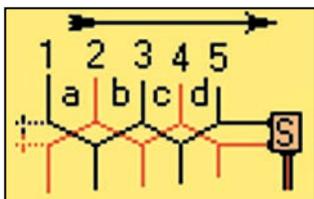


L'antenne LOG-périodique, en anglais LOG-periodic ou LPDA (Log Periodic Dipol Array)

Savoir en calculer les dimensions

LE PRINCIPE GÉNÉRAL DU CALCUL

Cette antenne est constituée par d'une succession de dipôles (Dipol Array) dont la taille et l'espacement varient selon une progression géométrique (Log Periodic) dont chacune des « branches » est alimentée en opposition de phase. Le propos est aride mais le schéma ci-contre l'explique aisément.



Le dipôle le plus long correspond à une fréquence inférieure ou égale à la fréquence la plus basse désirée et le dipôle le plus court à une fréquence supérieure ou égale à la fréquence la plus haute souhaitée.

PROGRESSION ARITHMÉTIQUE ET PROGRESSION GÉOMÉTRIQUE

Des nombres sont en progression arithmétique lorsqu'on obtient le nombre suivant en ajoutant toujours le même nombre au nombre précédent.

Exemple en ajoutant +2 : 5 - 7 - 9 - 11 - 13 - 15 - 17 etc.

Bien entendu on peut ajouter des nombres négatifs, ce qui revient à soustraire.

Des nombres sont en progression géométrique lorsqu'on obtient le nombre suivant en multipliant le précédent toujours par le même nombre.

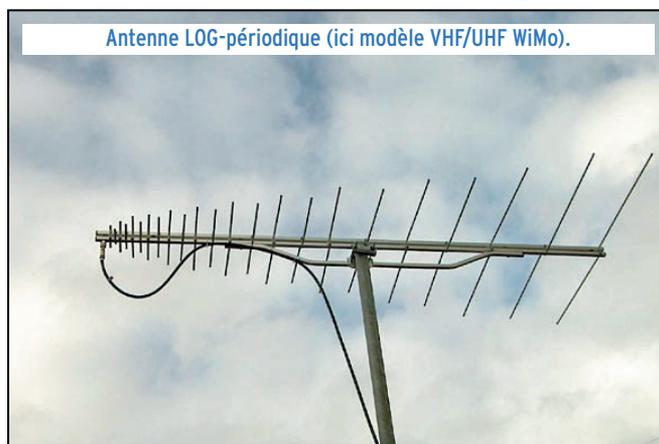
Exemple en multipliant par 2 : 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 160 etc.

On peut multiplier par un nombre fractionnaire, ce qui revient à diviser.

La longueur des dipôles de la LOG-Périodique ainsi que leurs espacements sont en progression géométrique.

Il semble alors aisé de calculer la longueur et l'espacement

Cette antenne directive multi-bandes est décrite en détail dans l'ARRL Antenna Book auquel se réfèrent nos excellents auteurs français (Brault et Piat ainsi qu'André Ducros). Il est intéressant de lire l'interprétation qu'en ont fait ces radioamateurs, car cette antenne mythique (Le logarithme en mathématiques, les aimants en physique et les acides en chimie - la pensée, l'amour, la mort - constituent la Mystérieuse Trinité des fantasmes scientifiques!) est une antenne de parti pris. Je veux dire que sa conception est soumise à tellement de paramètres interdépendants qu'il faudra bien décider lequel on privilégie : rapport des fréquences extrêmes, gain, taille etc.



Antenne LOG-périodique (ici modèle VHF/UHF WiMo).

des dipôles en partant de la longueur du plus court et en multipliant toujours par le même nombre. La longueur du premier dipôle est déterminée par la fréquence la plus haute, mais comment déterminer le multiplicateur ? Tout le problème du calcul des éléments de cette antenne est résumé par cette question fondamentale.

1. Connaissant la longueur du plus court dipôle et celle du plus long, combien d'éléments intermédiaires doit-on placer ?

2. Lorsqu'on a décidé du nombre d'éléments à placer comment déterminer le multiplicateur appelé « raison » de la progression ?

De la première réponse dépendent le gain de l'antenne mais aussi sa longueur totale. En fait on a le choix en restant dans des proportions raisonnables.

Il est bien plus difficile de

répondre à la seconde. Par exemple nous avons décidé qu'il y aurait 4 éléments intermédiaires, ce qui donne 6 éléments en tout. Décidons également que nous voulons couvrir la gamme de fréquences de 14 à 29,7 MHz, soit un rapport F_{\max}/F_{\min} égal à 2,12 fois. Quel est le multiplicateur qui partant de 5,05 m nous conduira à 10,71 m ?

S'il s'agissait d'une progression arithmétique ce serait très facile : pour passer de 5,05 à 10,71 il faut ajouter 5,66. Sachant qu'il y a 6 éléments et donc qu'on a ajouté 5 fois le nombre, cela veut dire qu'à chaque fois nous avons ajouté $5,66/5 = 1,132$. La « raison » de notre progression arithmétique serait 1,132. Oui, mais hélas il s'agit d'une progression GEOMETRIQUE ! C'est là qu'intervient le logarithme. Il permet d'effectuer des calculs en remplaçant les multiplications par des additions ! Reprenons notre raisonnement :

- Le rapport entre les fréquences est toujours 2,12. Le logarithme de 2,12 est : 0,326

- Divisons-le par 5, comme dans le cas précédent. Cela donne : 0,065
- Ce nombre n'est pas le multiplicateur attendu, mais le LOGARITHME de ce nombre.
- Comme nous avons utilisé les LOG à base 10 le multiplicateur sera égal à $10^{0,065}$. Sur la plupart des calculettes il suffira de taper [Shift] [log]. Si on avait utilisé les logarithmes Népériens notés [ln], on utiliserait [exp] l'exponentielle, qui s'obtient généralement en tapant sur les touches [Shift][ln], cette fois. Cela nous donne dans les 2 cas : **1,162**.
- C'est le nombre que nous cherchons, mais... comme la plupart des auteurs préfèrent partir du plus grand élément et en divisant, il faudra prendre 1/1,162 soit **0,86**.

Vérifions notre résultat :

1. $10,71 \times 0,86 = 9,21$
2. $9,21 \times 0,86 = 7,92$
3. $7,92 \times 0,86 = 6,81$
4. $6,81 \times 0,86 = 5,85$
5. $5,85 \times 0,86 = 5,03$

Nous cherchions 5,05 : la précision est bonne !

Voici donc la démarche générale à suivre :

1. Calculer le rapport entre l'élément le plus court et l'élément le plus long : Court / Long = R
2. Chercher le log de ce nombre : logR
3. Diviser par le nombre d'éléments moins 1 (Le nombre d'intervalles) : $\log R / N_{el} - 1 = \exp$
4. Chercher 10^{\exp} (Shift log) = C'est le nombre recherché appelé généralement τ , la lettre grecque « tau ».

Pour vérifier, tapez sur la calculette :

[5][.][0][5] [÷] [1][0][.][7][1] [=][log] [÷] [5] [=][shift] [log]
Si vous ne trouvez pas 0,86, c'est que vous vous êtes trompés !

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Et les intervalles entre les dipôles ? Ils sont eux aussi en progression géométrique, avec la même raison τ , mais il est commode de les calculer en fonction de l'élément qui les précède, en utilisant la formule :

$$D_n = E_n * 2\sigma$$

Dans cette formule :

D_n = longueur de l'intervalle de rang n

E_n = longueur de l'élément de rang n

σ = « sigma » est un coefficient calculé avec la formule suivante (ARRL Antenna Book) :

$$\sigma = 0,243 \tau - 0,051$$

Dans notre exemple, σ est égal = **0,157** et $2 \times \sigma = 0,315$

Cette façon de calculer σ permet de trouver sa valeur optimum. Si l'on trouve que l'antenne est trop longue, il est possible de changer sa valeur. Cela aura pour conséquence de diminuer le gain.

Voici ce que pourraient être les dimensions de notre antenne 14 à 29,7 MHz :

N°	Longueur des éléments	Taille des intervalles
1	10,71	3,37
2	9,21	2,90
3	7,92	2,49
4	6,81	2,14
5	5,85	1,84
6	5,03	Total : 12,74 m + extrémités

On utilisera ce calcul chaque fois que l'on cherchera à obtenir une antenne courte avec un gain modeste.

LA NOTION DE CELLULE ACTIVE

La LOG-périodique fonctionne comme la YAGI en utilisant les propriétés des éléments parasites, réflecteur et directeur. Or, si l'on calcule les éléments de l'antenne en prenant comme fréquences extrêmes les valeurs exactes recherchées, le dipôle fonctionnant sur la fréquence la plus basse n'aura pas de réflecteur et celui qui fonctionne sur la fréquence la plus élevée n'aura pas de directeur. Les éléments qui résonnent sur une longueur d'onde trop grande ou trop petite n'ont aucune influence sur le gain de l'antenne. La **cellule active** ou **région active** de l'antenne LOG-périodique est donc composée par les seuls éléments qui rayonnent de façon utile à la fréquence donnée.

En ce qui concerne la fréquence la plus basse, tous les auteurs préconisent de faire le calcul en partant d'une fréquence plus basse pour avoir un réflecteur.

En ce qui concerne la fréquence la plus haute il y a une apparente divergence de vues entre l'ARRL qui déclare qu'il est inutile de donner pour fréquence la plus haute une fréquence supérieure et les auteurs français qui préconisent d'en donner une qui aboutirait à un raccourcissement de 38 % (par rapport à la longueur du dipôle rayonnant sur la fréquence haute) pour l'élément le plus court, ce qui n'est pas rien ! Or, lorsqu'on effectue le calcul préconisé par l'ARRL on obtient un résultat tel que la fréquence la plus haute envisagée aura le même gain que les autres, ce qui implique la présence de directeurs en surnombre : **le résultat est le même seule la méthode de calcul est différente.**

EN CONCLUSION

Si l'on veut que le gain de l'antenne soit identique pour toute la bande de fréquences utiles, il faudra donner une fréquence de départ plus basse et une fréquence terminale plus haute.

MÉTHODE DE CALCUL DE L'ARRL

CHOIX DU GAIN DE σ ET DE τ

Dans le calcul précédent nous avons choisi le nombre d'éléments de façon arbitraire. On peut également choisir le coefficient τ directement lié au gain de l'antenne.

Voici quelques valeurs caractéristiques :

Valeur de τ	Gain obtenu	Valeur de σ
0,75	5,25	0,131
0,79	6	0,140
0,85	7	0,155
0,90	8	0,168
0,95	9	0,180
0,98	10	0,187

Il est bien entendu possible de prendre les valeurs intermédiaires. Prenons un τ de **0,85** pour un gain de 7 environ. Le coefficient σ aura donc comme valeur :

$$(0,243 \times 0,85) - 0,051 \text{ soit } 0,155 \quad (2 \times \sigma = 0,31)$$

CHOIX DES FRÉQUENCES EXTRÊMES

Prenons arbitrairement de 18,060 MHz à 29,7 MHz soit 4 bandes HF.

• La plus longue longueur d'onde L_{max} sera : $300 / 18,060 = 16,61$ m et donc le plus grand dipôle $D_{max} = 8,30$ m.

• Le rapport des fréquences R sera : $29,7 / 18,06 = 1,6445$

1° Calcul de cotangente α (angle formé par l'extrémité des dipôles) :

$$\text{Cot } \alpha = 4 \times \sigma / 1 - \tau$$

$$\text{Cot } \alpha = 4 \times 0,155 / 1 - 0,85 = 4,133$$

2° Calcul de la bande passante de la région active B_{ar}

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7 \times (1 - \tau)^2 \times \text{cot } \alpha$$

$$B_{ar} = 1,1 + (7,7 \times 0,0225 \times 4,133) = 1,816$$

3° Calcul de la bande passante de la structure B_s

$$B_s = R \times B_{ar}$$

$$B_s = 1,6445 \times 1,816 = 2,986$$

4° Calcul de la longueur du boom L

$$L = [1 / 4 \times (1 - 1 / B_s) \times \cot(\alpha)] \times L_{max}$$

$$L = (0,25 \times 0,665 \times 4,133) \times 16,61 = 0,687 \times 16,61 = 11,41 \text{ m}$$

5° Calcul du nombre d'éléments N

$$N = 1 + \log B_s / \log(1 / \tau)$$

$$N = 1 + 0,475 / 0,070 = 7,78 \text{ soit } 7 \text{ ou } 8 \text{ éléments}$$

6° Calcul des longueurs des dipôles

$$E_n = E_{n-1} \times \tau$$

$$E_1 = 8,305 \text{ m } E_2 = 7,059 \text{ m } E_3 = 6 \text{ m } E_4 = 5,10 \text{ m } E_5 = 4,335 \text{ m}$$

$$E_6 = 3,685 \text{ m } E_7 = 3,132 \text{ m } E_8 = 2,662 \text{ m}$$

7° Calcul des intervalles

$$D_n = E_n \times 2\sigma$$

$$D_1 = 2,575 \text{ m } D_2 = 2,188 \text{ m } D_3 = 1,86 \text{ m } D_4 = 1,581 \text{ m } D_5 = 1,344 \text{ m}$$

$$D_6 = 1,142 \text{ m } D_7 = 0,97 \text{ m}$$

Le calcul des éléments de l'antenne 18,060 à 29,7 MHz est terminé. Le voici résumé dans un tableau :

N°	Dipôle	Intervalle avec le suivant
1	8,305 m	2,575 m
2	7,059 m	2,188 m
3	6 m	1,86 m
4	5,10 m	1,581 m
5	4,335 m	1,344 m
6	3,685 m	1,142 m
7	3,132 m	0,97 m
8	2,662 m	Total = 11,66 m + extrémités

Vérification :

André DUCROS (F5AD) propose dans son ouvrage un abaque de raccourcissement qui indique 0,54 comme coefficient en fonction de $t = 085$.

Longueur du dipôle à 27,9 MHz : $150 / 29,7 = 5,050 \text{ m}$. Multiplié par 0,54 cela donne 2,72 m, ce qui est conforme au calcul ARRL aux erreurs de calcul et de lecture sur les abaques près.

Braut et Piat proposent un raccourcissement de 38 %. Cela conduit à un dernier dipôle de 3,13 m, exactement la longueur de l'avant-dernier dipôle « ARRL ».

Nous pouvons en conclure que, quelle que soit la méthode de calcul, les résultats sont très sensiblement les mêmes. NOTA : 2,622 m de demi-onde correspond à 53 MHz environ. Autrement dit, cette antenne pourrait fonctionner sur la bande 50 MHz...

L'ALIMENTATION DE LA LOG-PÉRIODIQUE

SYMÉTRISATION

Cette antenne doit être alimentée par une ligne symétrique. La présence d'un symétriseur sera indispensable, quel qu'en soit son type.

IMPÉDANCE ET DISPOSITION PRATIQUE

Il nous faudra distinguer deux cas : les antennes destinées aux bandes HF et les antennes THF, mais dans tous les cas c'est le plus petit dipôle qui sera alimenté le premier.

Dans le premier cas (HF) les dipôles seront réalisés soit en fils soit en tubes d'aluminium, isolés entre eux et isolés du boom qui les supporte. La ligne d'alimentation sera une ligne bifilaire. Il est possible d'utiliser deux fils parallèles et d'alimenter les dipôles avec des fils se connectant tantôt sur un fil tantôt sur l'autre. Il est également envisageable que la ligne

d'alimentation aille d'un dipôle à l'autre, prenant la forme d'une succession de losanges. (Attention aux croisements...). L'impédance de cette ligne aura de 200 à 300 ohms, ce qui implique un « BALUN » de 1:4 ou 1:6. Comme l'impédance de l'antenne varie en fonction de la fréquence, il sera dans tous les cas nécessaire d'utiliser une boîte d'accord.

En ce qui concerne les THF, il est conseillé d'utiliser le système des 2 booms superposés, qui servent de lignes d'alimentation. Chacun des booms est donc directement relié à une série de dipôles et c'est l'écartement des booms qui détermine l'impédance de l'antenne. Pour obtenir une impédance égale à 50 ohms environ il est recommandé d'écarter les booms d'une valeur égale à 20 % du côté de leur section. Par exemple si l'on utilise du carré de 20 x 20 mm, il faudra les écarter de 4 mm.

La symétrisation s'effectue en glissant le coaxial à l'intérieur du boom inférieur par l'arrière, puis en connectant la tresse à l'autre extrémité de cet élément puis l'âme du coaxial au boom supérieur, bien entendu.

QUELLE ANTENNE CONSTRUIRE

Tout dépend de ce que l'on veut !

- Si l'on veut une antenne pas trop grande quitte à perdre du gain aux fréquences extrêmes, il faut utiliser le calcul simplifié du début en donnant le nombre d'éléments que l'on compte avoir.

- Si l'on veut une antenne performante et si l'on a de la place, il faut sans hésiter utiliser le calcul de l'ARRL, même s'il est compliqué. Si l'antenne est vraiment trop grande, on peut reprendre le calcul en diminuant le gain (τ plus modeste) ou en réduisant le facteur σ .

CONCLUSION

De nombreux ouvrages ou articles décrivent la réalisation mécanique de ce type d'antennes. Nous n'y reviendrons pas, notre propos se limitant au calcul des dimensions d'une antenne personnalisée. J'ai pu constater que certaines descriptions proposent des LOG-périodiques vraiment bizarres, avec des éléments ayant tous le même écartement, résonnant sur des fréquences plus basses que laisserait supposer la longueur de l'élément le plus long etc. Comme je n'ai aucune raison de mettre en doute la parole des auteurs, cela laisse à penser que cette antenne est vraiment « bonne fille » ! Les renseignements contenus dans cet article sont tous issus pour l'essentiel de l'ARRL Antenna Book. Cet ouvrage est généralement considéré comme une référence...

Alain CAUPENE, F5RUJ

Pour des calculs sur cette antenne, n'hésitez pas à visiter le site internet : www.ref-union.org/ed87/log_per.htm

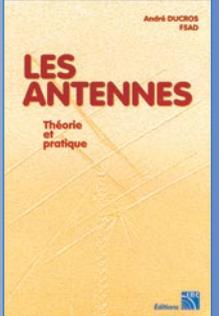
LA LIBRAIRIE MEGAHERTZ

LES ANTENNES

Passionné par les antennes, l'auteur a écrit de nombreux articles sur ce sujet. Il signe là une nouvelle édition, revue et complétée, d'un ouvrage de référence alliant la théorie à la pratique. Éléments essentiels d'une station radio, les antennes offrent un champ d'expérimentation illimité, accessible à tous. De l'antenne filaire simple aux aériens à grand gain, du dipôle à la parabole, de la HF aux SHF, l'auteur propose de multiples solutions. L'étude théorique est suivie d'une description détaillée, accompagnée de nombreux trucs et astuces. Véritable bible sur les antennes d'émission-réception, cet ouvrage, illustré de nombreux schémas et photos, est tout autant destiné aux techniciens qu'aux amateurs.

250 F
+ port 35 F

EA21



André DUCROS F5AD

LES ANTENNES

Théorie et pratique

Éditions MEGAHERTZ

Utilisez le bon de commande MEGAHERTZ

SRC pub 02 99 42 52 73 03/2001