

Sol HF, est-ce un bon plan?

(par F6BKD)

Préambule : Dans le langage courant, on parle de terre lorsqu'il s'agit de la protection (des appareils et/ou des personnes). Sujet déjà traité par ailleurs sur ce site.

Concernant le rayonnement des antennes, on parlera plutôt de qualité de sol, voire de plan de sol lorsque l'on est à proximité immédiate (champ proche) de l'aérien. Ce champ est prépondérant lorsqu'il s'agit d'un monopôle inférieur à la demi-onde et ne sera pas traité ici. A ce sujet, on consultera les publications de N6LF qui sont une référence actuelle en la matière sans oublier naturellement Mr **Brown**.

Avant propos : La qualité du sol est un des paramètres d'influence de l'efficacité d'un système antenne car non seulement une certaine partie de l'énergie y est perdue, mais selon la profondeur de pénétration de la HF, l'angle de départ sera différent.

De plus, aux BF elle se comporte comme une résistance et en allant vers les HF, une capacité se trouve mise en parallèle nous mettant en présence d'une impédance.

Oui, mais de combien ? C'est ce que nous allons essayer de savoir.

Pour ce faire nous allons mesurer la conductivité et la permittivité relative du sol à la HF à l'aide d'une ligne parallèle ouverte –**Open Wire Line**–

Le commencement

Photo Web

Probablement le début !!!

Franklin1



Aussi vieux que la découverte de l'antenne au milieu du 19^{ème}.

Notre avis étant que c'est Franklin avec son inconscience de chercheur qui le premier à découvert l'antenne puisqu'il captait l'électricité statique.

–à défaut de la foudre !!!–

Et la première transmission fut effectuée par un grand oublié de l'histoire ...mais qui pourtant avait tout compris et en particulier du rôle joué par le sol....pour faire la première transmission radioélectrique ! Bien évidemment, en ce temps ce n'était qu'un violent parasite !

L'oscillateur restait à inventer mais, mais le circuit oscillant était sous leur yeux.

Photo Web

Probablement le début !!!

Franklin2



La base

Dr. Mahlon Loomis, dentiste de son état mais amateur d'électricité, est donc le père (oublié) de la première transmission radio électrique et de fait le premier radio amateur !

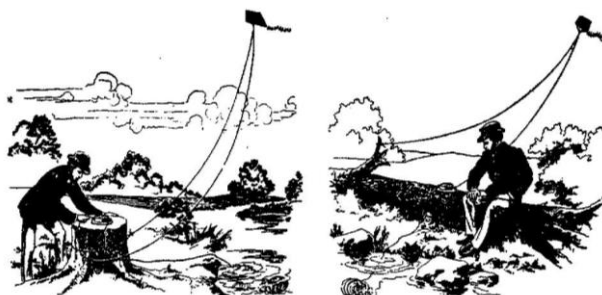
C'est le 21 Juillet 1864 qu'il déposait sa demande de brevet selon le dessin de ses deux fils métallique érigé par un cerf volant.

Photo : Web

Et la transmission du Dr. Loomis

Il a baptisé les fils « aeriels » -vous suivez ?-

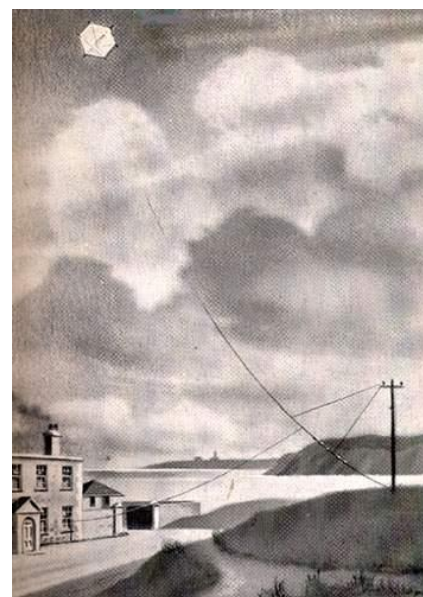
Le brevet (n°129971) ne sera octroyé que le 30 Juillet 1872 –heureusement que la HF conserve- par contre premier radio amateur ne deviendra pas riche –à l'inverse de Marconi- bien que fondateur en 1873 de « Aerial Telegraph Cny » et décèdera oublié (et ruiné) 13 Octobre 1886 sans aucune épitaphe sur sa tombe West Virginia.



Pourtant, sa découverte, suite à la recherche du moyen de stocker l'électricité statique collectée par une première antenne, il fit une observation pertinente. Cette décharge d'électricité statique en un lieu faisait dévier le milliampèremètre mis en série dans un deuxième système antenne identique situé à quelques encablures ! Toutefois, il n'y vit aucune application...Dommage pour lui.

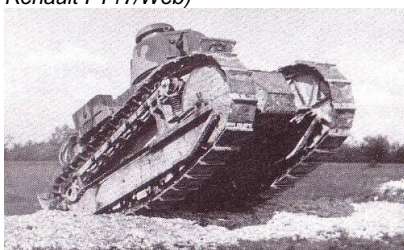
Quelques temps plus tard, Branly sera –pour l'histoire- vraiment le père de la transmission radioélectrique même si ces débuts furent sur la propriété de l'ionisation des molécules et c'est Marconi, qui de records en records de distance deviendra le père des transmissions transatlantique. Toutefois, il a fallu la tragédie du Titanic pour que les liaisons inter compagnies (qui se faisaient de la concurrence) soient instituées.

Photo : Web
Et la suite avec Marconi !Poldhau



La naissance des transmissions

Hélas, on la doit à la guerre avec d'une part la détermination du Général Ferrié et son motus vivendi «faisons marcher on inventera la théorie après» et d'autre part l'amélioration du matériel et des techniques utilisées avec l'apparition du portable et du mobile notamment, par exemple, dans les chars Renault –chers à qui vous savez- Renault FT17/Web)



Le détail important, pour augmenter la portée, on appliquait déjà la terre artificielle grâce à un treillis métallique qui trainait et ne faisait que ni plus ni moins doubler la portée (de 4 à 8km).



Donc, avant 1920, tout était dit.

La mesure

Photo : Web



Il y a plusieurs procédés dont, à notre avis, deux accessibles à l'amateur :

- 1 - Le procédé des lignes parallèles. Voir notre application développée dans l'encart technique.
- 2 – Le dipôle avec source HF calibrée.

Pour les professionnels, le choix est plus vaste, du « pédibus » au satellites.

Ci-contre, mesure de la conductivité par procédé HF et positionnement par GPS.

La sonde

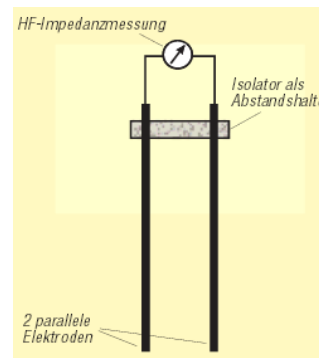
Donc pour notre application ce sera le procédé des lignes parallèles selc Dessin : FA le schéma ci-contre.

Nos dimensions sont :

- Broche de 8mm de diamètre
- Longueur de 340mm
- Espacement d'axe en axe de 8mm

De fait, tout part d'une simple mesure de l'impédance du sol à l'aide d'un ligne parallèle pour obtenir la valeur de $Z = R \pm j$.

Cette dernière, introduite dans les équations ad hoc nous donnera la val de la constante diélectrique et de la conductivité du sol mesuré en local.



La modélisation

C'est ce qui est le plus utile pour savoir ce qui se passe dans un système antenne 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 a certaines règles plus ou moins restrictives et qui si elles ne sont pas suivies, peuvent conduire à des aberrations.

Dès lors, la modélisation n'exclu pas le bon sens et d'avoir une certaine idée de ce que l'on cherche à obtenir –au hasard, antennes magnétiques, antenne **EH** etc.- De plus, il faut être bien au fait de la qualité du sol (Ground quality) et travailler selon les recommandations de l'ARRL (N6BV) avec comme référence un sol de qualité moyenne (voir plus bas) des limitations du software car le résultat obtenu peut être entaché d'erreurs grossières (voir encart technique).

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 radians 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 par 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 radians 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.

Dans Eznec, nous avons trois types de plan de sol (Ground Diagramme : QST W1ZR (Eznec V5) ¼ Vert monté au sol Type):

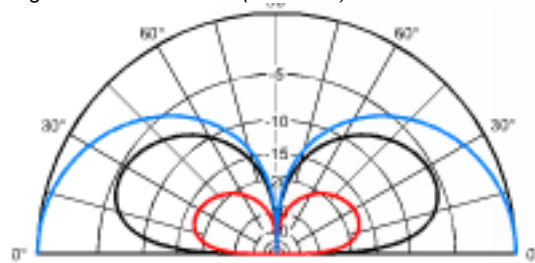
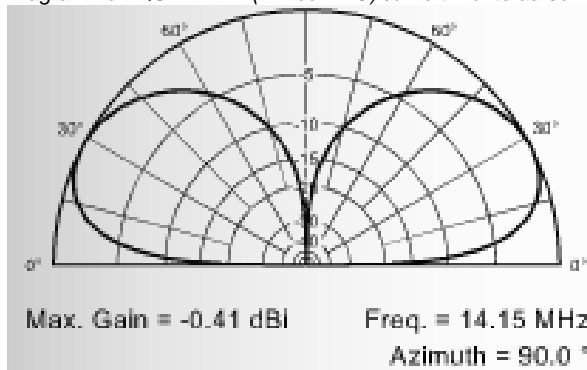
- Perfect => en bleu
- Real/High Accuracy => en rouge
- Real/Minimec => en noir

Mais lequel s'approche le plus de la réalité?

Nous allons le voir plus loin mais par défaut on se content de mettre une qualité moyenne.

Selon le constat de la variation possible des résultats (**15dB** !!!) dès lors, si l'on doit faire des comparaisons, il es donc plus que nécessaire de connaître les données introduites pour la modélisation de chaque cas.

Diagramme : QST W1ZR (Eznec PRO) ¼ Vert monté au sol.



Max. Gain = 5.03 dBi Freq. = 14.15 MHz
Azimuth = 90.0 °

La modélisation avec la qualité du sol

Real/Minimec est celle qui s'approche le plus de la réalité ...**mais pour une antenne Verticale** et l'on peu la comparer avec Eznec PRO, 16 radians enterrés juste sous le gazon.

Voilà pour une référence avec un sol moyen.

Dans la pratique, les radians n'ont pas besoin d'être résonnant. Il importe de faire une densification.

NB : Il y a lieu de spécifier aussi la bande car le résultat varie fonction de la bande – ex. : cas du 40m-

Puisque la littérature moderne (ON4UN, N6LF, K8UR) nous a instillé le bénéfice que l'on pouvait espérer avec des radians élevés, on se doit d'en écrire quelques mots.

Avec les radians élevés, il y a un **grand** changement,

Ils doivent être **résonnants à $\frac{1}{4}\lambda$** et disposés de préférence de façon symétrique (de 2 à 16) de façon à contribuer à un rayonnement omni directionnel.

-radiating equally poorly in all directions-

Egalement, un fait trop peu souvent mentionné, la relation harmonique entre le 28MHz et le 14MHz qui améliore légèrement le rendement et abaisse l'angle de rayonnement comme illustré sur la figure adjacente de $\frac{1}{4}\lambda$ 28Mhz mais, change l'impédance...

-beaucoup plus élevée-

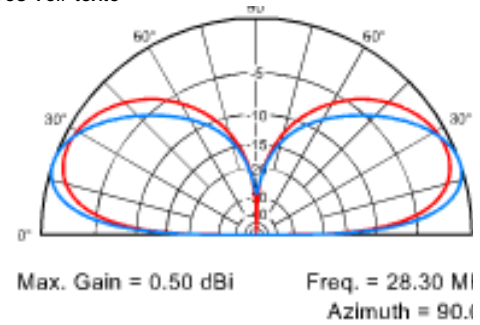
Donc, **lire** (ou **relire**) les comptes rendus des expérimentations de N6LF.

http://www.antennasbyn6lf.com/files/ground_parameter_measurements_2.pdf

<http://rudys.typepad.com/files/soil-measurements-at-n6lf.pdf>

Alors, pour une **antenne verticale**, suivant la recommandation ARRL, sélectionner **Real/Minimec** avec comme paramètre de sol moyen, la conductivité (σ -sigma) 0,005 **S/m** et la constante diélectrique (ϵ -epsilon) 13. Dans le cas d'une **antenne horizontale**, hé bien c'est tout différent -cool-

Diagramme : QST, W1ZR (Eznec PRO) $\frac{1}{4}$ Vert monté au sol. radians élevés-voir texte-



Le sol en question

Photos : F6BKD

Un sol mauvais

Vingt centimètres de terre et dix mètres de roche



Un sol exceptionnel

De la belle terre d'alluvion, plus de deux mètres d'épaisseur.



Un sol remblais

Sur lequel on construit souvent...



Un sol inclassable

Très faible couche de terre, belle épaisseur de rocher et mare d'eau douce... contaminée au purin !! Agriculture respectueuse,,



La qualité

Le sol HF est qualifié à l'aide de deux paramètres :

- La conductivité (σ -sigma) S/m
- La constante diélectrique (ϵ -epsilon) relative

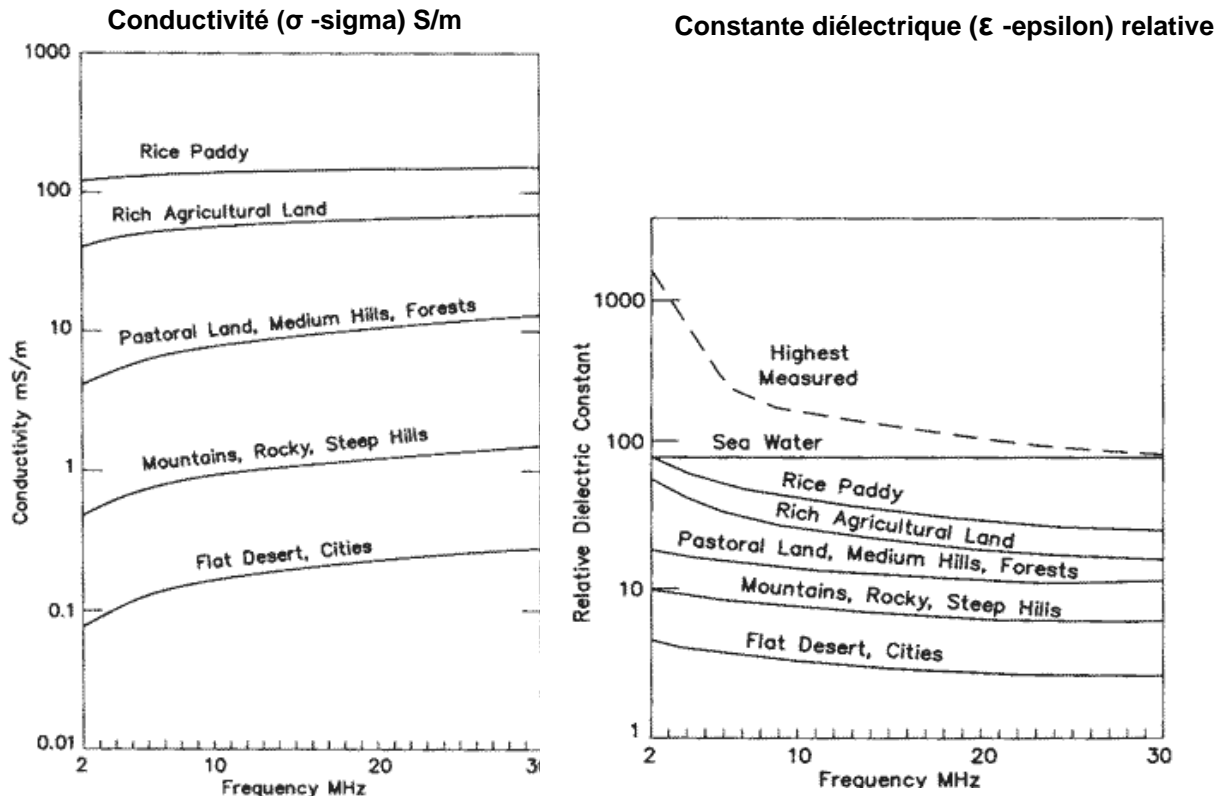
Depuis les satellites, ce n'est plus un problème que d'avoir des valeurs planétaire ;

[ITU World Atlas of Ground Conductivities](#)

Pour des valeurs locales, c'est plus difficile et pourtant, ce qui est **en dessous de un λ influence grandement l'efficacité.**

Autrement, l'industrie de la radio diffusion nous en a fourni les courbes qui offrent une excellente vue d'ensemble...de fait tout y est ou presque...mais pour ce qui est dans votre environnement radio électrique immédiat (de 0 environ 10 λ), la précision fait défaut et comme chacun le sait, tout est dans le détail !

Et dieu sait si le détail est changeant



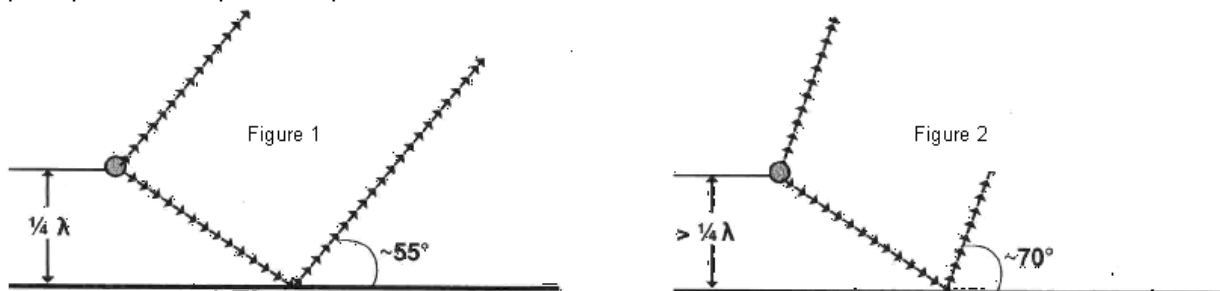
On constate que la pénétration de la HF dans le sol n'est pas une fonction linéaire.

Aux fréquences basses, il y a une meilleure pénétration HF ou autrement dit, plus la fréquence HF est basse, plus la pénétration de la HF est profonde. Si l'on rajoute le phénomène des différentes couches, la prévision de la qualité devient plus incertaine. De plus par exemple selon la saison, entre pluie diluviennes et période de sécheresse, quand ce n'est pas de la neige, on se rapproche de la boule de cristal. Quoique avec la neige on sait à quoi s'en tenir...puisque ça miroite bien !

Dès lors, la prévision de la performance prévisible d'une antenne verticale au sol (**G**round **P**lane) sera quelque peu difficile et le résultat entaché d'erreur.

Le schéma géométrique

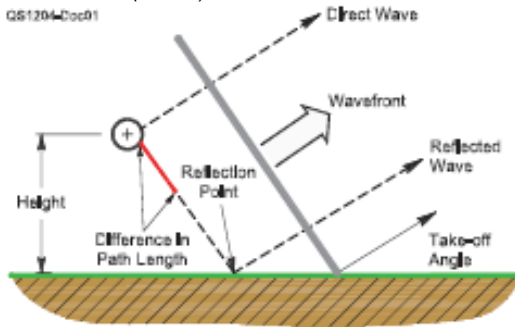
Le principe de base, pour une polarisation horizontale



Naturellement, vous l'aurez compris, c'est un schéma avec un sol supposé plat et sans ouvrage immobilier.

Les conséquences Avec le petit plus en couleur

Dessin : QST (W1ZR)



La longueur d'onde est un facteur important pour la combinaison de l'intensité de l'onde incidente et réfléchi elle ne détermine pas le point géométrique du point de réflexion qui obéi à la formule :

$$\tan \theta = H / D \text{ d'où l'on tire } D = H / \tan \theta$$

Soit comme exemple

Angle de départ °	Tan θ	Distance H = 15m
10°	0,176	87
5°	0,087	179

Dès lors, il y a peu d'élus à disposer d'un champ libre aussi important.

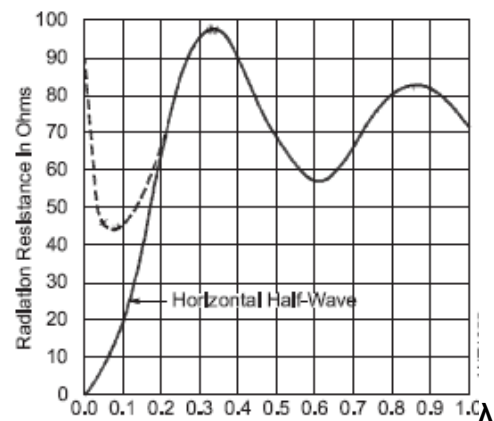
physiques

Sur notre dipôle, elles sont considérables avec de plus les interactions des différents facteurs :

- Le diagramme de rayonnement en élévation *principal objet de ce papier-*
- La résistance de rayonnement donnant lieu à la variation de l'impédance.
- La fréquence de résonance.
- Le Gain

Dessin : Antenna Hbook

— Trait plein= sol parfait. ----Pointillé= sol moyen



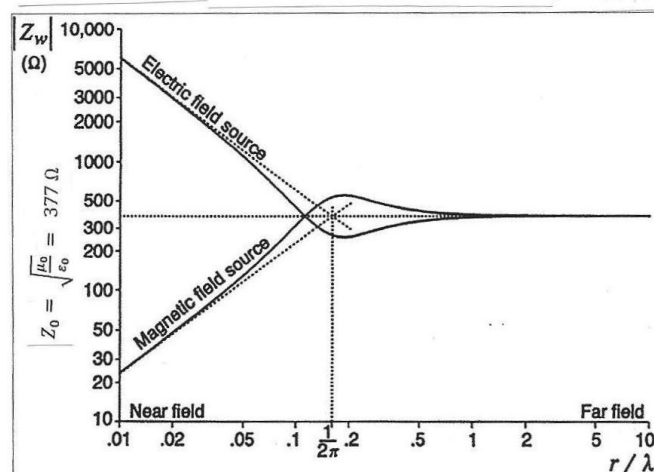
L'interaction

D'autre part, pour compliquer la chose, il y a lieu de distinguer le sol immédiat et le sol éloigné.

La variation de qualité se retrouvant aussi sur le champ immédiat et le champ éloigné (zone de Fresnel) qui concerne plus l'antenne horizontale pour la combinaison de l'onde incidente et de l'onde réfléchi par le sol.

Pseudo Brewster (1812) angle -le déphasage de 90° entre l'onde incidence et l'onde réfléchi-

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad D = \frac{\lambda}{2\pi} = 0.159\lambda$$

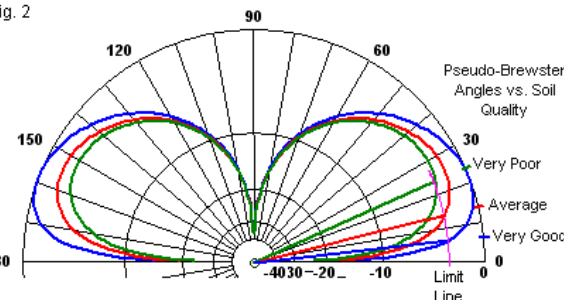


La distance théorique de combinaison des champs E & H de $\lambda / 2\pi$ soit **0.159 λ** d'où l'importance de la densification plan de sol en particulier pour le $\frac{1}{4}\lambda$ vertical soit pour la bande 40m, 20m X 6,35m = **127m2**. (80m => 255m2).

L'impédance du champ en espace libre (Z_0) est le rapport du champ électrique E sur le champ magnétique H ou bien encore dans un sol homogène la racine carré du rapport perméabilité (μ) sur permittivité (ϵ) ou encore la racine carrée du rapport L/C

Diagram :W4RNL

Fig. 2



Pseudo-Brewster Angle for a 1/4-Wavelength Ground-Mounted Monopole with 64 Buried Radials over 3 Levels of Ground/Soil Quality

La table

Celle-ci-dessous nous vient d'un passé plutôt récent,
 Ref : (Terman, 1939) Radio Engineering HBook

Type de sol	Conductivité (σ) S/m	Constante diélectrique (ϵ) (Permittivité)	Qualité relative
Eau de mer	5	81	Le meilleur
Eau douce	0.001	80	Ça trompe
Pâturages	0.03 – 0.01	14-20	Très bon
Plaine- forêt	0.0075	12	Moyen
Terrain agricole	0.005	13	Référence Modélisation
Collines (flancs)	0.006	13	Moyen
Plateau rocheux	0.002	10-14	Mauvais
Montagneux	0.002	10	Mauvais
Sableux	0.002	10	Mauvais
Agglomération	0.001	3-5	Mauvais
Industrialisé	0.001	2	Très mauvais

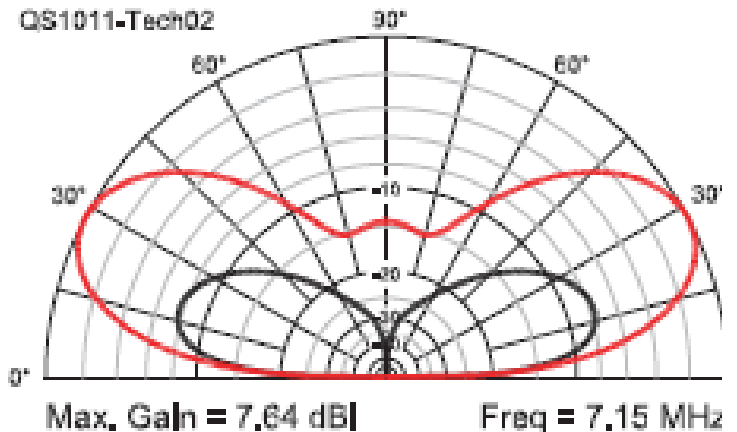
D'emblé, on comprend que l'on va d'un sol quasi transparent (et absorbant) à un sol miroir (et réfléchissant) et dès lors que si cette qualité du sol est passée sous silence –*malheureusement encore trop souvent le cas*- on peut arriver à des antennes fabuleuses.

Déjà, on peu dire que, plus les valeurs sont élevées, plus bas sera l'angle de départ.

Diagramme de rayonnement

Comme chacun le sais, en plaçant l'antenne au-dessus du sol, lequel fait plus ou moins miroir, et c selon la fréquence, ce ne sont pas seulement ses propriétés intrinsèques qui varient (f_0 , Z_0) mais le diagramme de rayonnement ainsi que le G .

Diagramme : QST (W1ZR)



Selon que l'on soit en position horizontale ou verticale, il va changer du tout au tout.

Il est bon de se remettre en **mémoire** ce diagramme.

Dipôle 40m (sol moyen), on pivote au point d'alimentation :

- En rouge, horizontal à 0,5 λ
- En noir, vertical avec centre à 0,5 λ

- Le dipôle horizontal

Le champ E est parallèle au sol ce qui procure un Gain additionnel selon les réflexions constructives (ou destructrices) dépendant de la hauteur au dessus du sol HF.

Le lobe de rayonnement principal en élévation en est très affecté.

Ref : Modélisation Ezneq® dipôle en espace libre, 2,12dBi

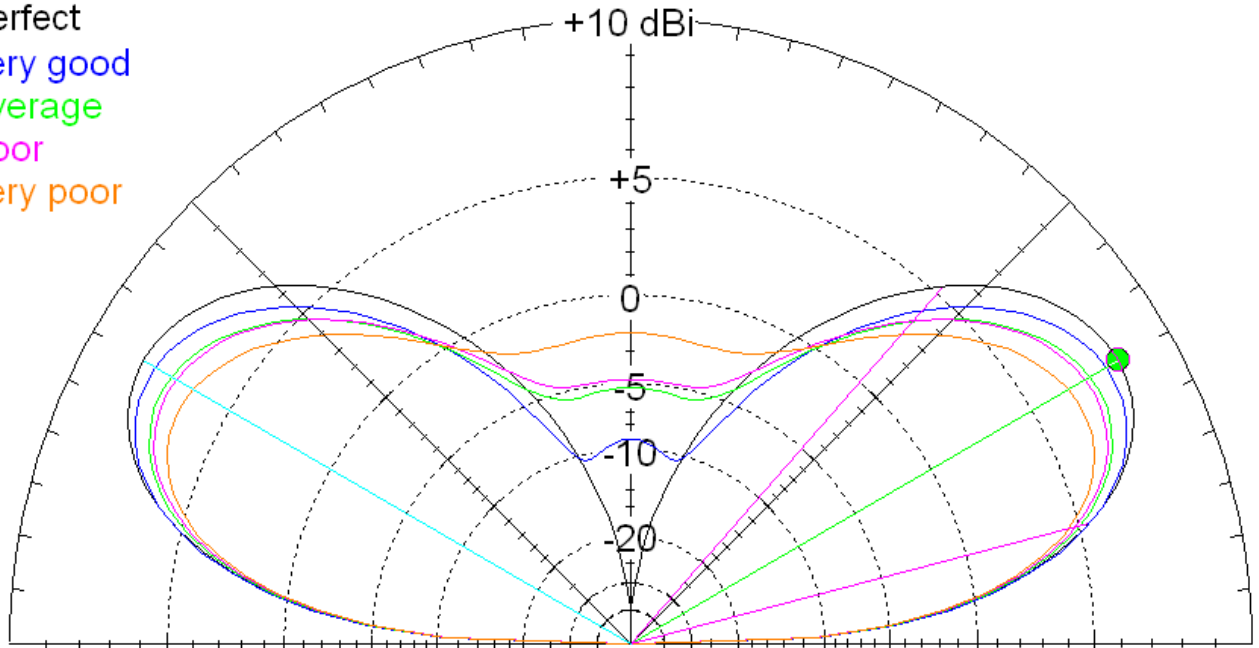
Hauteur sol	Sol mauvais	Sol moyen	Sol excellent
	dBi/deg	dBi/deg	dBi/deg
0,50 λ	6,43/27	7,18/28	8,34/30
0,75 λ			
1,00 λ	7,56/14	7,58/14	7,83/14
1,25 λ			
1,50 λ			
1,75 λ			
2,00 λ			

Donc, en récapitulation -ON5AU (entre autre) l'a fait pour nous- à une hauteur de $0,50\lambda$ (favorable au DX)

Total Field

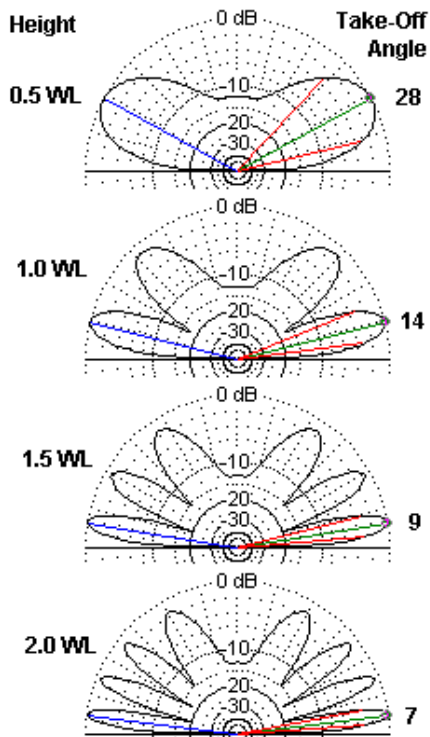
EZNEC+

perfect
 very good
 average
 poor
 very poor



Donc influence assez limité, nous sommes dans les presque **3dB**

Diagram : W4RNL



En partant d'un sol moyen, la variation de l'angle de départ.

Le champ **E** est parallèle au sol ce qui procure un **Gain** additionnel et selon les réflexions constructives (ou destructives), l'angle de rayonnement principal en élévation ϵ très affecté.

Un esprit avisé en aura déduit qu'un sol procure un **G** additior de l'ordre de **6dB** en théorie du moins car en réalité intervient l'environnement qui dans la plupart des cas diminue le coefficient de réflexion et dès lors on fait intervenir la notion de fouillis végétal ou de fouillis urbain.

Pour s'en affranchir autant que faire ce peut, il faudrait en être un $0,50\lambda$ au dessus...ce qui selon la bande fera haut, voire très haut.

De plus à chaque hauteur multiple de demi onde, il y à créatio d'un nouveau lobe de rayonnement.

Donc, comme 2.0λ c'est 4 fois $0,50\lambda$, nous aurons donc 4 lobes.

- La yagi

Les paramètres d'influence qui agissent sur le dipôle sont bien évidemment présents avec de plus, un effet plus marqué sur le **Gain** vu l'élément (ou les éléments) additionnel.
 Une caractéristique particulière, par rapport au dipôle, le simple élément supplémentaire (réflecteur ou directeur) permet l'abaissement du lobe de rayonnement pour autant que l'on reste en dessous de $0,75 \lambda$ de hauteur au dessus du sol. Rajouter cet élément s'avère toujours un bon investissement.
 Ce lobe secondaire (ou ces) n'est bien évidemment pas ce que l'on recherche pour les liaisons DX et pour le minimiser, la solution passe par le couplage vertical de deux antennes horizontales *-stacking-*.

Ref : Modélisation Eznec® Yagi 3él optimisée, en espace libre, 8,1dBi

Hauteur sol	Sol mauvais dBi/deg	Sol moyen dBi/deg	Sol excellent dBi/deg
0,50λ	11,7/24	12,3/25	12,8/26
0,75λ	12,6/17	13,1/18	13,4/18
1,00λ	13,0/13	13,4/14	13,7/14
1,25λ	13,2/11	13,6/11	13,8/11
1,50λ	13,4/9	13,7/9	13,9/9
1,75λ	13,5/8	13,7/8	13,9/8
2,00λ	13,6/7	13,8/9	14,0/7

Donc pas vraiment déterminant, pour une hauteur donnée, l'angle de départ n'est quasiment pas affecté par la qualité du sol et le **Gain** reste dans le **dB**.

Un esprit avisé en aura déduit qu'un sol procure un **G** additionnel de l'ordre de **6dB** en théorie du moins car en réalité intervient l'environnement qui dans la plupart des cas diminue le coefficient de réflexion et dès lors on fait intervenir la notion de fouillis végétal ou de fouillis urbain.

Pour s'en affranchir autant que faire ce peut, il faudra en être un $0,50\lambda$ au dessus...ce qui selon la bande fera haut, voire très haut.

Donc, comme dans le cas du dipôle, comme nous sommes polarisation horizontale, à chaque hauteur multiple de demi onde, on retrouve la création d'un nouveau lobe de rayonnement.

En suivant la même règle, on retrouve le 4^{ème} lobe ce qui a pour conséquence de les rendre aussi plus étroits, dès lors a aussi déplacement des zones « sourdes » où l'on trouve même de l'atténuation.

Imaginez si c'est justement à l'angle d'arrivée de la propagation du moment...d'où un certain intérêt de pouvoir varier la hauteur de l'antenne au-dessus du sol pour l'adapter à la propagation du moment.

Yagi trop haute est ce possible ? Mais que oui !!!

- Le dipôle vertical

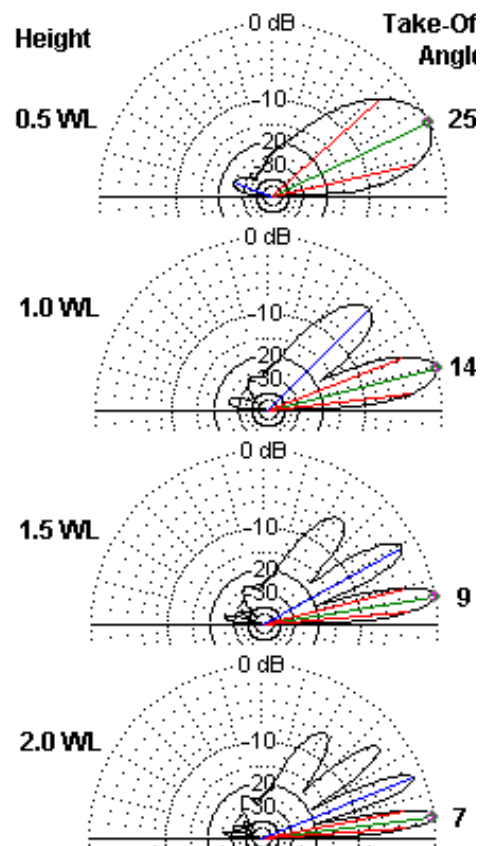
Oui, car nous allons laisser de côté (pour l'instant) le quart d'onde vertical vu qu'il y a tellement de variables qui entrent en ligne de compte pour qu'une présentation succincte soit juste.

En effet l'interaction du quart d'onde vertical & du **GND** est beaucoup plus complexe.

Dans ce cas, le champ **E** est perpendiculaire au sol et le **G** additionnel a quasiment disparu... dommage. C'est un aspect bien souvent perdu de vue ou tout au moins passé sous silence.

Par contre, contrairement à une croissance populaire, l'angle de rayonnement en élévation est affecté, voire très affecté, surtout à faible hauteur.

Diagram : W4RNL



Ref : Modélisation Eznec® Dipôle vertical en espace libre, 2,12dBi

Hauteur sol	Sol mauvais dBi/deg	Sol moyen dBi/deg	Sol excellent dBi/deg
0,50λ	1,8/18	0,2/18	2,13/15
0,75λ	3,0/14	0,8/12	
1,00λ	3,5/12	2,0/11	
1,25λ	4,3/9	2,9/10	
1,50λ	5,1/8	3,7/9	
1,75λ	5,5/7	4,1/8	
2,00λ	5,7/6	4,5/7	

Donc, chose curieuse, - c'est même une révélation- un mauvais sol est légèrement plus favorable –les bizarreries de la terre- du moins à faible hauteur.

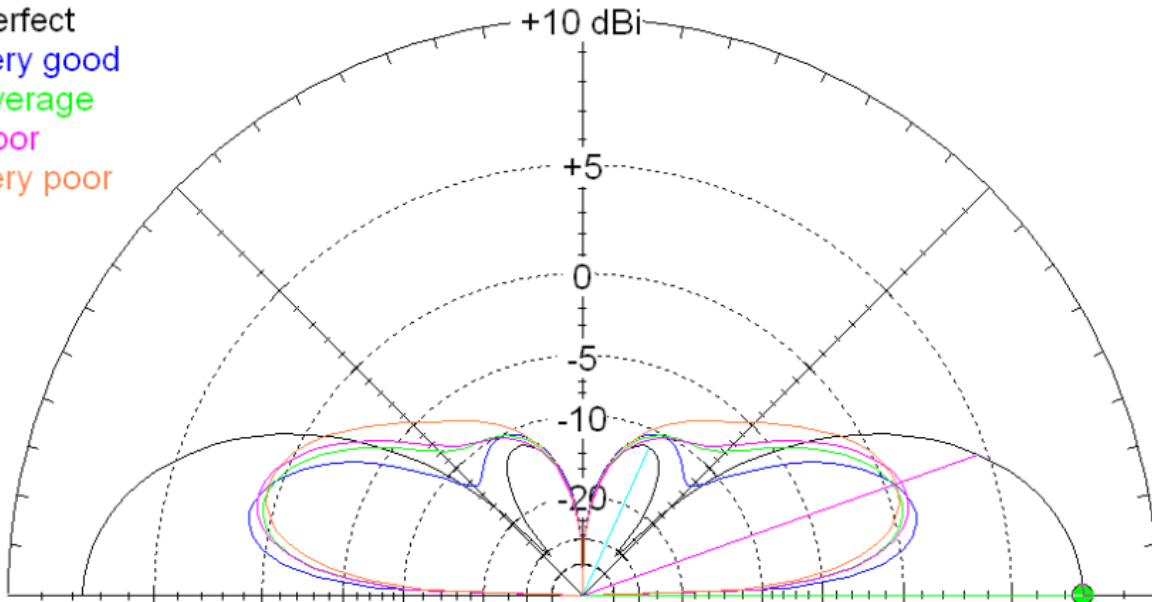
- Le dipôle vertical, diagramme d'élévation

La qualité du sol n'a qu'une petite influence. Pour s'en convaincre visuellement, ci-dessous une modélisation d'un cas avec le dipôle vertical dont l'extrémité est à 1/16 de λ du sol (ON5AU)

Total Field

EZNEC+

perfect
very good
average
poor
very poor

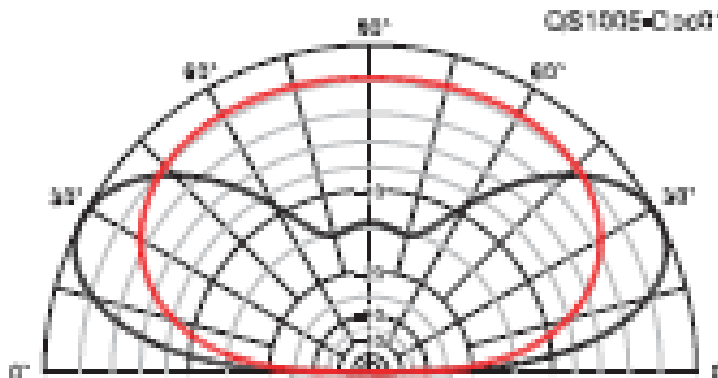


Pour gagner +1dB, il faudra passer à une hauteur de 5/8...

Rappel : La perfection n'est pas de ce monde et le sol parfait n'existe pas. Ce qui s'en approche le plus est l'étendue d'eau salée – le bord de mer est insuffisant...surtout coté terre-

Un résumé pour la route le dipôle, entre le quart et le demi.

Diagramme : QST (W1ZR)



Max. Gain ■ 7,54 dBi

Freq. ■ 7,15 MHz

Diagramme en élévation d'un dipôle au-dessus d'un sol moyen :

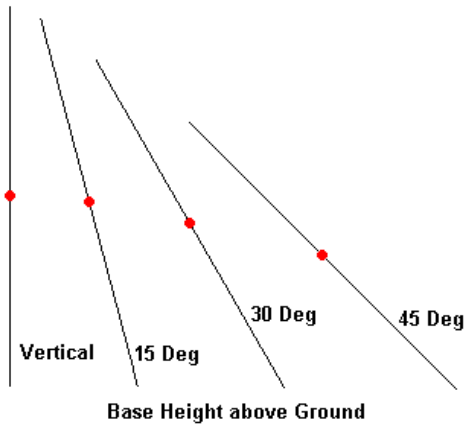
- En rouge à ¼ λ pour du local ou encore NVIS -l'eau tiède re-inventé-
- En noir à ½ λ pour du DX.

- Le dipôle incliné « slopper »

On pourrait penser que l'on aura quelques chose entre deux –comme le rosé de bistrot ?- un peu de **H** avec beaucoup de **V** ou bien beaucoup de **H** avec un peu de **V** – Quelles variantes de couleurs- Hé bien que nenni !

C'est une science à part entière –comme le rosé du vigneron et pas celui de la CEE !

Diagramme : ON5AU



Non seulement l'angle avec le sol est un facteur prépondérant mais la qualité du sol s'invite vraiment comme variable principale du **Av/Ar** et le résultat est pour le moins complexe.

Oui, car fait nouveau, il y a un effet directif, certes plus ou moins marqué selon l'angle formé avec le sol, mais avec sa qualité...et pour parachever le tout, le support, s'il est métallique s'invite.

Il va, par effet de couplage mutuel modifier non seulement l'impédance mais accentuer une certaine directivité (avec du **G**) tant et si bien que cela devient le facteur majeur.

Ref : Modélisation Eznec® Dipôle vertical en espace libre, 0,1dBi

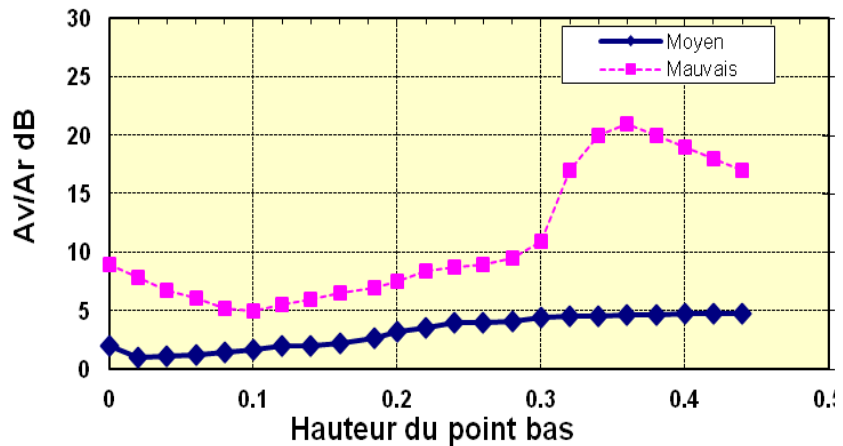
Dipôle Slopper 45° (F6BKD)

Donc quasiment rien à gagner avec la hauteur au dessus du sol mais ce que le tableau ne montre pas c'est la variation du **Av/Ar** au vu d'une prééminence de l'influence de la qualité du sol !

Surprise

On pourrait penser qu'avec un bon sol, le **Av/Ar** serait au mieux – c'est nenni- le graphique met bien en évidence cette, à priori, quasi anomalie.

Alors, c'est ci-joint et donne une idée de la méticulosité à apporter au réglage final.



Le dipôle incliné (en slopper) est donc une configuration complexe

et

Le quart d'onde en slopper encore plus car le support et/ou le coaxial intervient considérablement..

Notes :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

En espérant avoir suscité quelques réflexions constructives, **à suivre**
Cordialement---Bernard---F6BKD---

Bibliographie : Radio Engineering H, Antenna Book, FA, DL1GLH, DA1TW, DL1GLH, ON5AU, OE5CWL, W4RNL, N6LF, F5NB, F5MMB.