

# Antenne Facteur K

(par F6BKD)

**Préambule :** Le facteur *K* est un coefficient qu'il convient d'appliquer lors du calcul d'une antenne. En effet, si la formule de départ est connue de tout un chacun, elle est juste valable pour un fil nu très fin qui fait abstraction de l'effet d'extrémité

**Avant propos :** Nous allons voir que le facteur **K** (pour constante en Anglais) regroupe un certain nombre d'effets de raccourcissement qui du reste avec les antennes de dernière génération (antennes à accord dynamique) devient une données prépondérante dans la recherche de la résonance.

## Le commencement

La formule de base comme donnée brute car généralement, le dipôle sera trop long

$$\text{Longueur (m)} = 150 / \text{Frq (MHz)}$$

$$\text{Longueur (ft)} = 492 / \text{Frq (MHz)}$$

Donc une **f0** plus basse.

D'emblé, nous allons appliquer une première correction pour l'effet d'extrémité la **f0** sera plus haute => antenne physiquement plus courte

Pour le dipôle, donnée corrigée

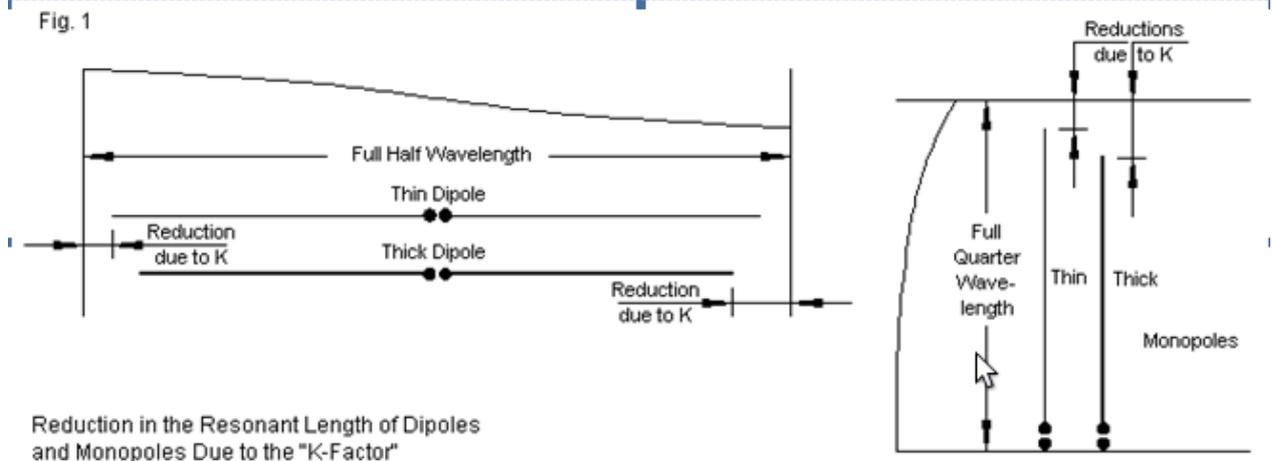
$$\begin{aligned} \text{Longueur (m)} &= 150 \times 0,98 / \text{Frq (MHz)} \\ &= 147 / \text{Frq (MHz)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Longueur (ft)} &= 492 \times 0,98 / \text{Frq (MHz)} \\ &= 482 / \text{Frq (MHz)} \end{aligned}$$

## La section

La section influence la fréquence de résonance (**f0**) qui sera plus basse => section plus grande

Dessin :W4RNL



De plus la section ne va pas être sans influence sur l'impédance **Z** du dipôle – on va parler du **L/D** –

Rapport L/D	Facteur K	% de raccourcissement
10	0,925	7,5
100	0,965	3,5
1'000	0,975	2,5
10'000	0,980	2,0

La signification –pour un fil fin- prend ici tout son sens

Tout cela selon le diagramme bien connu –*enfin, il devrait l'être* – depuis les années trente grâce à l'ARRL.

Cette variation ne tient pas encore compte de la hauteur du dipôle au-dessus du sol.

Diagramme : ON5AU

Veillez bien observer la variation de l'impédance Z!

$$Z = R \pm jX$$

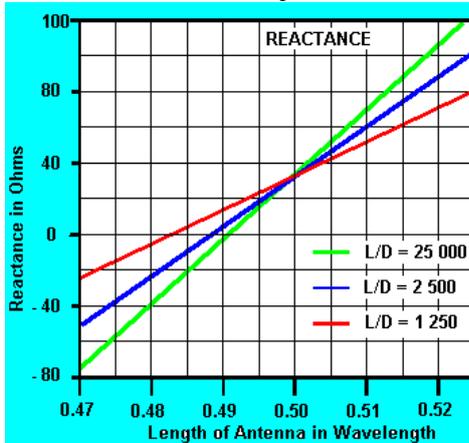
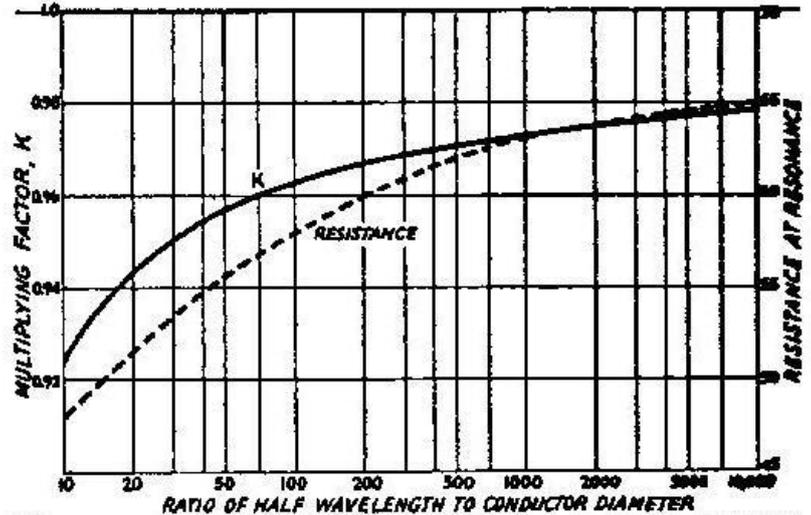


Diagramme ARRL



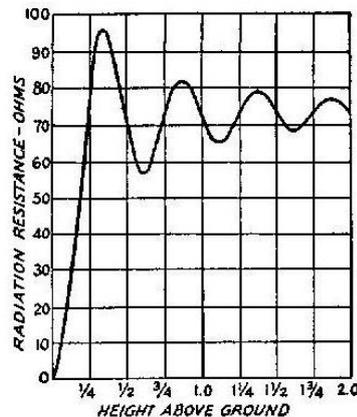
C'est que par exemple, pour un dipôle, ½ pouce (12,7mm) 28,7 MHz  
 Longueur (m) = 150 / 28,7 = 5,22 air  
 Longueur (m) = 147 / 28,7 = 5,12 fil

Appliquons la correction selon le graphique, le facteur K => 150 x 0,97 = 145,5 =>  
 la longueur électrique de notre dipôle tubulaire devient:

Longueur (m) = 145,5 / 28,7 = 5,07 tube

### Le sol

Diagramme ARRL



Mais nous ne sommes pas sans savoir que la  $f_0$  (fréquence à la résonance) ainsi que l'impédance

$$(Z = R \pm jX)$$

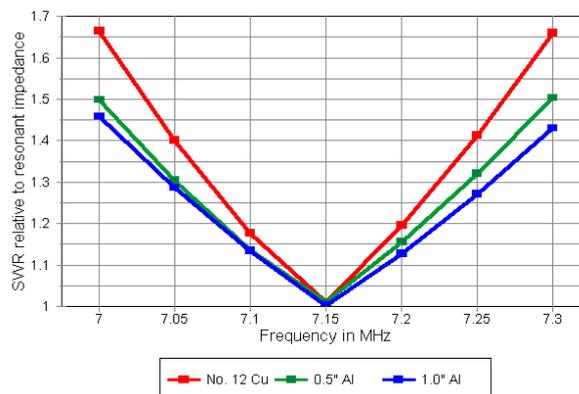
varient aussi en fonction de qualité du sol et de la hauteur du dipôle.

Avec un exemple chiffré pour notre dipôle ½ pouce (12,7mm) à 28,7 MHz

Hauteur	Longueur à la $f_0$	Kr réel	Z alimentation
Espace libre	5.004	.9535	72.0
6.08	5.001	.9546	63.4
7.30	4.967	.9465	68.3
8.51	4.991	.9509	77.3
9.73	5.028	.9582	76.3
10.9	5.022	.9567	68.9

Et pour visualiser une simulation grâce à la modélisation (W4RNL)

Full-Size Dipole SWR  
 Design Frequency: 7.15 MHz



## La modélisation

C'est ce qui est le plus utile pour savoir ce qui se passe dans un système antennaire et en percevoir les subtilités, de mettre en évidence les paramètres d'influence tout en comparant des antennes, sans oublier évidemment le but premier, optimiser des antennes.

Toutefois, cela doit obéir à certaines règles plus ou moins restrictives et qui si elles ne sont pas suivies, peuvent conduire à des aberrations.

Dès lors, la modélisation n'exclut pas le bon sens et d'avoir une certaine idée de ce que l'on cherche à obtenir –au hasard, antennes magnétiques, antenne EH ect- De plus, il faut être bien au fait de la qualité du sol (Ground quality) et des limitations du software car le résultat obtenu peut être entaché d'erreurs grossières. Dès lors il appartient à tout un chacun de suivre les recommandations de l'ARRL qui a fixé les paramètres à utiliser pour un sol moyen ainsi que la bonne option à sélectionner.

La plupart des programmes de modélisation accessible à l'OM moyen sont basés sur le noyau de calcul NEC-2 qui ne permet pas de modéliser des radiaux au sol et encore moins enterrés. Ce n'est qu'avec NEC-4 que cela est devenu possible mais l'investissement est plutôt coûteux car cela nécessite d'une part le programme (ex : Eznec PRO/4 à env.\$650.-) et une licence NEC-4 à env. \$300.-. Avouez que cela est bien cher pour pouvoir modéliser des radiaux enterrés si l'on fait abstraction du nombre de segments possible (20'000)- Pour mémoire. Eznec V5 à \$90.- en permet 500 et Eznec +V5 en permet 1'500.

Moyennant cela, les programmes gratuits ne sont pas les moins performants et/ou didactiques (MMANA, 4NEC,ect) et de nos jours, c'est un point de passage obligé pour l'élaboration d'un système d'aérien.

Cela étant, Eznec offre une facilité pour la prise en compte du facteur **K** et prenons comme exemple un dipôle pour le 40m

Modélisation : F6BKD

Wires										
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn		
1	-10.18	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	1	5
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	1	13
3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.18	0	24.3839		1	5
..										
Wires										
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn		
1	-10.09	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	12.5	5
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	12.5	13
▶ 3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.09	0	24.3839		12.5	5
*										
Wires										
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn		
1	-10.04	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	25	5
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	25	13
▶ 3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.04	0	24.3839		25	5
*										

Nous constatons une variation de la longueur du dipôle selon le diamètre du rayonnant.

## L'isolant

C'est un autre dernier facteur s'invite dans l'équation avec par exemple pour le fil, l'isolant.

Selon la matière, le coefficient de permittivité  $\epsilon_r$  va avoir une plus ou moins grande importance mais elle est toujours substantielle (fil nu,  $\epsilon_r = 1$ ; polypropylène (PE),  $\epsilon_r = 2,25$

Ce facteur est introduit dans le programme en cochant la case « Show Wire Insulation » et dans notre cas, le polypropylène est juste d'une épaisseur de 1mm

Modélisation : F6BKD

<input type="checkbox"/> Coord Entry Mode <input type="checkbox"/> Preserve Connections <input checked="" type="checkbox"/> Show Wire Insulation												
Wires												
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)
1	-10.18	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	1	5	2.25	1
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	1	13	2.25	1
▶ 3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.18	0	24.3839		1	5	2.25	1
*												

Pour mémoire, nous avons à la base,

Wire Create Edit Other <input type="checkbox"/> Coord Entry Mode <input type="checkbox"/> Preserve Connections <input type="checkbox"/> Show Wire Insulation												
Wires												
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)
1	-10.18	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	1	5	2.25	1
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	1	13	2.25	1
3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.18	0	24.3839		1	5	2.25	1
*												

Et nous constatons que l'effet est substantiel, de 2 x 10,18m (fil nu) à 2 x 9,84m (isol 1mm)

Wire Create Edit Other <input type="checkbox"/> Coord Entry Mode <input type="checkbox"/> Preserve Connections <input checked="" type="checkbox"/> Show Wire Insulation												
Wires												
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)
1	-9.84	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	1	5	2.25	1
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	1	13	2.25	1
▶ 3	5.4864	0	24.3839	W2E2	9.84	0	24.3839		1	5	2.25	1
*												

### Permittivité ( $\epsilon_r$ )

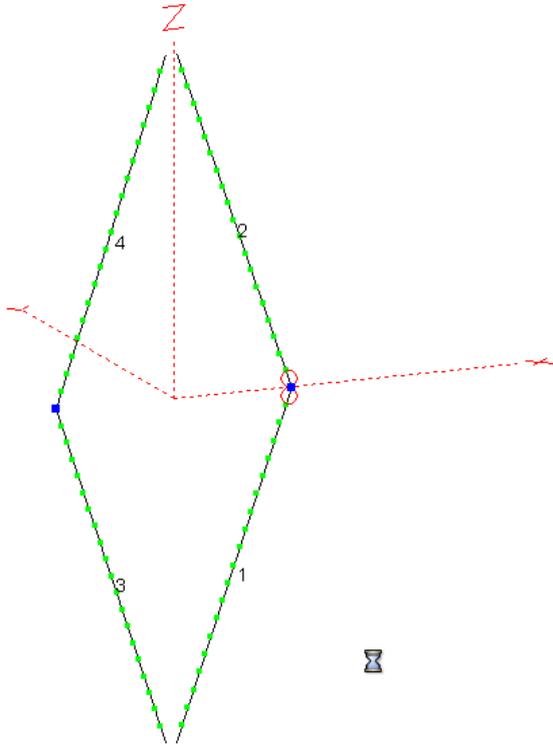
Elle va dépendre de l'isolant

Tableau 3 – Permittivité relative de quelques polymères thermoplastiques		
Polymère	f = 50 Hz	f = 1 MHz
Polypropylène	2,2	2,2
Polyéthylène	2,3	2,3
Polystyrène	2,5	2,4
ABS	2,6	2,6
Polyoxyde de phénylène	2,6	2,6
Polysulfone	3,1	3,0
Polysulfure de phénylène	3,2	3,1
Polycarbonate	3,2	3,0
Polyéthérimide	3,2	3,1
Polybutylène téréphtalate	3,3	3,1
Polyéthersulfone	3,5	3,5
Polymétacrylate de méthyle	3,7	2,2
Polyacétal	3,7	3,7
Polyamide 11	3,9	3,1
Polyamide-imide	4,3	3,9
Polyamide 6-6	8,0	4,6

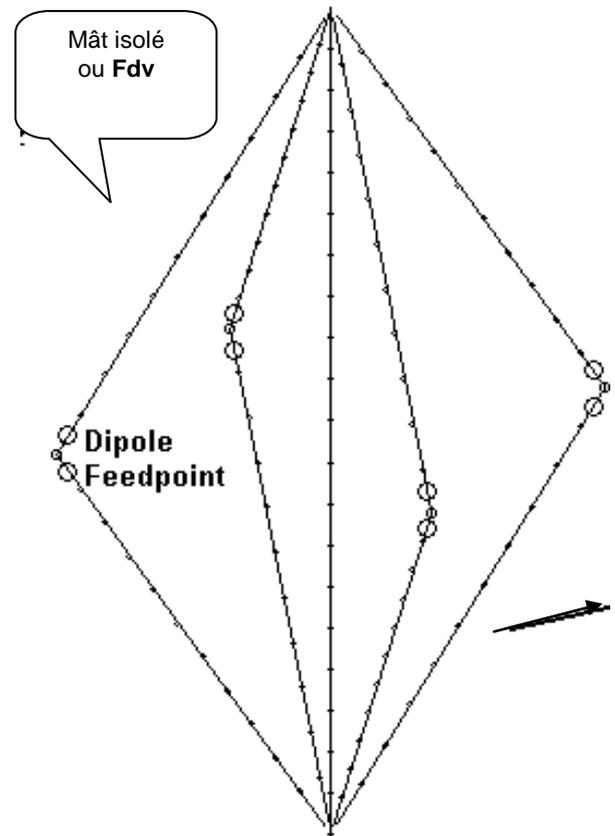
On en arrive donc à un **Ktotal** cumulé de :

$$\mathbf{Ktotal} = \mathbf{Kmat} \times \mathbf{Kdiam} \times \mathbf{Kisol}$$

Verticale filaire qui sort de l'ordinaire, la **Vertical Dipôle Array** du succès de VP6DX, en fait une « **Jungle Job** »



Verticale filaire qui sort encore plus de l'ordinaire, une configuration **4Sq**



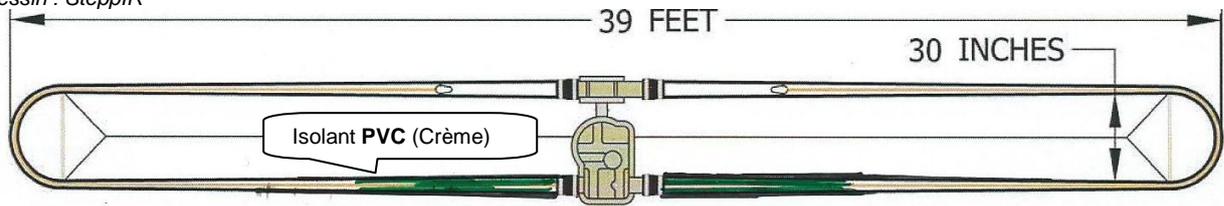
NB : Mât **Fdv** et découplage de l'alimentation câble coaxial sous peine de distorsion du diagramme de rayonnement) => perte de **G** et détérioration du **Av/Ar-**

### Accord continu

Le facteur **K** devient encore plus important car dans une certaine application, le dipôle replié (par exemple SteppIR) où nous sommes en présence de deux isolants.

La cane de **Fibre de verre** et aussi sur la première demie partie, l'isolant **PVC** (en vert sur le dessin) qui limite les forces de glissement

Dessin : SteppIR



$$K_{total} = K_{diam} \times K_{mat} \times (isol1 + 2)$$

La correction déjà substantielle devient sur la partie basse à moyenne impédance bien différente et surtout compliquée car selon la **f0** choisie, la valeur de **Kt** ne sera pas la même !

Et en vue rapprochée

Photo : F6BKD



Dès lors pour modéliser selon un bon degré de précision, la tâche s'avère plutôt ardue.

Au début, sur le 6m et le 10 & 12m:

- **Kisol 1** => tronçon d'isolant **PVC** à ~ **2,8**
- **Kisol 2** => tronçon d'isolant **FdV** à ~ **5**

Encore une fois,

$$K_{Total} = K_{Diam} \times K_{Mat} \times (isol1 + 2)$$

Permittivité ( $\epsilon_r$ ) de quelques polymères :

Tableau : Web

Tableau 4 – Permittivité relative de quelques polymères thermodurcissables		
Polymère	f = 50 Hz	f = 1 MHz
Polyallylique renforcé fibre de verre	4,2	3,5
Époxyde renforcé fibre de verre	5,0	4,6
Polyester/alkyde renforcé fibre de verre	5,3	4,6
Phénolique renforcé fibre de verre	6,0	5,0
Mélamine renforcée fibre de verre	8,0	6,2

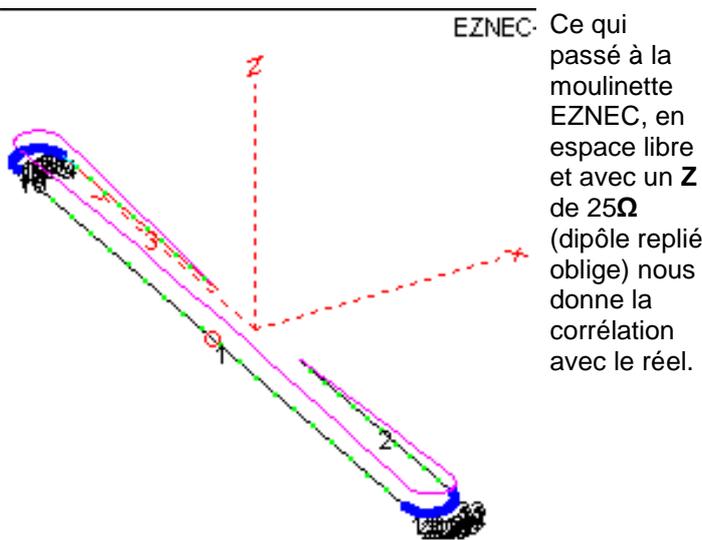
## Corrélation & preuve

Naturellement avec le recours à la modélisation qui dans le cas présent ne fut pas un simple exercice mais nous sommes arrivés à une certaine corrélation (avec l'assistance de F5VNB)

Modélisation : F6BKD

Wires													
No.	End 1				Conn	End 2				Diameter (in)	Segs	Insulation	
	X (in)	Y (in)	Z (in)	X (in)		Y (in)	Z (in)	Conn	Diel C			Thk (in)	
1	0	-219	826.772	W19E1	0	219	826.772	W18E2	0.28	21	7	0.1145	
2	30	-219	826.772	W33E2	30	-43.27	826.772		0.28	11	7	0.1145	
3	30	219	826.772	W4E1	30	43.27	826.772		0.28	11	7	0.1145	

Donc, observez bien que le coefficient « Diel C » a été fixé à 7

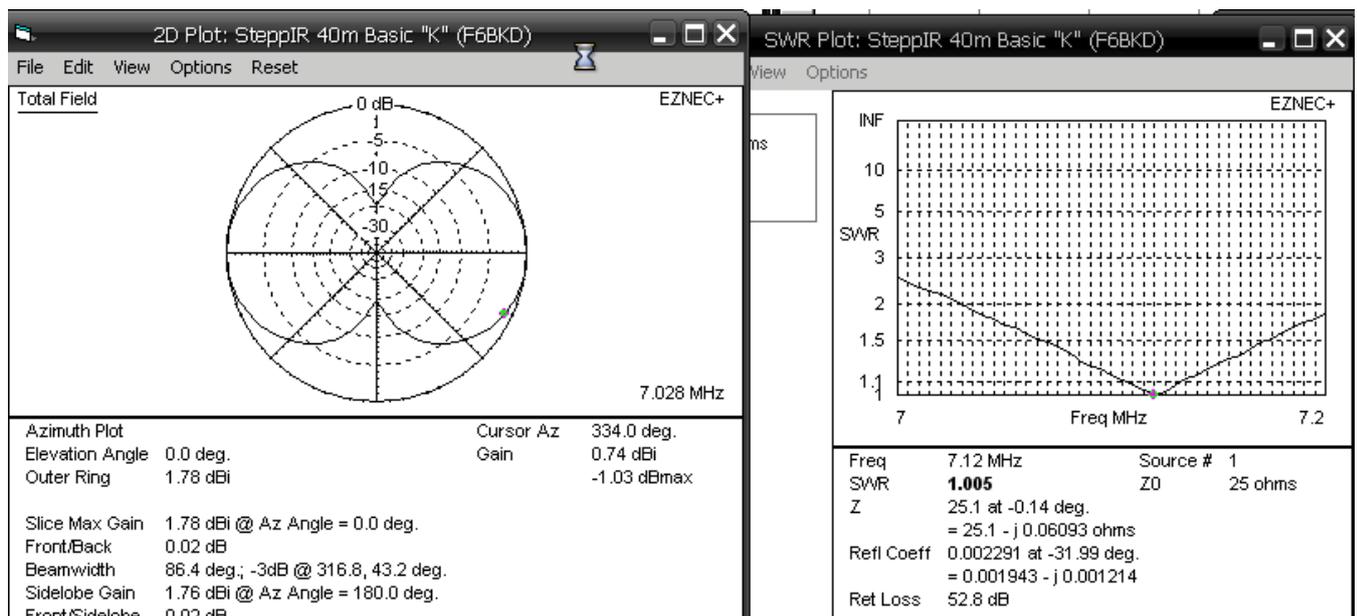


EZNEC. Ce qui passé à la moulinette EZNEC, en espace libre et avec un Z de  $25\Omega$  (dipôle replié oblige) nous donne la corrélation avec le réel.

SteppIR 40m Basic "K" (F6BKD)	
File	SteppIR 40m Basic K (F6BKD).EZ
Frequency	7.028 MHz
Wavelength	1679.4 in
Wires	33 Wires, 73 segments
Sources	1 Source
Loads	0 Loads
Trans Lines	0 Transmission Lines
Transformers	0 Transformers
L Networks	0 L Networks
Ground Type	Free Space
Wire Loss	User Defined
Units	Inches
Plot Type	Azimuth
Elevation Angle	0 Deg.
Step Size	2 Deg.
Ref Level	0 dBi
Alt SWR Z0	25 ohms
Desc Options	

Au passage, nous pouvons noter deux choses :

- Le dipôle raccourci présente une atténuation latérale beaucoup plus importante.
- Le dipôle raccourci ne perd que 0,4dB –bien malin qui peut le constater !-



### Problème sur VHF.SHF

Sur VHF et au dessus, on se retrouve avec un souci supplémentaire:

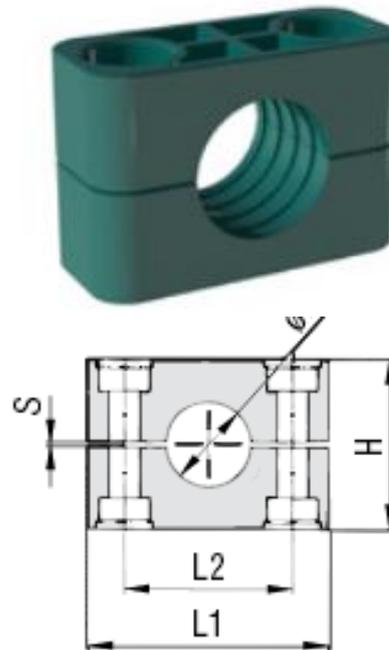
#### L'isolant des éléments et le boom

Pour cette mise en évidence, il faut faire appel a des programmes de simulation professionnel tel que FEKO.

A fuir, le polyamide (noir) pourtant le plus répandu...même chez les professionnels (ex: Kuonni) et malheureusement recommandé par DK7ZB...*nul n'est prophète dans sa partie...*

Isolant polyamide (PA noir) tel Nuxcom est un souci de même que les élastomères en général.

Isolant polypropylène (PP vert) tel Stauff est à préférer.

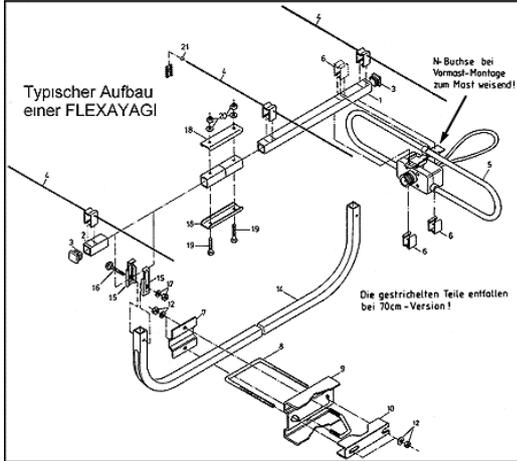


Permittivité ( $\epsilon_r$ ) de quelques céramiques :

Tableau :Web

Tableau 5 – Permittivité relative de quelques céramiques à $f = 50$ Hz	
Porcelaines	5 à 7,5
Stéatites et forstérites	6 à 7
Alumines	8 à 9
À base d'oxyde de titane	40 à 100
À base de titanate de magnésium	12 à 40
À base de strontium, de titanate de calcium ou de bismuth	100 à 700
À base de titanate de baryum	350 à 3 000
Oxyde de béryllium	7
Magnésie	10
Zircone	22

## Influence de la bôme



Pour le boom, DJ9BV fut un précurseur avec DL6WU et les Flexayagi.

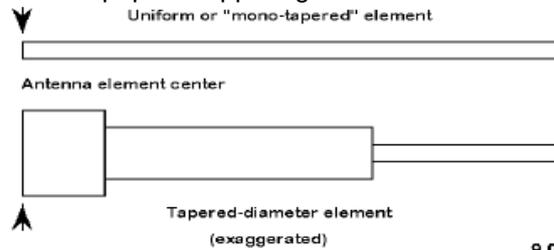
## Eléments télescopiques

Et un petit dernier pour clôturer le sujet, les éléments télescopique « tapering ».

Selon les débuts avec W2PV (†) en passant par W6QHS ou W4RNL (†) et autre VK1OD.

On substitue un diamètre constant

Cela implique une correction qui est intégrée dans certains programmes.



Modélisation : F6BKD

		<input type="checkbox"/> Coord Entry Mode		<input type="checkbox"/> Preserve Connections		<input checked="" type="checkbox"/> Show Wire Insulation							
Wires													
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)	
1	-10.09	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	12.5	5	1	0	
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	12.5	13	1	0	
3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.09	0	24.3839		12.5	5	1	0	

La aussi, ce n'est pas rien... donc prévoir de la réserve tubulaire.

		<input type="checkbox"/> Coord Entry Mode		<input type="checkbox"/> Preserve Connections		<input checked="" type="checkbox"/> Show Wire Insulation							
Wires													
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Insulation		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			Diel C	Thk (mm)	
1	-10.39	0	24.3839		-5.4864	0	24.3839	W2E1	12.5	5	1	0	
2	-5.4864	0	24.3839	W1E2	5.4864	0	24.3839	W3E1	25	13	1	0	
3	5.4864	0	24.3839	W2E2	10.39	0	24.3839		12.5	5	1	0	

## Epilogue

Alors bien évidemment point n'est besoin de toute cette science pour ériger un vulgaire dipôle mais néanmoins il est d'une utilité certaine d'avoir présent à l'esprit que la correction du facteur de raccourcissement **K** est supérieure par exemple à l'écart entre les éléments d'une antenne directive. Pour débiter en modélisation, point n'est besoin de recourir a des programmes payants, les gratuits vont tout aussi bien a quelques variantes près,

Et surtout rien ne permet d'éviter la mise au point sur le terrain.

Ex: Pour le fil Wireman 556, **K** est de **0,92** et ça en fait des cm...voire des mètres!

Bonne expérimentations & 73---Bernard---F6BKD---

Bibliographie: ARRL Antenna HB, Eznec, SteppIR, W4RNL, DK7ZB, DL6MAU, G0KSC, ON5AU, VK1OD  
PS ; Il existe une présentation Power Point pour les Radio clubs, si besoin, contacter l'auteur