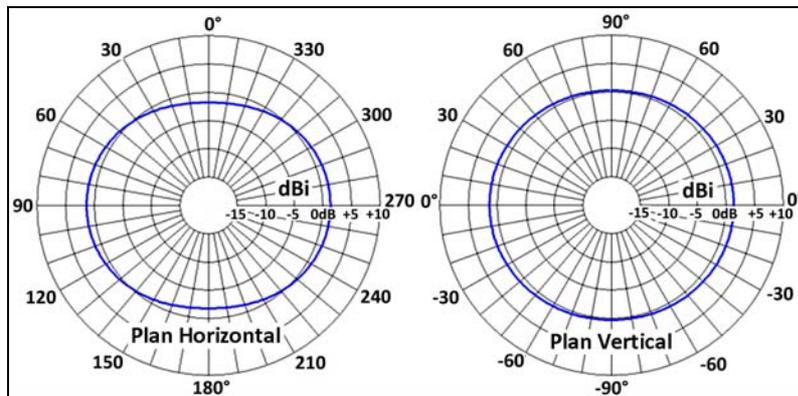


Figure 1 : Diagrammes de rayonnement de l'antenne "Halo"

Cette antenne est connue sous le nom de "antenne Halo". Avec un simple doublet, l'impédance est très faible (de l'ordre de la douzaine d'ohms). Aussi souvent on la réalise à l'aide d'un trombone, ce qui permet d'obtenir directement une impédance proche de 50 Ω . Elle n'est pas vraiment omni dans le plan H. Ici le gain maxi est de 1,3 dBi et le gain mini de -1,8 dBi, soit une excentricité de 3,1 dB. Elle est plus omni dans le plan V avec une excentricité de 1,1 dB seulement ⁽¹⁾. Mais cela ne nous arrange pas car elle est alors très sensible à un plan de sol, ce qui nous oblige à la monter en espace libre (plusieurs lambdas au dessus d'une surface réfléchissante).

Deux doublets croisés

Puisque le diagramme d'un doublet a des zéros dans les pointes, on peut imaginer en mettre deux disposés en croix, les "bosses" de l'un compensant les "creux" de l'autre. Voyons ce que

cela donne en alimentant les deux doublets en phase. Nous obtenons les diagrammes de la figure 2.

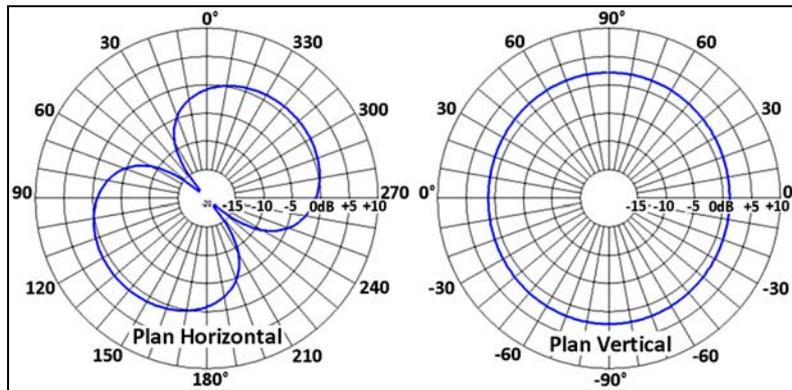


Figure 2 : Diagrammes de rayonnement de deux dipôles croisés

Le résultat n'est pas probant. Nous n'avons fait que tourner de 45° le diagramme H d'un seul doublet. Noter que si nous les avons alimenté en opposition de phase, le diagramme H aurait tourné de 45° dans l'autre sens. Dans le plan vertical, nous sommes restés quasiment omnidirectionnel.

Et si nous alimentions les doublets avec un déphasage de 90° ? Nous obtenons alors les diagrammes de la figure 3.

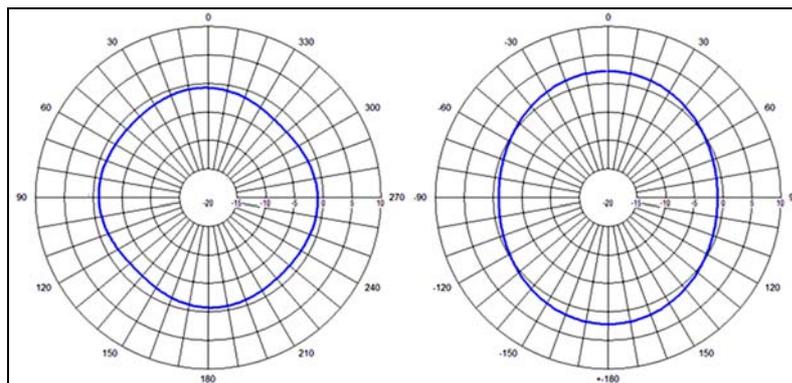


Figure 3 : Diagrammes de rayonnement de l'antenne Tourniquet (Turnstile)

Nous sommes devenus presque omnidirectionnel dans le plan horizontal. L'excentricité n'est plus que de 1,3 dB. Elle est ramenée à 0,3 dB pour 45° d'élévation. Le gain est maximum dans le plan vertical. C'est d'ailleurs la direction normale d'utilisation de cette antenne. Dans ce plan, la polarisation est circulaire, le sens dépendant du signe du déphasage de 90° dans l'alimentation des deux dipôles. C'est l'antenne fixe la plus simple pour la poursuite des satellites en orbite basse, comme l'ISS. Par rapport à une antenne très directive, la différence réside dans l'angle d'élévation minimum du satellite qu'il est possible de poursuivre ⁽²⁾. Cette antenne est appelée "Tourniquet" en France et "Turnstile" dans les pays anglo-saxons. Dans le cadre de notre problème, elle est inappropriée, avec une forte excentricité et un faible gain dans le plan H ainsi qu'un couplage important avec un plan de sol rapproché.

Trois doublets en triangle

Examinons le système antenne de la figure 4.

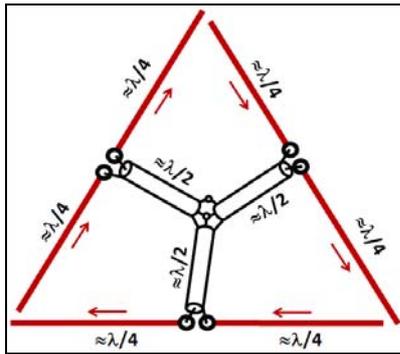


Figure 4 : Trois doublets en triangle (vue de dessus)

Nous avons trois doublets disposés en triangle équilatéral sur un même plan H et alimentés en phase. Ainsi les extrémités en regard sont en opposition de phase (les flèches rouges indiquent le sens du courant). Voyons les diagrammes obtenus sur la figure 5.

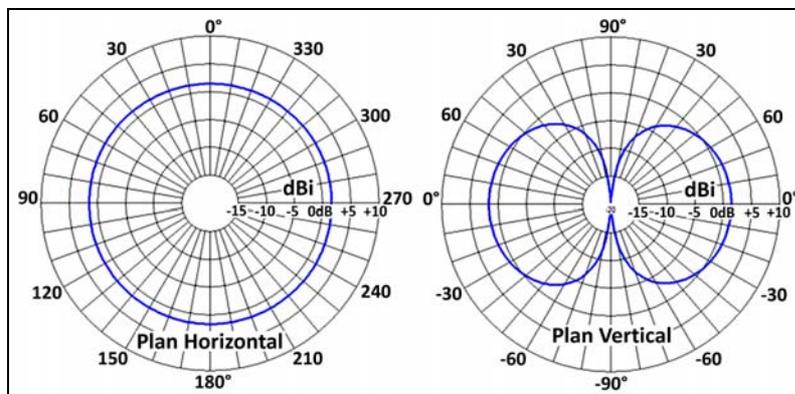


Figure 5 : Diagrammes de rayonnement de la Big-Wheel

On remarquera que la légende nomme notre système "Big-Wheel". En effet il constitue le principe de base du rayonnement de toutes les variantes des antennes Big-Wheel ⁽³⁾. On me dira "oui, mais la Big-Wheel est circulaire". Je répondrai que rien n'interdit de courber les dipôles pour qu'ils soient situés sur un cercle. C'est ce que j'ai fait, et les diagrammes n'ont pratiquement pas changé, avec le même gain.

Cette manière de construire une Big-Wheel a été expérimentée au moins par un OM.

Malheureusement je ne retrouve pas son site. Pour ma part, je préférerais trois dipôles en triangle, ce qui me semble plus facile à réaliser.

On notera que le gain maxi est de +1,7 dBi, soit -0,4 dBd, alors qu'il est annoncé couramment égal à +3 dBd. Je me demande où ces 3 dB pourraient être pris. En effet, les diagrammes de rayonnement sont très proches de ceux d'un simple doublet (en intervertissant les plans H et V), donc quasiment même directivité. Or le gain est égal à la directivité ($G_{dBi} = 10 \cdot \text{Log}[D]$) ⁽⁴⁾. Il est possible que certaines mesures soient faites en présence du sol qui peut amener un gain de réflexion. Faire très attention aux erreurs de mesures !

Adaptation (versions triangulaire et circulaire)

On notera que pour chaque dipôle, ses extrémités sont à proximité des extrémités des autres dipôles qui sont en opposition de phase. La capacité de couplage entre les dipôles s'ajoute alors à la capacité propre du dipôle et pour obtenir la résonance, il faut le raccourcir. Pour la version circulaire, avec du tube de 1 cm de diamètre et un espacement de 3,8 cm entre les dipôles, le coefficient de raccourcissement est de 0,81. Par ailleurs, la mise en parallèle des

trois dipôles entraîne une impédance de 17Ω . Pour l'adaptation, une solution consisterait à raccourcir encore les dipôles pour les rendre capacitifs (leurs réactances sont ramenées aux extrémités des lignes coaxiales $\lambda/2$) et alors on pourrait remonter l'impédance à 50Ω à l'aide d'un stub fermé en parallèle sur l'alimentation ⁽⁵⁾. On peut aussi ne pas toucher aux dipôles et diminuer la longueur des coaxiaux pour obtenir l'accord avec un stub ouvert ⁽⁶⁾.

Autres versions de la Big-Wheel

Au lieu d'alimenter les doublets en leurs centres, on peut le faire par leurs extrémités en utilisant des lignes quart d'onde pour conserver une faible impédance d'alimentation, comme montré sur la figure 6.

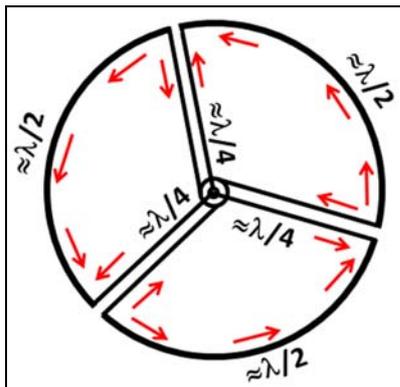


Figure 6 : Big-Wheel conventionnelle

Les flèches rouges montrent le sens du courant (à comparer avec la figure 4) ⁽⁷⁾. Dans la "grande roue", seule la "jante" rayonne. En effet, les "rayons" forment des lignes à fils parallèles parfaitement équilibrées avec des courants inverses dans les fils. Donc leur rayonnement s'annule tant que leur espacement reste faible par rapport à la longueur d'onde.

L'antenne "trèfle"

Pour les puristes, avec la Big-Wheel de la figure 6, il y a un problème d'adaptation entre les lignes (les rayons) et les doublets (la jante). En effet, les lignes ont une impédance de l'ordre de 300 à 600Ω , alors que l'impédance à l'extrémité des dipôles peut être largement supérieure au millier d'ohms. La solution consiste à utiliser des lignes exponentielles entre l'alimentation et les doublets (leur impédance croît avec la longueur). En "arrondissant" les angles, nous obtenons l'antenne "Trèfle" de la figure 7.

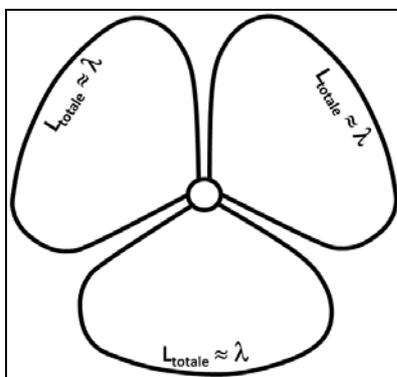


Figure 7 : L'antenne Trèfle

A cause de ses arrondis, je ne l'ai pas simulée avec NEC2. Mais je ne vois pas pourquoi le gain aurait changé, les parties arrondies concernant des courants faibles.

Adaptation (Big-Wheel's)

Dans ces antennes, il y a énormément de paramètres qui entrent en jeu pour l'obtention d'une certaine impédance d'alimentation. Nous citerons :

- diamètre de la roue (longueur des parties rayonnantes)
- diamètre du tube des parties rayonnantes
- espacement entre les parties rayonnantes (valeur des capacités de couplage)
- impédance des lignes (constante ou progressive)
- longueur des lignes

Donc ce sont des antennes très longues à mettre au point si l'on veut obtenir un ROS proche de 1. Aussi, quand on reproduit un modèle (bien) étudié et (bien) réalisé par un autre OM, il ne faut rien modifier pour ne pas finir par s'arracher les cheveux (Hi). C'est pourquoi, pour ma part, je me contenterais de la version triangulaire ⁽⁸⁾.

Notes

- 1) Valeurs pouvant varier de quelques fractions de dB selon la fabrication.
- 2) Dans le cadre d'une liaison ISS, elle nous a servi d'antenne de secours. Dans ce cas précis de liaison (l'AMSAT choisit un passage avec une élévation maxi) l'utilisation de la Turnstile à la place de la Yagi [2x9él] ne nous aurait raccourci le temps de liaison que de 3 mn sur une douzaine de minutes.
- 3) On lit souvent que l'antenne Big-Wheel est constituée de trois boucles de périmètre lambda. Mécaniquement ce n'est pas faux pour certaines d'entre elles. mais cette façon de la décrire ferait penser que les trois boucles rayonnent. Or ce n'est pas le cas. Les parties rayonnantes sont constituées de trois dipôles demi-onde. Les autres parties de l'antenne constituent des lignes qui ne rayonnent pas.
- 4) Plus exactement le gain est égal à la directivité multipliée par le rendement. Ici les deux diagrammes sont des tores. Ils ont un diagramme circulaire dans un plan et en "huit" dans l'autre plan. L'ouverture à -3 dB dans ce dernier plan est de 78° pour le doublet et de 106° pour la Big-Wheel. Cette plus grande ouverture justifie le gain plus faible (moins de directivité).
- 5) Lire à ce sujet l'article "Le CapaMatch" publié dans Radio-REF de ... (à paraître)
- 6) Un stub fermé est un tronçon de ligne fermée qui synthétise une inductance et le stub ouvert est un tronçon de ligne ouverte qui synthétise une capacitance (longueur électrique de la ligne inférieure à $\lambda/4$).
- 7) Le sens du courant s'inverse au passage par un nœud (passage par zéro).
- 8) Je rappelle que toutes ces antennes ont le même diagramme de rayonnement (donc le même gain). C'est en fait le diagramme de rayonnement de la boucle élémentaire. Il faut bien comprendre que si le gain dans le plan de la Big-Wheel était plus élevé, cela voudrait dire qu'elle ne serait plus omni dans ce plan, mais présenterait trois lobes d'autant plus marqués que le gain serait important. Ceci est indiscutable, on ne peut pas avoir le beurre et l'argent du beurre. Pour augmenter le gain, la seule solution consisterait à superposer plusieurs Big-Wheel l'une au dessus de l'autre aux distances qui vont bien. Alors on conserverait un diagramme H omni et le gain serait amené par le "pincement" des lobes dans le plan V (méthode universellement employée par la radiodiffusion).