

Antennes, Diagramme de Rayonnement

(F6BKD)

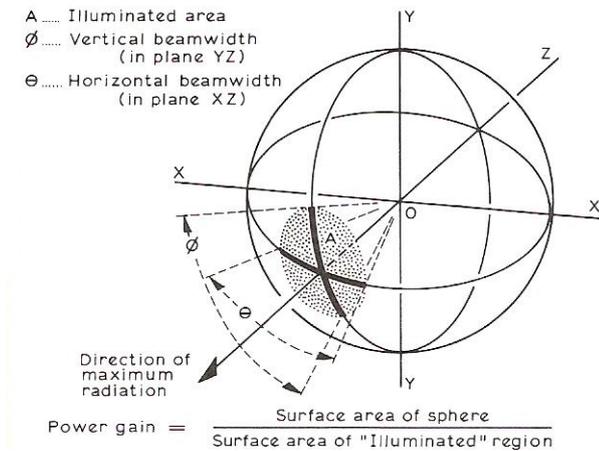
Préambule : « Mon antenne, elle rayonne super bien, je contacte même l'Australie. »
 Bien évidemment, quand on en a qu'une seule, on peut en être déjà content, mais de là à en faire du prosélytisme pour cacapower et autre gap...faudrait pas nous prendre pour des perdreaux de l'année !

Avant-propos : La plupart des résultats sont le fruit de la modélisation et d'expérimentation –le propre même du radioamateur- Peu importe le programme, ils font tous appel au même noyau de calcul. Dès lors les résultats chiffrés seront similaires mais la présentation sera plus ou moins imagée. ...et en couleur, c'est toujours mieux, d'autant plus si le programme est gratuit. Autre précision, il s'agit du diagramme de rayonnement à proximité immédiate et selon une clause toute théorique d'un terrain plat.

Le rappel

Ce sera pour se remettre en tête le dipôle demi-onde. Ce fabuleux dipôle.

Diagram : G6XN



Dans la plupart de la littérature, il est dit qu'il a un gain (**G**) de 2.14dB par rapport au dipôle iso tropique qui est lui **tout** théorique, puisque situé au centre d'une sphère, il en illumine également toute la surface.

Le dipôle demi onde, de même que l'antenne quart d'onde verticale, et a fortiori l'antenne directive ne va en illuminer qu'une portion

selon un angle d'ouverture vertical (ϕ) et horizontal (θ).

Parfois aussi α_1 et α_2 dans certaines publications.

On lit parfois aussi, un **G** de 2.14dBi en espace libre.

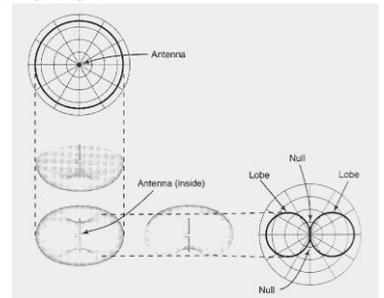
Certes ce dernier est la référence pour faire des comparaisons de **G** d'antenne et c'est lui (le **dBi**) qui est accepté dans la publicité du **QST**.

La raison, la **modélisation** qui est devenue largement fiable pour être accrédité comme standard de comparaison de performance intrinsèque d'une antenne... autrement dit en faisant abstraction de son environnement quel qu'il soit.

Bien évidemment, dans la réalité, ce n'est jamais le cas car il y a toujours des éléments perturbateurs (lignes électriques, gouttières, support métalliques, arbres etc...) sans parler de l'alimentation de l'aérien !

-Les irréductibles qui pensent encore qu'un balun ne sert à rien...-

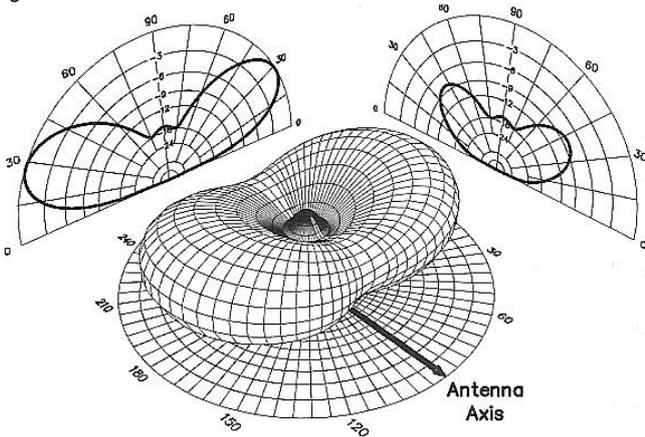
Diagram : ON4UN



Peu importe comme on l'alimente, -au centre, à l'extrémité- dans la pratique, installé au-dessus du sol (certes plus ou moins bon) et plus ou moins haut, il bénéficie d'un **G** additionnel grâce aux réflexions constructives ou destructrices du plan de sol, ou du sol tout court, qu'il soit immédiat ou éloigné.

Notes : _____

Diagram : ON4UN



La qualité de ce dernier va modifier son impédance (**Z**) ainsi que le diagramme de rayonnement qui sera selon un angle plus ou moins élevé, plus ou moins altéré par l'environnement (*câble d'alimentation, chenaux*) fatalement le **G** s'en ressentira...

Au sujet du **Z**, comme l'efficacité est **R/ R+R_p** on aura même tendance à y gagner De même que la **B_p** qui deviendra plus étroite au fur et à mesure d'un raccourcissement éventuel mais en contrepartie on y gagnera avec l'affaiblissement latéral plus important.

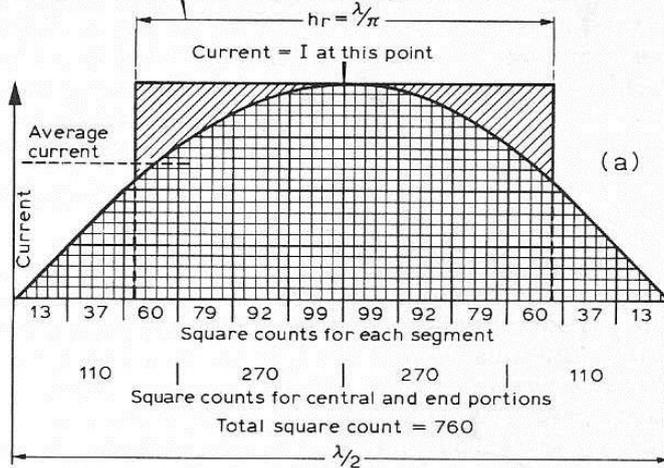
De fait, ce dernier Pour rester encore traditionnel, avant l'évènement du PC, on savait déjà analyser par intégration la distribution du courant dans le dipôle, partant de son point d'alimentation au centre (courant max.) vers les extrémités (courant nul), argument peut –être sujet à caution selon l'utilisation envisagée.

La modélisation

Le mot est déjà lâché un peu plus haut

Diagram : G6XN

Length of an equivalent dipole carrying a uniform current

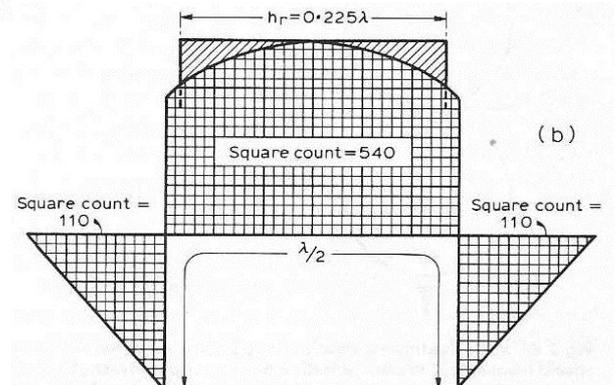


. Pour rester encore traditionnel, avant l'évènement du **PC**, on savait déjà analyser par intégration la distribution du courant dans le dipôle, partant de son point d'alimentation au centre (courant max.) vers les extrémités (courant nul).

Il fut ainsi démontré que le maximum de courant se situait dans les 64% de la longueur totale et dès lors, s'il fallait sacrifier de la longueur pour diminuer l'encombrement, valait mieux que cela soit aux extrémités.

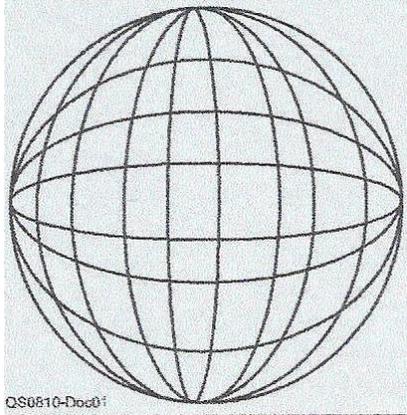
Toutefois cette méthode doit être complétée par des mesures de champs et l'on s'est aperçu que le 71% du champ était produit par la moitié du dipôle, soit $0,225 \lambda$. Ce faisant, le fonctionnement du dipôle était modifié. Il ne s'agissait plus d'un simple repli mais d'une charge capacitive qui « tirait » d'avantage de courant dans la partie rectiligne.

La méthode des moments (pulse & segmentation, *minimum 11*), publiée en 1968 par Roger Harrington permis l'unification des procédures de mesures de champs ainsi que les calculs informatique de diagramme de rayonnement et aussi, de l'autre paramètre de taille, l'impédance (**Z**)

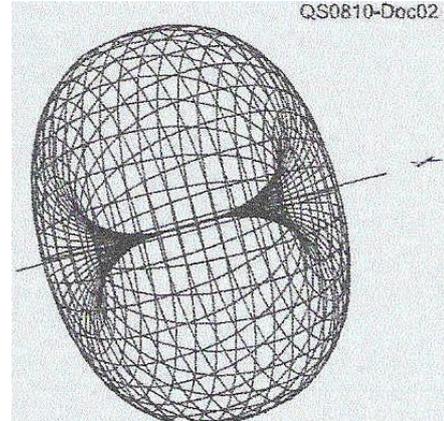


Notes :

Donc, la référence en partant de la théorie est l'antenne iso tropique (i) en espace libre qui rayonne uniformément dans toutes les directions, chose impossible à réaliser dans la pratique.



Visualisation dans l'espace libre du dipôle (légère faute de dessin...)



Alors l'avènement du **PC** à popularisé les programmes de modélisation qui, gratuits ou payants font tous appel au même noyau sur la base du calcul en fortran des années 1965. Pour pouvoir faire des comparaisons de diagramme de rayonnement d'antennes, si vous avez bien suivi, il faudra soit faire abstraction du sol (ce qui est recommandé par l'ARRL) et dans ce cas le **Gain** sera exprimé en **dBi**, ou bien connaître la nature du sol qui est caractérisé enet e. En dehors de certains qui se complaisent dans une inflation de **dB** –soit **i** (iso tropique) ou **d** (dipôle)-

Pour l'anecdote, au fil des ans, par exemple, la **KT34** –toujours fabriquée- a « perdue » plus de **3dB** se rapprochant ainsi de la performance réelle, exprimée en **dBi**.

Le sol

C'est le dénominateur commun et il joue un rôle prépondérant dans l'établissement du diagramme de rayonnement d'un système antennaire. Selon que vous soyez au fond d'une vallée, sur une colline dégagé, en bord de plage de l'étang de ou en bord de mer, ou bien encore carrément en mer.

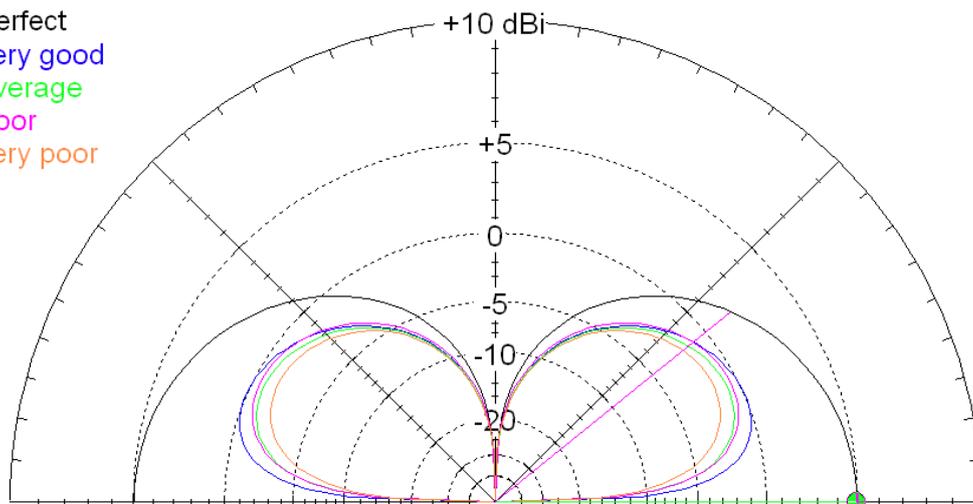
Il est caractérisé par deux variables, la conductivité (**σ -sigma**) exprimée **Siemens/mètre** (ou **milli Siémens**) et la constante diélectrique –perméabilité- (**ϵ -epsilon**) exprimée en relatif, soit pour un sol moyen **0,005mS/m** (ou **0,5S/m**) & **13**, alors que pour l'eau salée c'est **5S/m** & **81**

Diagram : ON5AU

Total Field

EZNEC+

perfect
very good
average
poor
very poor

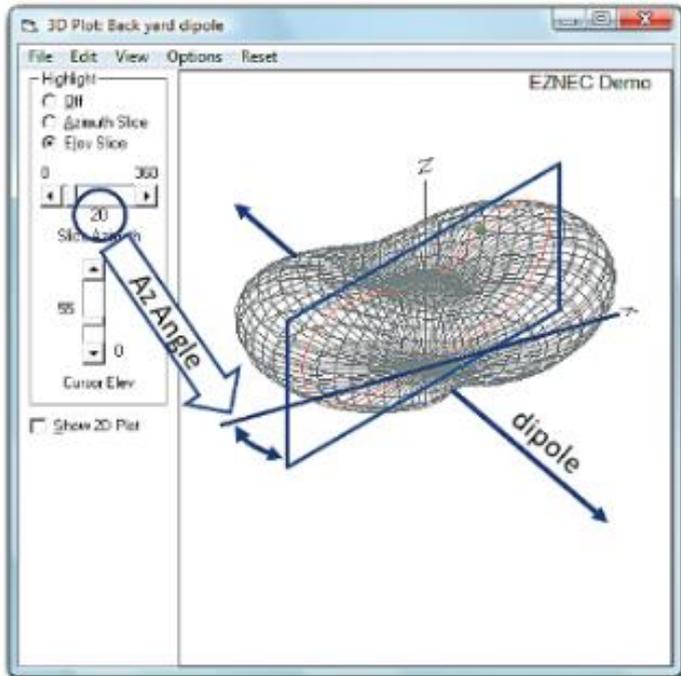


On observe que pour une majorité d'entre nous qui sommes dans les terres, la différence n'est que de **3dB**. Par contre sur mer ou en bord de plage, c'est plus **5dB** avec de plus l'angle de rayonnement qui descend très bas ce qui nous amène à un total de **10dB**, ce qui est un avantage considérable. L'avantage pour une Yagi est du même ordre, sauf, sauf qu'elle tirera trop haut vu que son angle de rayonnement ne s'abaisse pas.

Les Angles, définition

On a vu plus haut que le rayonnement en **3D** du dipôle en espace libre ressemble un « donut » vu que l'axe du dipôle fait un trou au centre. Placé au-dessus du sol, il y a comme un tassement.

Diagram : NOAX



Azimuth

Ci-contre, le centre du dipôle est centré sur l'axe d'élévation **Z**.

L'effet du sol, avec les réflexions, a fait un certain tassement patatoïde en forme de huit du diagramme. On observe un rayonnement horizontal sur 360°, alors qu'il en va tout autrement sur le plan vertical avec un affaiblissement plus que notoire à la verticale, 90°.

Le plan vertical (en bleu) est perpendiculaire au sol et centré sur l'axe **Z** qui devient son axe de rotation. Il est représenté faisant un angle de 20° avec l'axe **X**.

Généralement, l'axe **X** représente le maximum de radiation horizontale et fait référence. Donc, dans notre cas, l'azimut est de **-20°**.

Note : Dans le cas présent, aucune référence au nord, Qu'il soit magnétique ou géographique.

Élévation

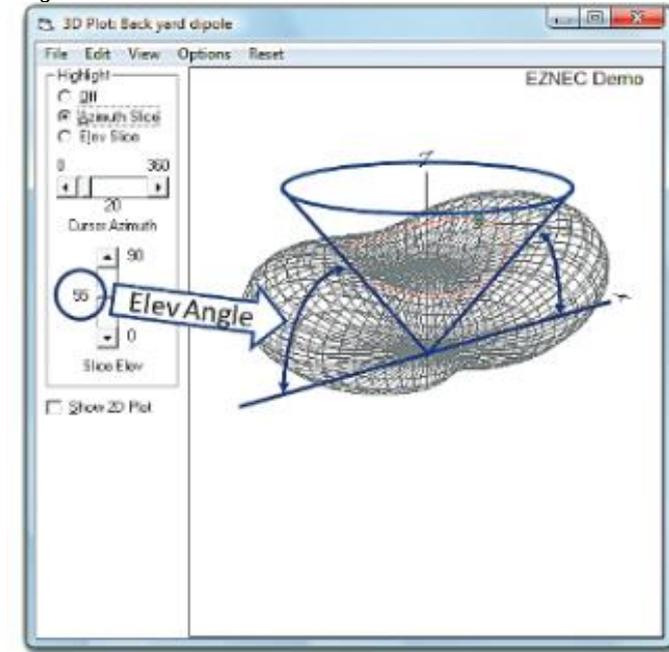
Ca se complique un petit peu car notre plan vertical n'est pas à proprement parler un rectangle puisque l'affaiblissement central s'apparente à un cône.

Selon l'axe **X**, on va faire une exploration en coupe, degrés par degrés, généralement centré sur le **G** maximum.

Le diagramme d'élévation apparaît en rouge

Ref : Progamme Eznec démo avec le dipôle inclus la bibliothèque.

Diagram : NOAX



Notes :-

L'illustration dipôle

Reprenons donc à l'image du diagramme d' ON4UN, le diagramme de rayonnement du dipôle horizontal au-dessus d'un sol moyen avec la vue de côté (broadside) et dans l'axe (in line).

On fait varier la hauteur du dipôle au-dessus du sol moyen et on observe.

On arrive à un **G** calculé de **7,3dBi**

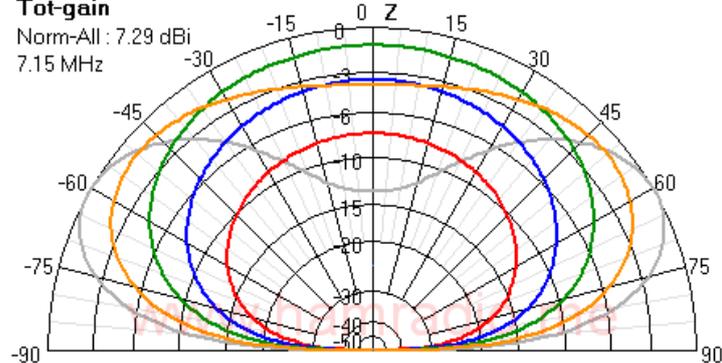
Diagram : Broadside Dipole 40m Web

AGL = Above Ground Level => Au-dessus du Sol

Tot-gain

Norm-All : 7.29 dBi

7.15 MHz



Red = 40m dipole 6 feet AGL
 Blue = 40m dipole 12 feet AGL
 Green = 40m dipole 24 feet AGL
 Orange = 40m dipole 48 feet AGL
 Gray = 40m dipole 65 feet AGL

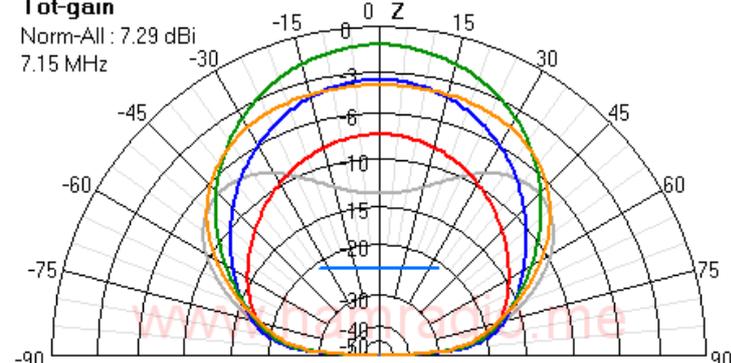
Diagram : In line Dipole 40m Web

AGL = Above Ground Level => Au-dessus du Sol

Tot-gain

Norm-All : 7.29 dBi

7.15 MHz



Red = 40m dipole 6 feet AGL
 Blue = 40m dipole 12 feet AGL
 Green = 40m dipole 24 feet AGL
 Orange = 40m dipole 48 feet AGL
 Gray = 40m dipole 65 feet AGL

Constat. Notre simple fil horizontal, pour peu qu'il soit installé à la hauteur appropriée, nous rapporte plus qu'un amplificateur linéaire -en général un peu plus de **4dB**- et ceci tant à l'émission qu'à la réception.

Trop bas, il subira l'atténuation due à la promiscuité du sol, et il sera d'une faible efficacité, même pour des QSO's à courte distance.

Moyen, c'est le compromis entre ¼ & ½ onde.

Trop haut, bon pour le DX, mais pénalisant pour les liaisons à courte distance.

De là à en avoir un seul mais de hauteur variable.

L'angle d'élévation est le facteur déterminant pour effectuer des liaisons à grande distance.

Toutefois ces diagrammes ne nous renseignent en rien sur l'efficacité et donc en poussant un pont plus loin – soit un programme différent, 4NEC2 en l'occurrence, et gratuit- il nous renseigne sur le rendement fonction de la hauteur du dipôle au-dessus du sol est :

$\lambda / 0.015$	$\lambda / 0.1$	$\lambda / 0.15$	$\lambda / 0.2$	$\lambda / 0.25$
18%	53%	72%	81%	87%

De là à susciter la réflexion. « No free Lunch »

Mais voilà, la mariée n'est pas aussi belle... Les plus pertinents auront aussi remarqué l'affaiblissement latéral qui atteint quasiment **-15dB** –pas qu'un peu mon neveu-

Pour remédier à ce handicap, nous avons quatre solutions possibles :

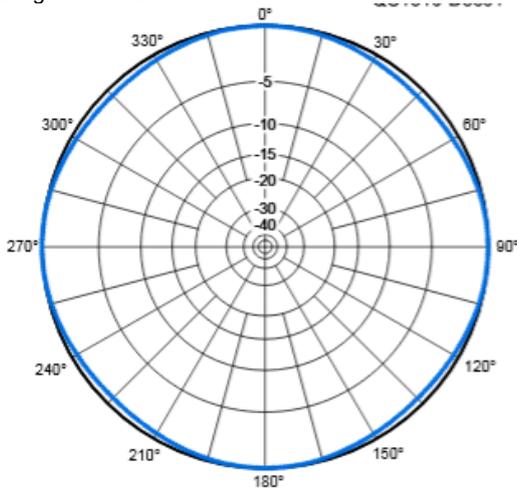
- Opter pour deux dipôles croisés à 90°
- Opter pour une boucle horizontale (Loop)
- Opter pour un dipôle replié (Squalo, Cowebb)
- Rendre le dipôle rotatif –difficile sur 80m et 160m-

NB : L'omni directivité du dipôle en V inversé est un **mythe**. L'angle de 120 à 90° fait perdre jusqu'à **1,5dB** et l'affaiblissement latéral reste du même ordre soit **10dB**.

On économise juste un support. Alors c'est noté ?

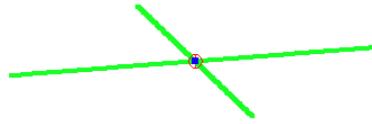
Dipôle croisé

Diagram : W1ZR



Max. Gain = 4.81 dBi Freq. = 7.15 MHz

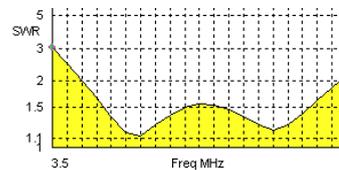
Encore appelé « turnstile » dans la littérature Anglo-Saxonne.



Naturellement, il faut avoir de la place, mais c'est à peu de frais et ça peut rapporter gros. Deux dipôles croisés à 90° alimentés avec le déphasage correspondant.

Quasiment plus de nul et le **G** reste plus que substantiel, même s'il a fallu boucher les trous de l'affaiblissement latéral

Bon à savoir : Sur 80m, où la bande allouée représente 8%, deux dipôles centrés sur 3'550 et l'autre sur 3'750KHz permettent de couvrir toute la bande.



Loop horizontal

Là aussi, de la place mais avec une alimentation haute impédance, un plus pour un fonctionnement efficace sur au moins deux bandes. Donc de la flexibilité.

Ce fut aussi notre choix en son temps, mais en toute connaissance de cause.

C'est un bon compromis pour le 80m et le 40m car l'omni directivité est bien présente. Sur les bandes plus hautes, elle devient un peu style passe partout.

Du fait du diagramme en marguerite, c'est la roulette Russe selon le QTH du DX.

Alimenté avec une échelle à grenouille, la boîte trouvera un accord sur toutes les bandes.

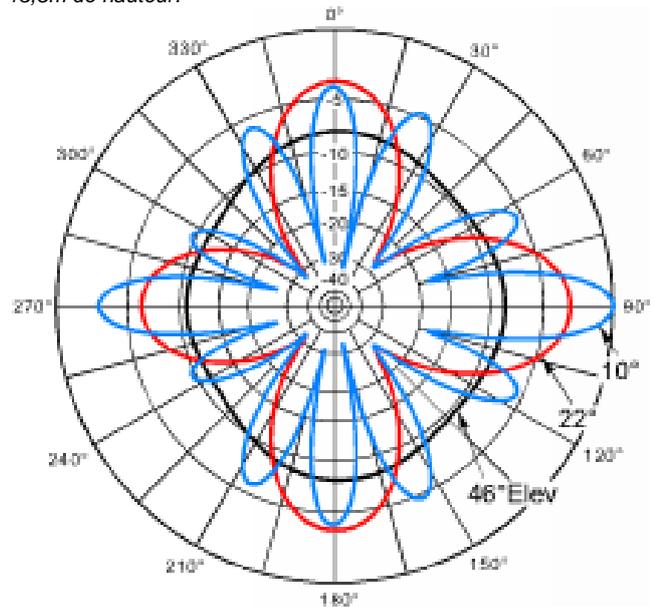
Le **80m** n'est pas représenté pour ne pas surcharger, mais l'on sait maintenant que ça balance tout en haut en étant omni directionnel. Sur **40m**, en noir, on est en présence d'un affaiblissement de **10dB** au zénith mais bien à 45° et quasiment omni directionnel.

Sur **20m**, en rouge, ce sera pas mal si ce n'était cette sacrée roulette. La seule solution étant de déplacer le point d'alimentation de 90° pour faire pivoter électriquement le diagramme.

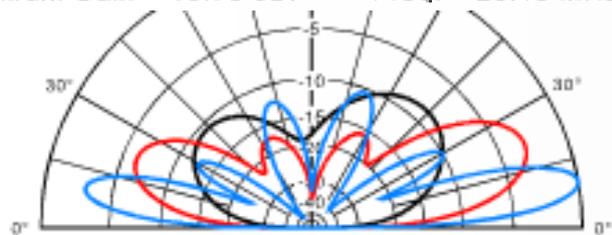
Le **10m** est en bleu. Bien intéressant que ce **G** mais il faut trouver le moyen de déplacer les pétales.

NB : Pas question d'alimenter avec du câble coaxial (sauf si uniquement 80 & 40m) car vous feriez du QRP tant les pertes sont « Kolossale »

Diagram : W1ZR, boucle de 82,5m au-dessus d'un sol moyen @ 13,5m de hauteur.



Max. Gain = 13.75 dBi Freq. = 28.40 MHz



Max. Gain = 13.75 dBi Freq. = 28.40 MHz
Azimuth = 0.0 °

Dipôle rotatif : Solution que nous aimons bien et pour cause....

On met le gain là où il est utile. De plus, on peut affaiblir quelques interférences trans Alpines ou trans Pyrénéennes. –*Quoi quoi, j'ai écrit quelques chose de mal ?*–

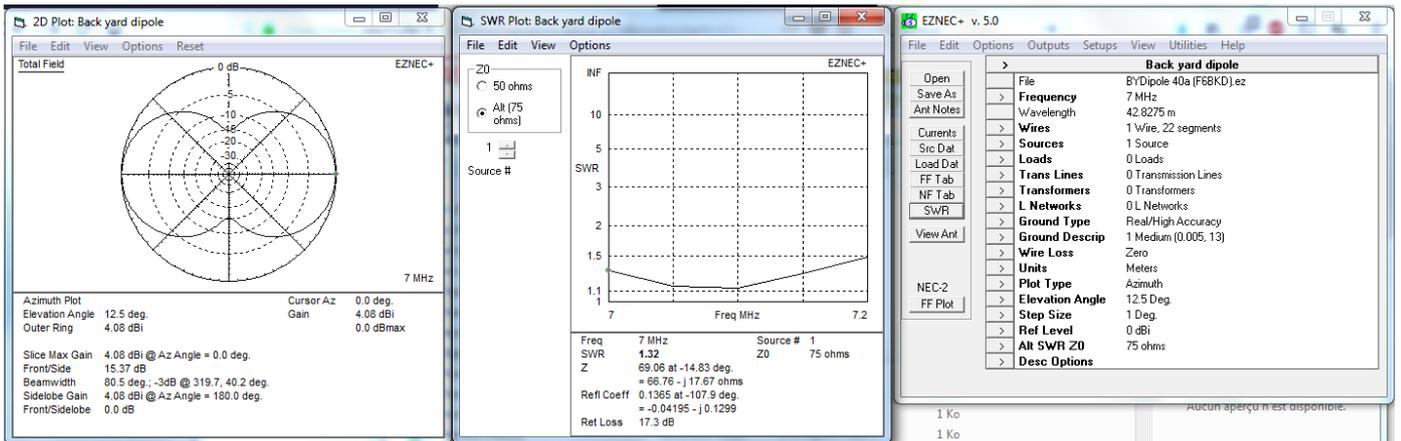
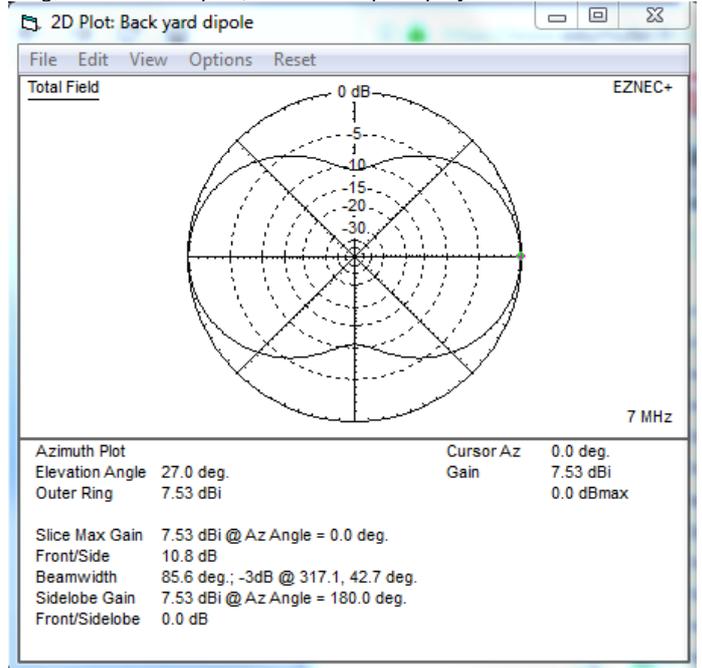
Juste un quart de tour à faire avec un vieux rotor...et le tour est joué !

Ci-contre, représentation au maximum de gain, l'affaiblissement latéral est de 10,8dB.



Ci-dessous, représentation à l'angle d'élévation moyen pour le DX 40m, l'affaiblissement latéral est de 15,3dB

Diagram : F6BKD.Dipôle, mon beau dipôle que je t'aime en rotatif



Dipôle replié (Squalo, Coweb)

D'un encombrement moindre il peut être placé plus haut et favoriser les liaisons DX.

Toutefois, vu la faible impédance, 10Ω il y baisse du rendement. On en revient toujours à cette notion de compromis et dans ce cas, la **Bp** se rétrécit comme peau de chagrin, 70KHz (160KHz sur le 14MHz)

Le **G** est toutefois encore acceptable à 5,5dB et 'on peut considérer que l'affaiblissement latéral a disparu.

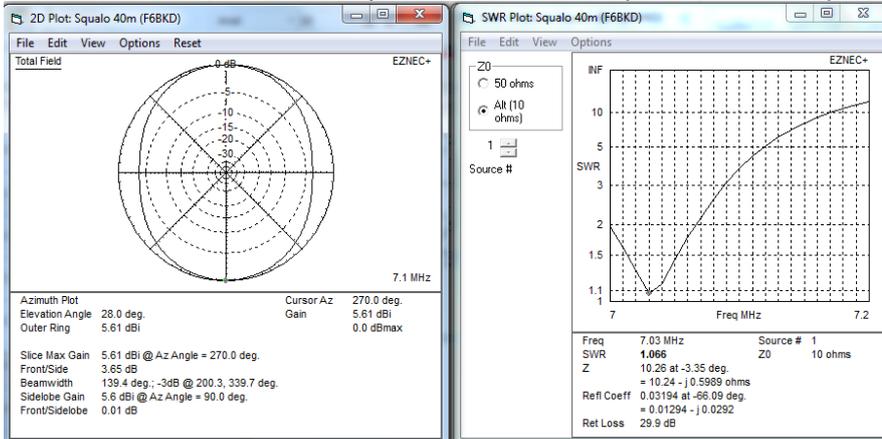


Photo F6BKD

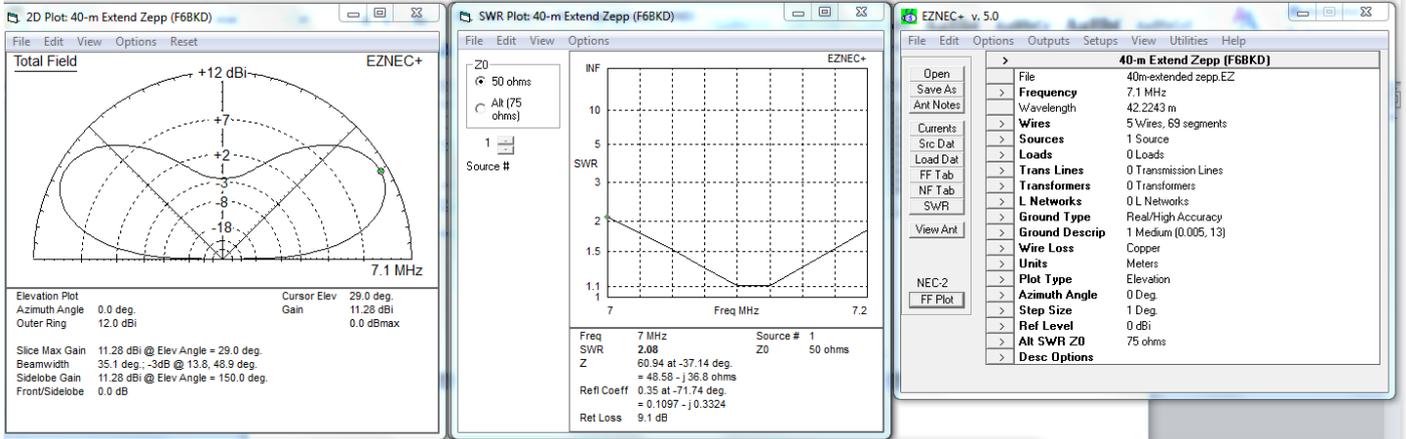


Dipôle center feed

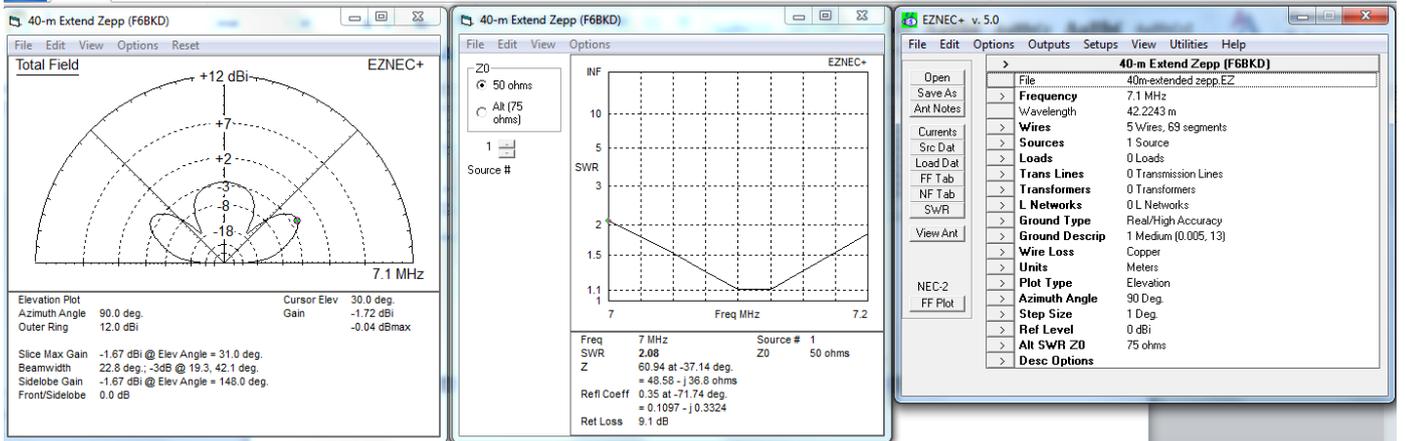
Soit Zepp et autre Levy. Faut bien en parler tellement c'est populaire... On se retrouve toujours avec ce cruel dilemme. Sur la fondamentale, un **Gain** substantiel mais le creux patatoïde d'une quinzaine de **dB**. Sur l'harmonique deux, on perd un peu en **G** et le creux n'est plus que d'environ une dizaine de **dB**.

Scoop : Ce n'est pas notre truc

Supposons donc, au hasard, 2x26m à 21m du sol. Du côté où tout va très bien –*sûr l'air de madame la marquise*- c'est cool, 1,3**dB**i à 29° d'élévation.



Mais il faut que je vous dise -*toujours sur l'air de madame la marquise*- du côté où ça va moins bien.



On déplore une perte de **Gain** -*toujours ce même air qui revient*- pour arriver à -1,7**dB**i à 31° d'élévation !

Il est vrai que le QRP est tendance !

Sur les bandes supérieures, c'est bien pire, d'où l'expression de QSO's roulette Russe.

Si le correspondant lointain vient du côté qui va bien, vous passerez même sur les « pile-up »

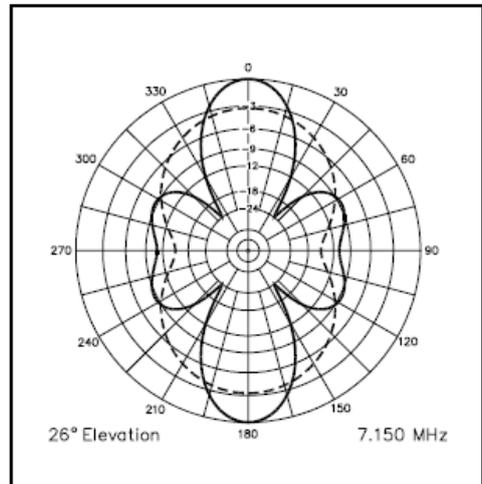
Comme vous avez été attentifs, je vous en remets une dose en attente de la prochaine.

Diagram : N6LF

Dans cet exemple, pour être sûr de bien faire on a mis la dose de fil, 2x1,25A ce qui fait gagner 3**dB** par rapport au dipôle de réf en pointillé...mais ceci sur un angle relativement petit de 35°.

Après, dans l'affaiblissement patatoïde du dipôle, on regagne un peu mais ce qui saute aux yeux, ce sont les 4 immenses affaiblissements latéraux..

A chacun son opinion et sa religion, mais on n'a jamais assez d'antennes pour tout faire idéalement.



Clôturons ce chapitre de « fil horizontal » en essayant de tordre le cou à un autre **mythe**.

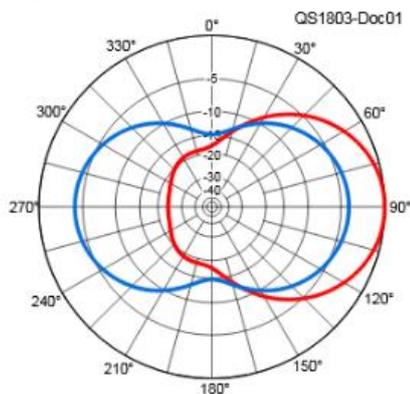
Il est bien connu que le fait de rajouter un élément parasite de dimension ad hoc parallèle à notre dipôle va le transformer en 2el yagi.

Ce premier élément, qu'il soit en directeur ou réflecteur restera pour toujours le plus important car il apporte presque **4dB** à lui seul et la croyance populaire fait dire qu'il abaisse l'angle rayonnement,...

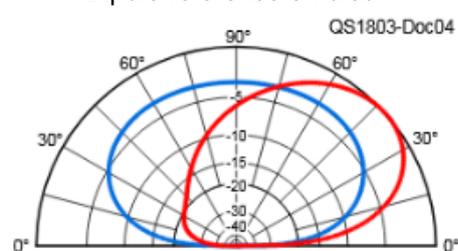
Ce n'est que dans le cas où l'antenne est à $\frac{1}{4} \lambda$ et au-dessus du sol...

et seulement dans ce cas-là ! Le fait de rajouter un autre élément parasite (généralement un directeur) n'y change rien.

Diagram : W1ZR



Dipôle référence en bleu

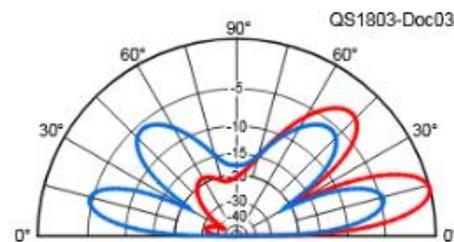


3él yagi @ $\frac{1}{4} \lambda$, pic d'élévation à 43°

<= 3él yagi @ $\frac{1}{2} \lambda$

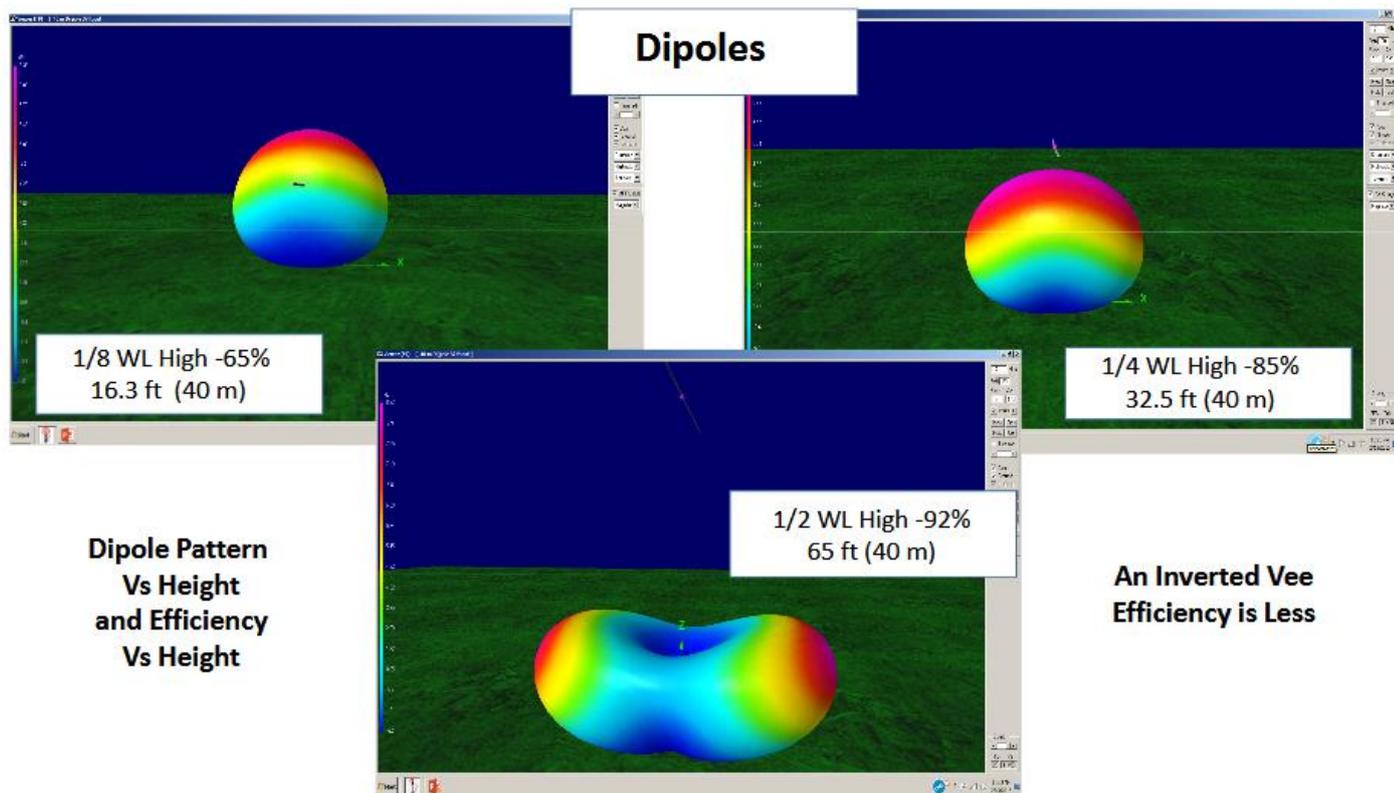
3él yagi @ 1λ =>

Pic d'élévation toujours à 14°



Passé $\frac{1}{4} \lambda$ et arrivé à $\frac{1}{2} \lambda$, l'angle d'élévation de la yagi se confond avec celui du dipôle référence, -14°

Un petit résumé en couleurs intégrant l'efficacité en fonction de la hauteur au-dessus du sol qui comme vous le savez influence tout.



Dans le chapitre suivant nous irons explorer d'autres configurations.

Bonnes cogitations & 73---Bernard---F6BKD---

Bibliographie : Radio Engineering H, Antenna Book, FA, DL1GLH, DA1TW, DL1GLH, ON5AU, N0AX, N6LF, W1ZR, W4RNL,