

ADREF-13

Les antennes en espace restreint



Le menu du jour

- 1) Présentation de l'exposé.
Rappel des principales généralités sur les ondes électromagnétiques.
- 2) Les antennes dans la pratique.
Impédances caractéristiques.
Les lignes d'alimentation.
Le ROS et le TOS.
Les pièges du contrôle.
- 4) L'antenne en émission et réception.
Les idées reçues et autres fausses vérités.
La notion de puissance.
Dissymétrie d'une liaison.
- 5) Quelle antenne pouvons-nous utiliser.
Les antennes les plus connues.
- 6) Que puis-je faire chez moi.
Les logiciels d'aides à la conception.
- 7) L'environnement du radioamateur.
L'antenne dans un appartement.
L'antenne sur le toit.
L'antenne dans le jardin.
L'antenne sur le balcon.
- 8) Les résultats dans la pratique.
Discussions autour de nos expériences.

Un peu de théorie

Dans la première partie de cet exposé , nous allons revoir les principales caractéristiques d'une antenne et des généralités sur les ondes électromagnétique.

La théorie simplifiée de l'antenne

La longueur d'onde

Qu'est-ce qu'une antenne

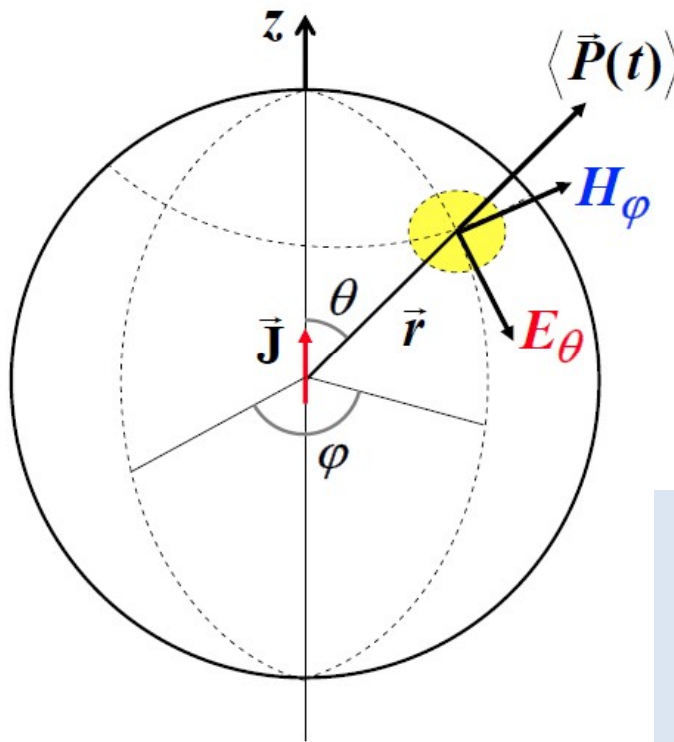
L'impédances d'une antenne

Le circuit résonnant

Equivalence d'une antenne et sa représentation



Généralités sur les ondes électromagnétique

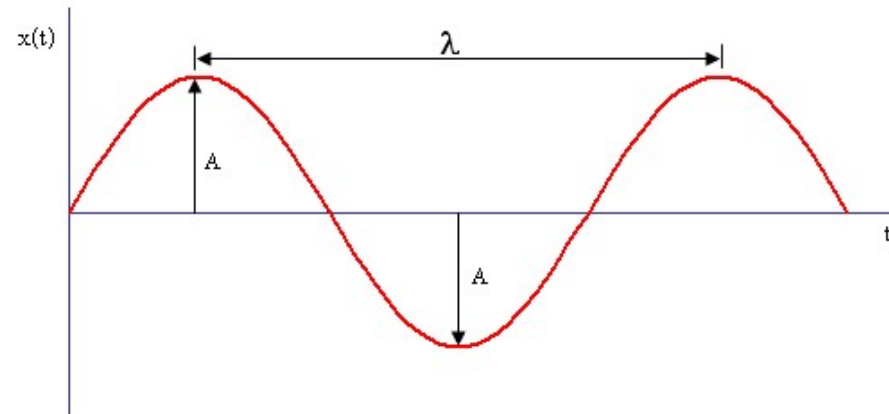


$$p_s = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e} / S = \mathbf{P} \cdot \mathbf{e} / 4\pi d^2$$

E = CHAMP ELECTRIQUE en volt/mètre
 H = CHAMP MAGNETIQUE en ampère/mètre
 ϵ = PERMITIVITE DU VIDE $[1 \div 36\pi * 10^{-9}]$
 μ = PERMEABILITE DU VIDE $4\pi * 10^{-7}$
 C = CELERITE = $3 * 10^8$ en mètre/s
 $\omega = 2\pi F$
 $\lambda = C \div F$

La longueur d'onde

La **longueur d'onde** est une grandeur physique caractéristique d'une onde monochromatique dans un milieu homogène, définie comme la distance séparant deux maxima consécutifs de l'amplitude

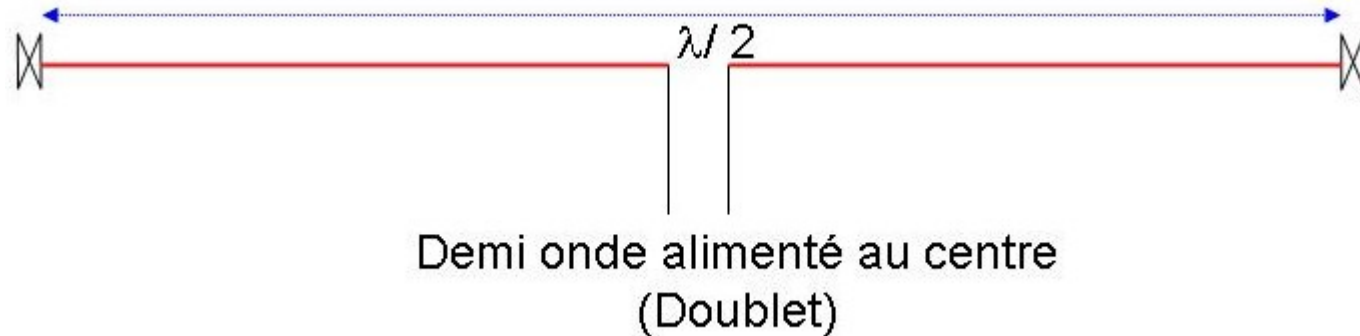


La longueur d'onde est liée à la fréquence
 $\lambda = C / F = 300 / F(\text{Mhz})$

La pulsation:

Il s'agit généralement d'une fréquence temporelle **f**, reliée à la période **T** (exprimée en s) du phénomène observé par la formule suivante : **$f = 1/T$** .

Dimension d'une antenne



$$L = \lambda / 2 = (C / 2F) \cdot k$$

λ = Longueur d'onde

L= longueur du dipôle

C= célérité

F = fréquence

K= coefficient de vélocité

Caractéristique, directivité et gain

L'onde plane est caractérisée par sa densité de puissance et son impédance.

Son module $|E| \cdot |H| = V/m \cdot A/m = P \text{ watts/m}^2$

Son impédance $E/H = 120\pi = 377 \text{ ohms}$

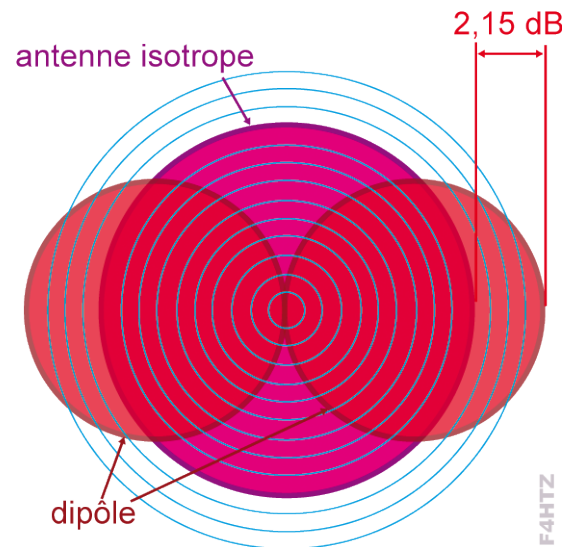
La directivité d'une antenne, c'est sa capacité à concentrer l'énergie rayonnée.

L'antenne isotrope répartie l'énergie uniformément sur une sphère.

L'antenne doublet génère un diagramme de rayonnement ressemblant à une pomme.

$\text{GAIN} = \text{DIRECTIVITE} \times \text{RENDEMENT}$

Le gain doit être indiqué en dBi ou en dBd



Qu'est-ce qu'une antenne

En radioélectricité, une antenne est un dispositif permettant de rayonner ou de capter les ondes électromagnétiques.

L'antenne **convertit le signal électrique en ondes électromagnétiques et le transmet.**

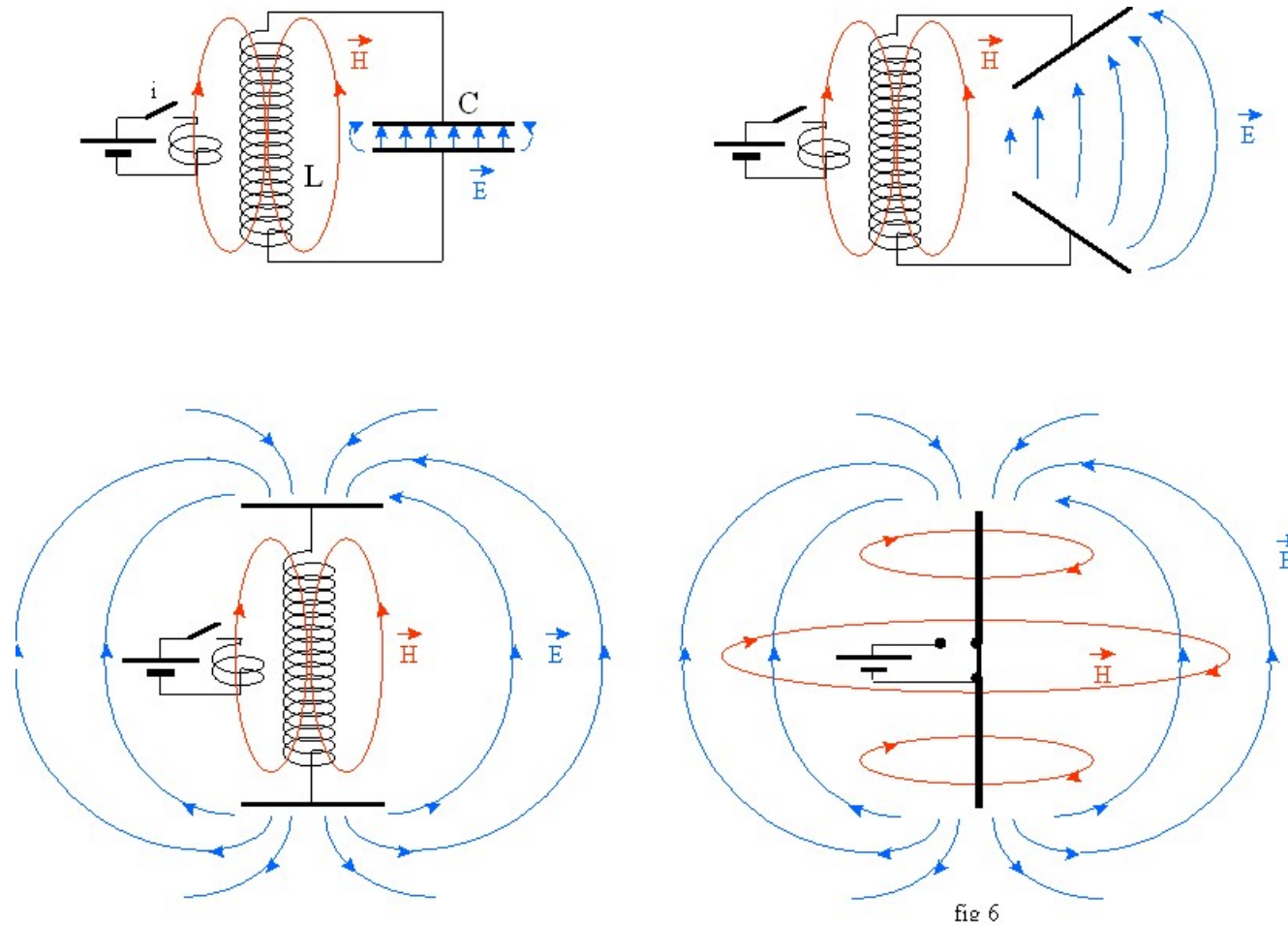
L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques de rendement, gain, diagramme de rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée du système.

L'antenne est un **dipôle électrique** plus ou moins complexe situé en espace libre et qui se comporte comme un circuit résonant.

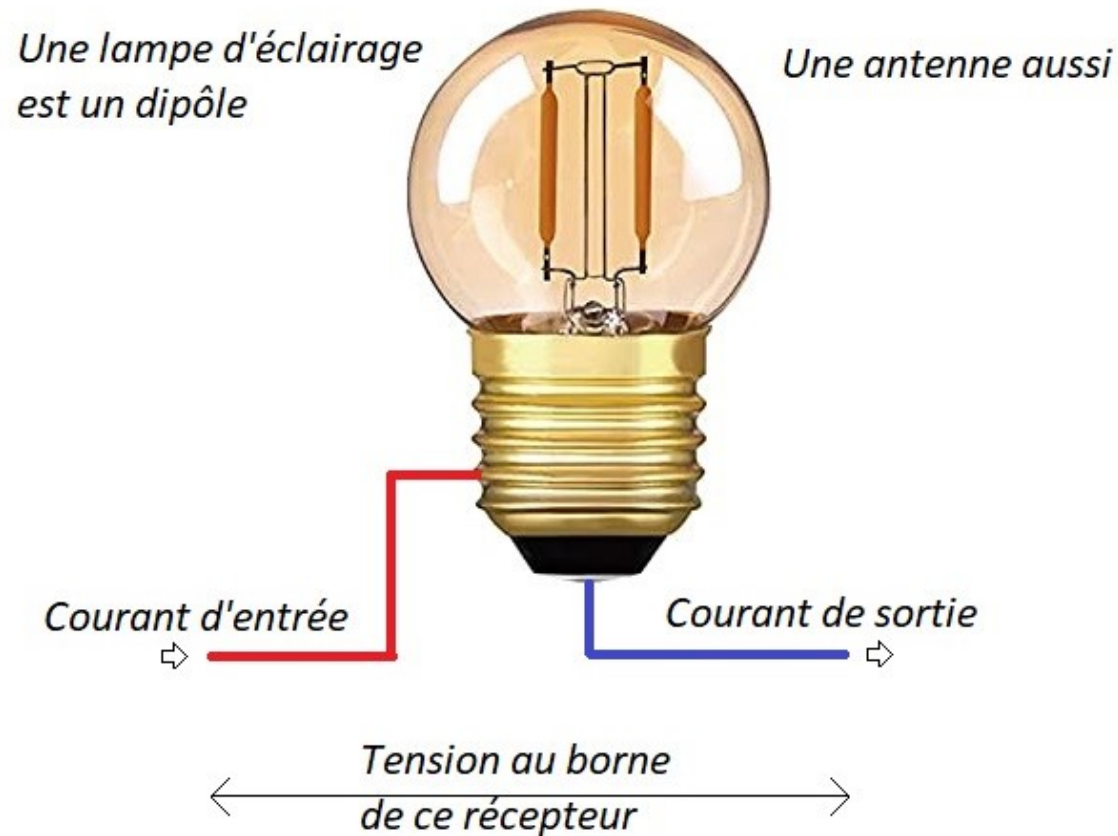
Son gain et son impédance dépendent de sa forme caractéristique.



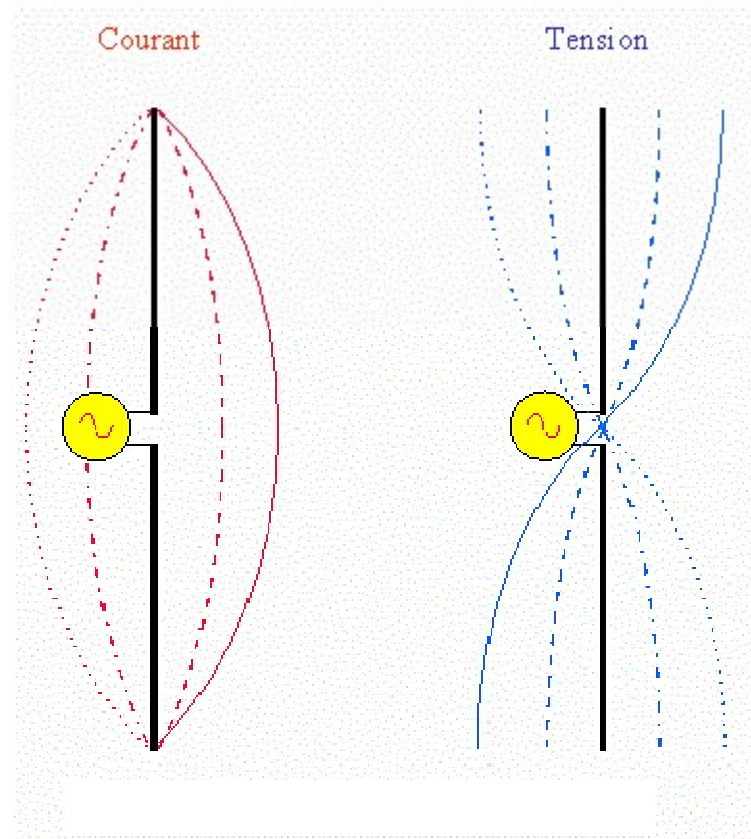
Une antenne est un circuit résonnant



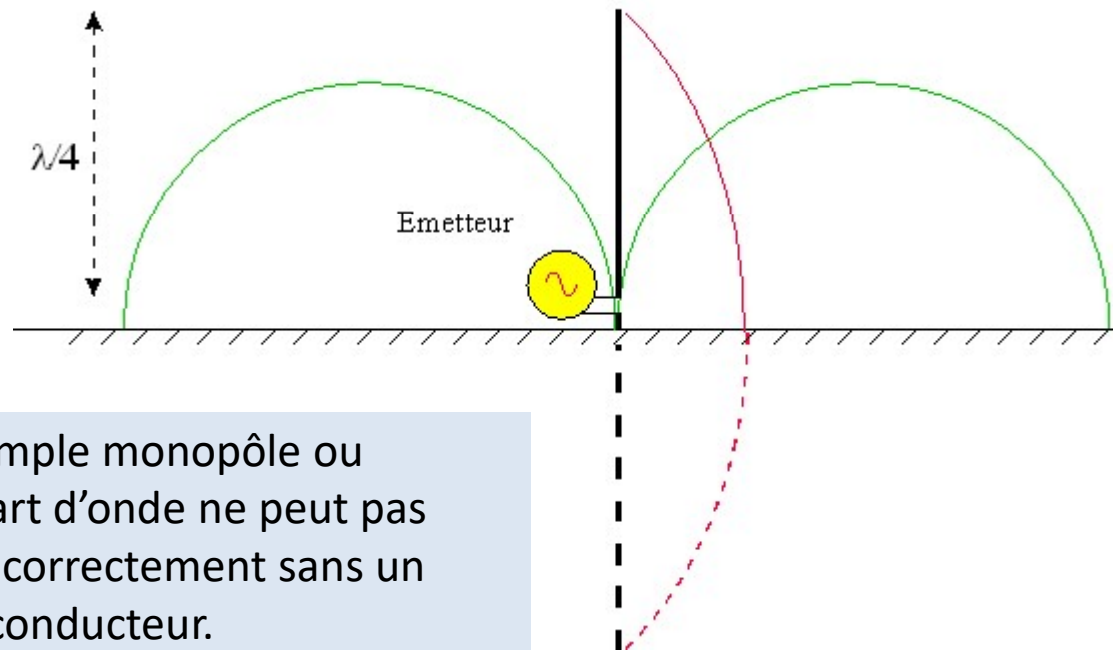
L'équivalence d'une antenne



Représentation d'un dipôle



Représentation d'un monopôle



Même un simple monopôle ou antenne quart d'onde ne peut pas fonctionner correctement sans un plan de sol conducteur.

L'impédance d'une antenne

D'un point de vue général, l'impédance mesurée au point d'alimentation d'une antenne, au centre d'un dipôle ou à la base d'une verticale s'exprime sous la forme

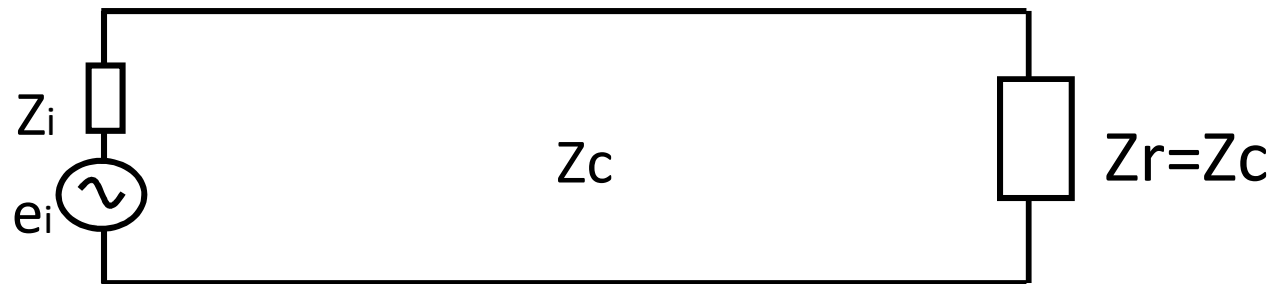
$$Z = R + jX$$

Où R représente la partie résistive et X la composante réactive.

$$\text{En fait } R = R_r + R_p$$

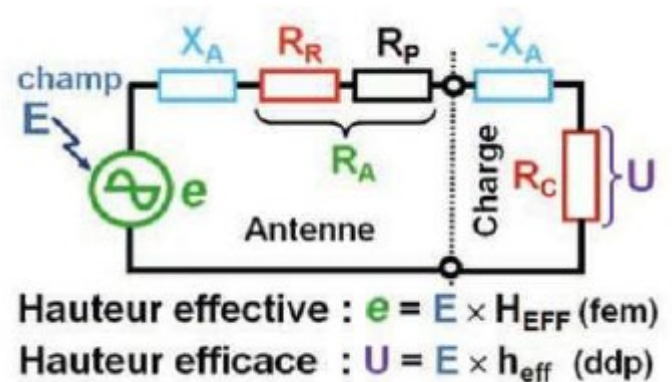
Le rendement s'exprime alors :

$$\rho = R_r / (R_r + R_p)$$



Hauteur effective et hauteur efficace d'une antenne

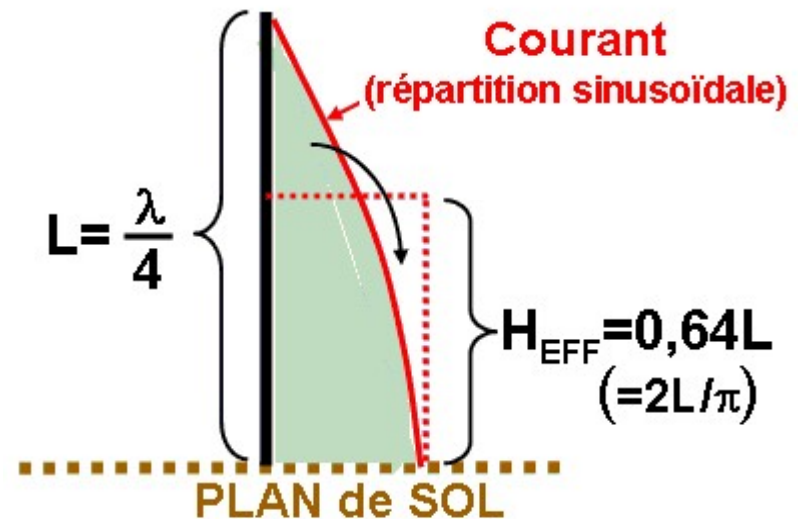
- Alors que la hauteur effective caractérise physiquement une antenne, aussi bien en émission qu'en réception.
- La hauteur efficace caractérise l'adaptation de l'antenne à la réception.



Hauteur effective d'une antenne

C'est la hauteur de
la **moyenne géométrique**
des capacités réparties

$$2H/\pi = 0,64$$



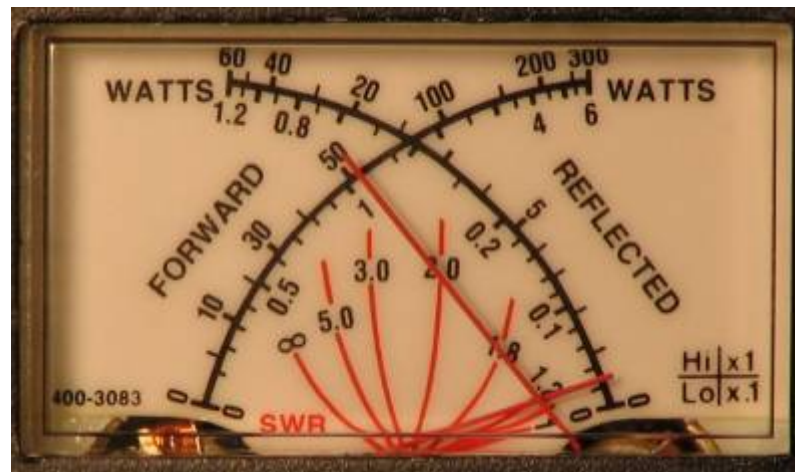
Les antennes dans la pratique

Les caractéristiques liées à leur forme.

Les lignes, le ROS et le TOS.

L'adaptation des impédances.

Les pièges du contrôle.



Impédances caractéristiques

L'impédance caractéristique d'une antenne ground-plane est de 50 ohms

L'antenne plan de sol ou 1/4 d'onde présente une impédance de 36 ohms

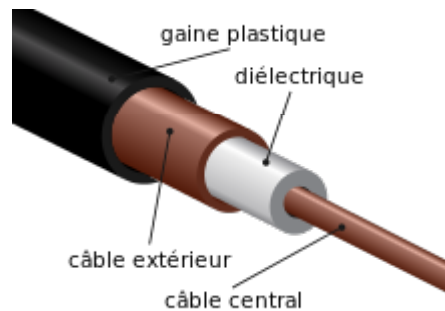


L'antenne trombone présente une impédance de 300 ohms. l'adaptation à 50 ohms se fait par une ligne 1/4 d'onde en 75 ohms

Les lignes

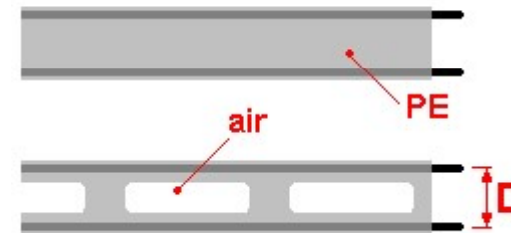
Ce n'est pas le premier élément auquel on pense pour équiper sa station. Il a pourtant sa place dans ce domaine. La ligne de transmission est le câble permettant de relier le poste à l'antenne.

Le câble coaxial



$$Z_{coaxial} = 140 \log \frac{D}{d}$$

La ligne bifilaire



$$Z_{bifilaire} = 276 \log \frac{D}{r}$$

Le coefficient de vélocité varie de 0,6 à 0,97 suivant le type de ligne utilisé et le diélectrique utilisé

Quel câble ou ligne utiliser

Type de câble	Z	Affaiblissement à 30 Mhz	Remarque	C. Vel.
RG 58U	50 Ω	10,9 dB/100m	Simple tresse, HF, VHF.	0,66
RG223	50 Ω	10,9 dB/100m	Double tresse, HF,VHF,UHF	0,66
RG213	50 Ω	3,2 dB/100m	Simple tresse, HF, VHF.	0,66
RG214	50 Ω	4,9 dB/100m	Double tresse, HF,VHF,UHF	0,66
LMR400	50 Ω	0,16 dB/m à 900Mhz	Isolant mousse	0,80
TWIN LEAD	300 Ω	Très faible perte	Largeur 10mm / Ouvertures 5mm	0,90
TWIN LEAD	450 Ω	Très faible perte	Largeur 23mm / Ouvertures 15mm	0,92
Echelle à grenouille	>600 Ω	Très faible perte	Une dizaine de cm d'espacement	0,97

Le ROS et le TOS

TOS = C'est le taux d'ondes stationnaires exprimé en % entre la puissance réfléchie et la puissance émise.

$$TOS = 100 \sqrt{\frac{P_{\text{réfléchiée}}}{P_{\text{émise}}}}$$

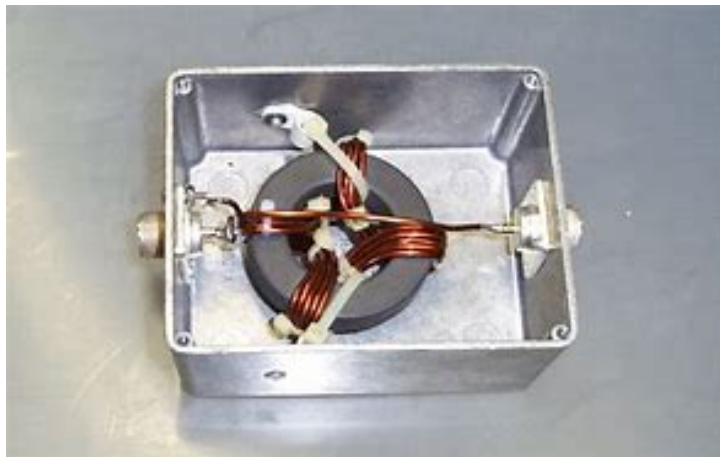
ROS = C'est le rapport d'ondes stationnaires entre la puissance émise et la puissance réfléchie

$$ROS = \frac{100 + TOS}{100 - TOS}$$

Nous lisons aussi dans la littérature anglo-saxon le **SWR** ou **VSWR** qui signifie ***Standing Wave Ratio*** ou ***Voltage Standing Wave Ratio***

Adaptation d'impédance

- L'adaptation d'impédance peut se faire de plusieurs façons.
 - _ Un transformateur symétriseur adapte au mieux les impédances dans le cas d'une antenne multi-bande.
 - _ Une boîte de couplage compensera au mieux les désadaptations.
 - _ Une ligne $\frac{1}{4}$ d'onde d'adaptation pour une antenne mono-bande.



Ligne d'adaptation quart d'onde

- Nous voulons adapter une ligne 75 ohms à une antenne présentant une impédance de 300 ohms à une fréquence de 14,200 Mhz.
- Calculons l'impédance de la ligne quart d'onde d'adaptation.

$$Z = \sqrt{Z_C \times Z_L}$$

$$Z = \sqrt{300 \times 75} = 150 \text{ ohms}$$

Calcul de la longueur d'onde physique:

$$\lambda = 300 / 14,2 = 21,13 \text{ m}$$

Calcul de la longueur électrique si le coefficient de vélocité est 0,66

$$L = 21,13 \times 0,66 = 13,94 \text{ m}$$

$$\text{Longueur du quart d'onde électrique : } 13,94 / 4 = 3.49 \text{ m}$$

Cette solution n'est pas toujours simple à mettre en œuvre et doit être réservée qu'aux antennes mono-bande ou aux multi-bandes en harmoniques impaires.

Les pièges du contrôle



Le TOS-mètre dit ce qu'il voit à l'endroit où il est.
Il ne dit pas toujours la vérité.

L'émission et la réception en milieu restreint

*« Ce que j'envoie est gros comme une montagne,
ce que j'ai besoin est petit comme un caillou »*

En milieu restreint, l'antenne ne fournit pas la meilleure performance mais permet de bon QSO.

J'entends une station « S5 » mais celle-ci ne me répond pas.

Que ce passe-t-il.

- a) Il est possible qu'il ne m'entende pas.
- b) Il ne veut pas me répondre car mon signal est reçu dans le bruit.
- c) Il cherche à contacter d'autres contrées.

Affaiblissement dans l'espace libre

Entre l'antenne d'émission et celle de réception, le signal subit une atténuation.

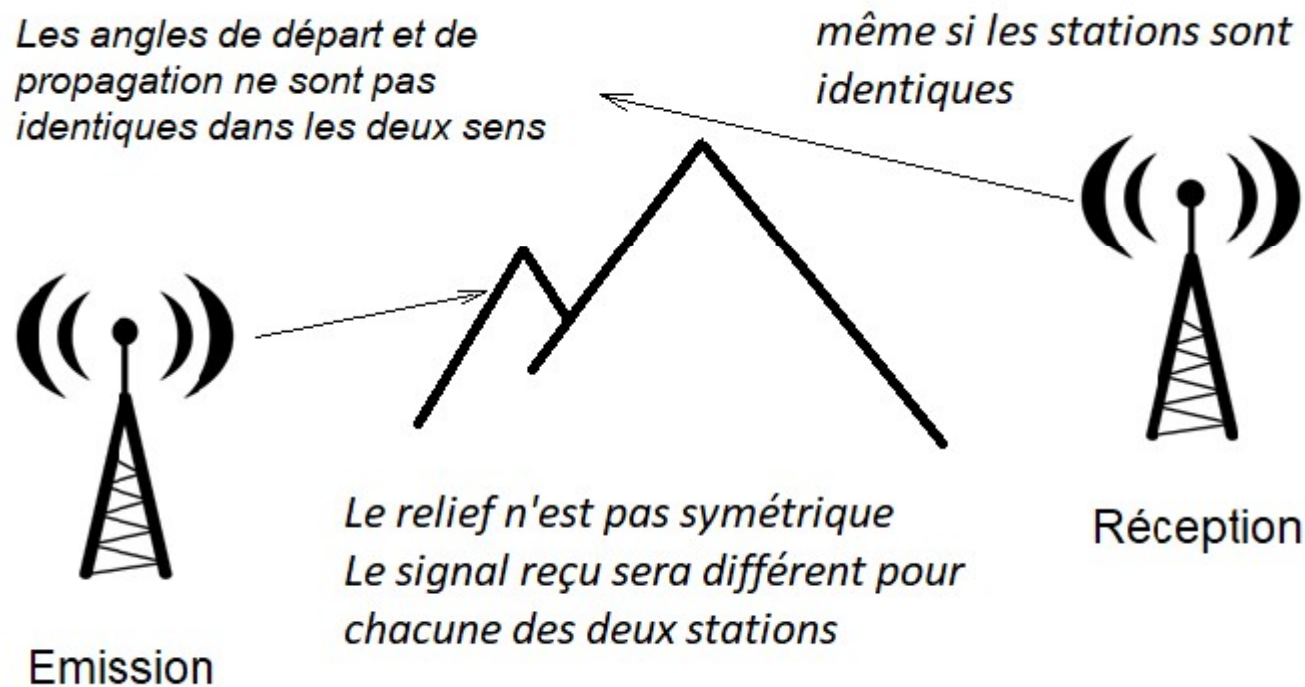
Cette atténuation est donné par l'équation des télécommunications, ou encore ***équation de Friis*** :

$$P_R = \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot distance} \right)^2 \cdot P_E \cdot G_E \cdot G_R$$

Généralement, on utilise la version en décibels de cette formule :

$$(P_R)_{dBm} = (P_E)_{dBm} - 22 - 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{distance}{\lambda} \right) + (G_E)_{dBi} + (G_R)_{dBi}$$

Dissymétrie d'une liaison



Notion de puissance

- L'affaiblissement dans l'espace libre d'une liaison est la différence entre la puissance émise et la puissance reçue. Elle est équivalente au « Bilan de liaison ».
- La dynamique d'une liaison est la différence entre la puissance reçue et le minimum de signal utile détectable par le récepteur augmenté de la réserve de puissance de l'émetteur et qui représente la marge de fonctionnement.

dBm :	dBμV :	Puissance :	Tension sur 50Ω
-120 dBm	-13 dB μ V	0,001 pW	0,224 μ V
-107 dBm	0 dB μ V	0,02 pW	1 μ V
-87 dBm	20 dB μ V	2 pW	10 μ V
-73dBm	34 dB μ V	50 pW	50 μ V
0 dBm	107 dB μ V	1 mW	223,6 mV
50 dBm	157 dB μ V	100 W	70,71 V

Le point S et le signal d'entrée

Indication du Vu-mètre	Valeur du signal d'entrée	Puissance du signal (dBm)
S9	50 μ V	-73 dBm
S8	25 μ V	-79 dBm
S7	12,5 μ V	-85 dBm
S6	6,3 μ V	-91 dBm
S5	3,15 μ V	-97 dBm
S4	1,6 μ V	-103 dBm
S3	0,8 μ V	-109 dBm
S2	0,4 μ V	-115 dBm
S1	0,2 μ V	-121 dBm

Le bruit perçu à la réception ne représente pas le niveau du signal d'entrée au récepteur mais le bruit propre du récepteur auquel s'ajoute le QRM local quant celui-ci devient gênant.

Les antennes les plus connues

- L'antenne CENTER FED
- L'antenne Long Fil ou Demi-onde
- L'antenne WINDOM
- L'antenne à charge terminale TTFD ou T2FD
- L'antenne à trappes W3HH
- L'antenne COBWEBB
- L'antenne GAP
- L'antenne magnétique ou cadre accordée

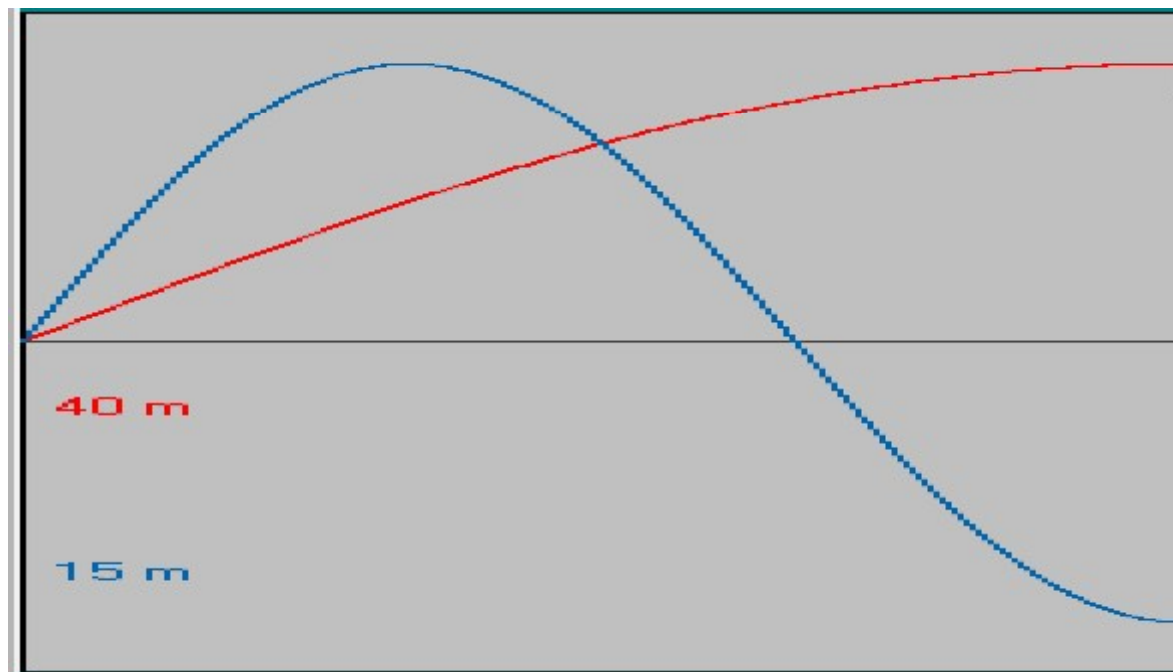
L'antenne CENTER FED

- Une antenne Center Fed ou Levy sera très performante surtout sur **40m et 15m** ou **20m et 6m**. La boîte d'accord est indispensable avec une antenne Levy
- Il est possible d'utiliser une demi G5RV de **40m à 6m**. Mais elle ne sera pas très performante, sauf pour le **10m**. Là aussi, la boîte d'accord est indispensable.

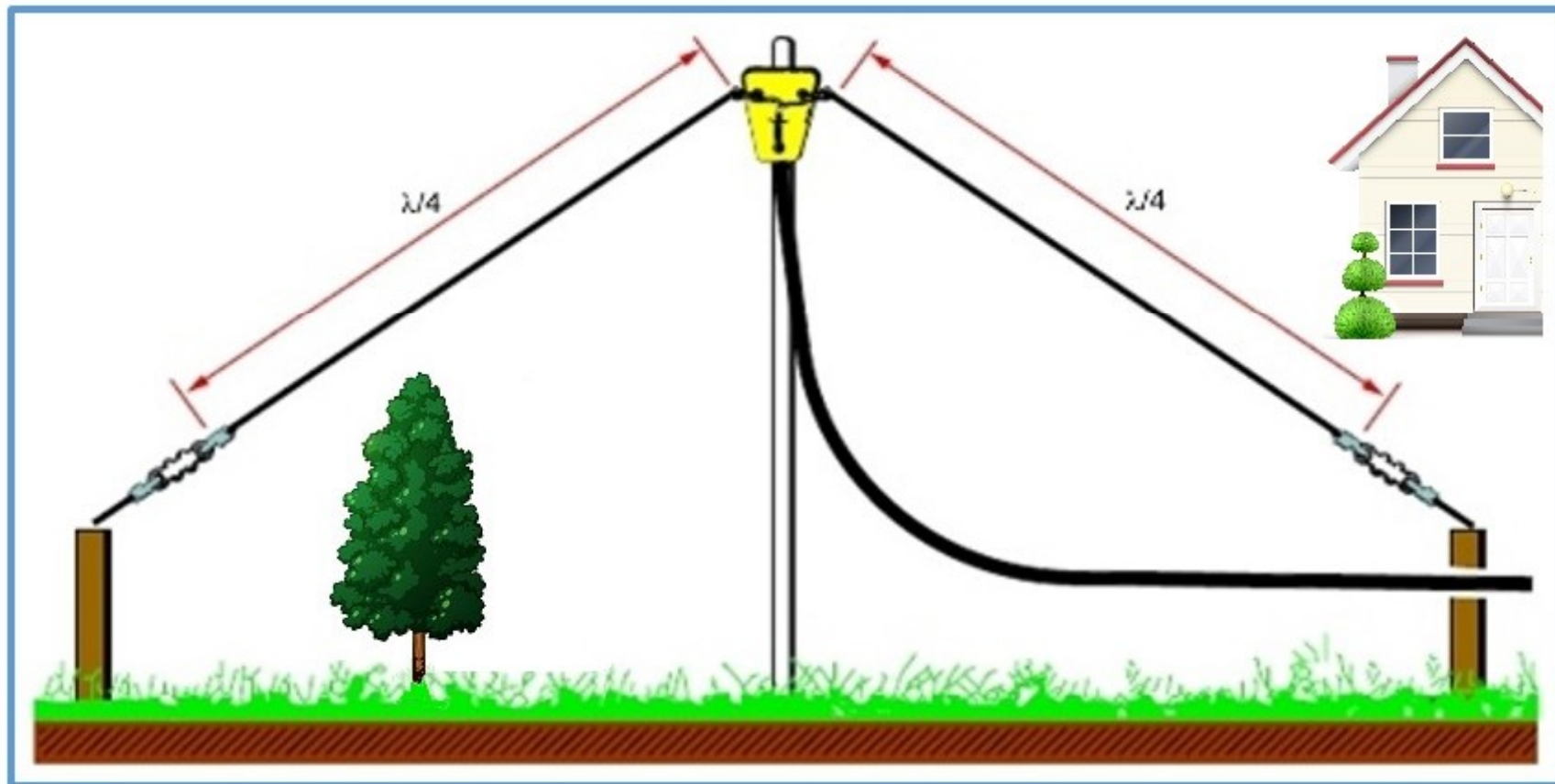


Harmonique exploitable avec un doublet mono-bande

- Seul les rangs d'harmoniques impaires sont possibles



Influence du sol à proximité d'une antenne



Influence et conséquence d'une masse ou d'un sol rapproché

- La zone centrale de l'antenne est peu sensible à la présence d'une masse ou du sol. C'est la zone d'alimentation et de **basse impédance**. (25 à 300 ohms)
- Le milieu de l'antenne est moyennement sensible. C'est une zone d'**impédance moyenne** (300 à 1000 ohms)
- L'extrémité de l'antenne est très sensible. C'est une zone de **très haute impédance** (>10000 ohms) et de faibles capacités.

La présence de masses et/ou du sol rajoutent des capacités parasites aux extrémités et modifie l'impédance et la fréquence d'accord de l'antenne avec les conséquences qu'elles impliquent.

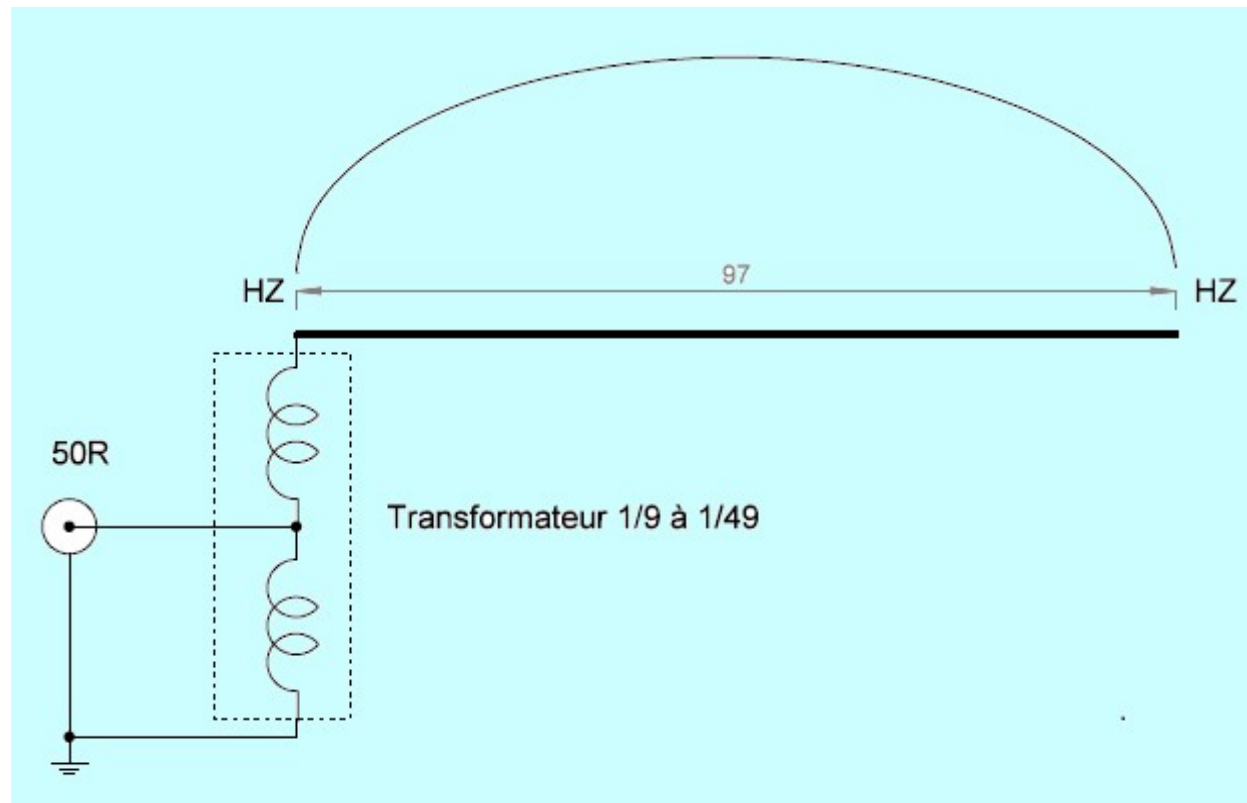
Généralement cette disposition abaisse la fréquence de résonance de l'antenne, ce qui oblige à apporter une correction d'extrémités.

L'antenne long fil

- C'est généralement une antenne constituée d'un long fil résonnant en demi-onde et aux autres fréquences harmoniques paires et impaires.
- Un transformateur d'adaptation 1/9 à 1/49, rabaisse l'impédance à une valeur de 50Ω .
- Un fonctionnement sur toutes les bandes est possible en réception avec une longueur de fil quelconque.
- Faute de place, il est possible de bobiner toute la longueur du fil sur un support cylindrique genre canne à pêche.



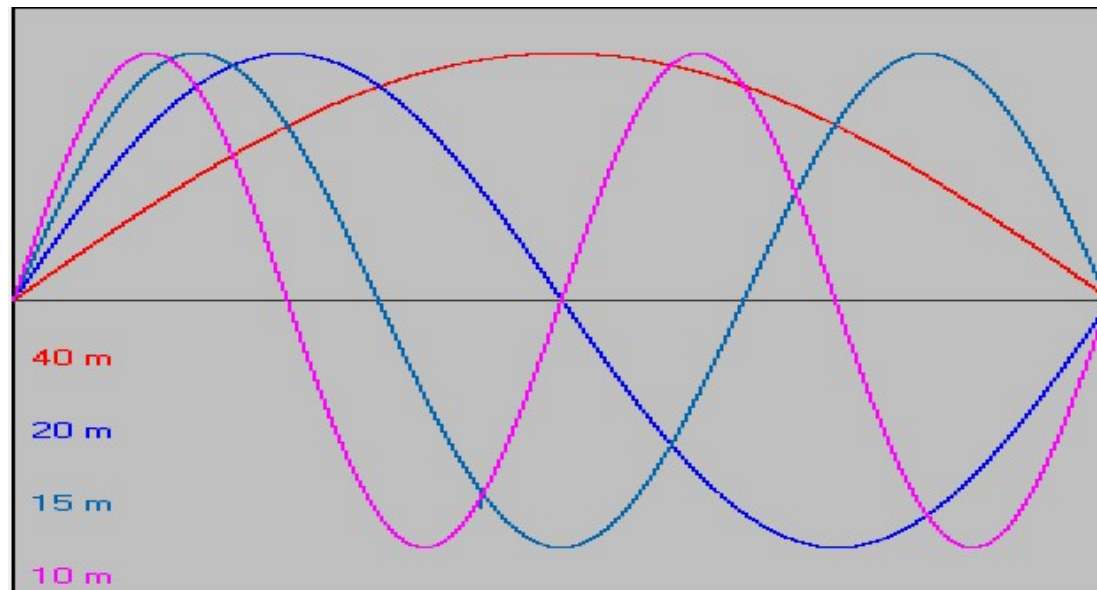
L'antenne demi-onde $\lambda/2$



Antenne harmonique simple en $\lambda/2$

Tous les rangs d'harmoniques sont utilisables dans cette configuration dans les limites des caractéristiques du système antennaire.

{H=1 ; H=n} Soit H1; H2; H3; H4; H5; etc



L'antenne WINDOM

L'antenne Windom est plus connue sous l'appellation FD3 et FD4.

Sa dimension $\lambda/2$ à la fréquence la plus basse, et connectée au 1/3 – 2/3 permet d'exploiter les bandes d'harmoniques paires uniquement.

Son impédance est de 300 Ω . Un transformateur d'adaptation est requis.

Une FD3 consue pour la bande des 40m qui, malgré sa petite taille, sera merveilleuse sur le 20m et le 10m.

Le 15m et les bandes WARC seront sacrifiés. Mais il est possible de rajouter deux éléments supplémentaires pour le 30m, le 15m ainsi que le 17m et le 12m.



L'antenne T2FD (W3HH)

- Une T2FD ou Tilted Terminated Folded Dipole avec charge d'extrémité sera acceptable. Elle est appelée aussi Balanced Termination Folded Dipole (BTFD) « dipôle plié à terminaison équilibrée ». C'est une antenne à usage générale.
- Son impédance se situe généralement à 390Ω (voir plus) et reprend cette même valeur pour la charge d'extrémité.
- Un transformateur symétriseur d'adaptation est nécessaire.



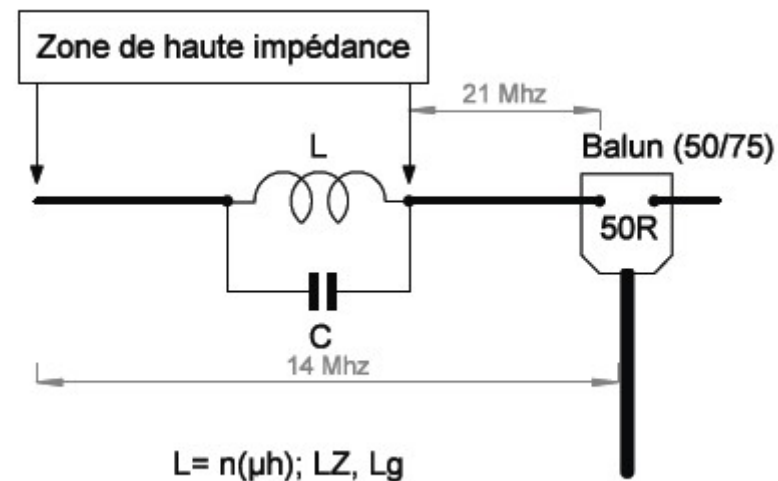
L'antenne W3DZZ

- Une W3DZZ, est une antenne multi-bande à trappes.
- Elle peut être adaptée en dimension sur beaucoup de bandes. C'est une antenne symétrique.
- C'est une antenne fastidieuse à mettre au point.



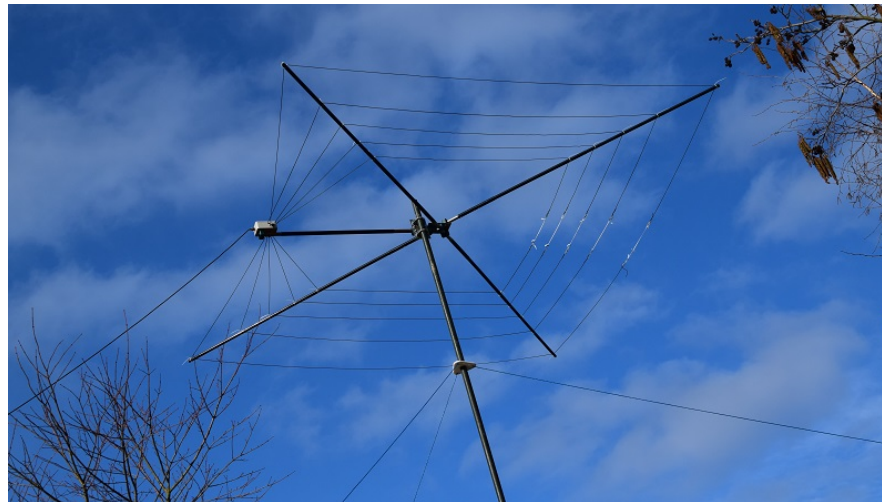
A quoi sert la trappe

- La trappe est un circuit bouchon.
 - Son impédance est très élevée à la résonance.
 - La self qui la constitue, raccourcie l'extrémité de l'antenne aux bandes inférieures.



L'antenne COBWEBB

- Cette antenne a la particularité d'occuper très peu de place dans un jardin ou sur un toit.
- Les dipôles sont repliés et alimentés par un unique feeder 50 ohms à travers un choke balun coaxial. L'antenne Cobwebb est omnidirectionnelle et couvre les 5 bandes hautes les plus utilisées 14, 18, 21, 24 et 28 MHz.



Les antennes GAP

- Les antennes GAP sont une alternative. Ce sont des verticales indépendante du sol.
- Le point d'alimentation est surélevé et connecté en inverse aux bandes basses.
- Elles sont comparables à une antenne à capacité d'extrémité.



Quelle antenne peut-on utiliser en espace restreint

Mon lieu de vie c'est:
Un toit encombré
Un petit jardin
Un appartement
Un balcon
Qu'est-ce que je faire ?

Sur quelle bande de fréquence trafiquer en espace restreint

Je manque d'espace et je veux tout de même faire des QSO sur les bande basses.

L'antenne miracle n'existe que dans nos rêves.

Mais en réfléchissant un peu, je peux trouver des solutions, mais surtout des compromis.

Que proposent les professionnels, quels sont les produits qui fonctionnent vraiment.

Je cherche une solution

- J'évalue mes emplacements et je cherche une antenne dans les catalogues du commerce.
- Les dipôles verticaux multi-bandes prennent peu de place au sol mais ont une hauteur importante.
- Les dipôles horizontaux multi-bandes ont un cercle de rotation très important et nécessite un rotor et un mat important.
- Les antennes cadre sont une alternative acceptables mais fastidieuses à utiliser.
- Les antennes pour le mobile sont peu encombrantes mais n'offrent qu'un rendement médiocre, voir lamentable.
- Je ne trouve rien qui me vaille. Avec des idées et quelques bons logiciels, je peux la construire moi-même.

L'antenne dans l'appartement

- Seule une antenne cadre pourrait fonctionner dans ce milieu très perturbé. Les parasites des appareils modernes ne sont pas supportables. La bande passante est très étroite et les résultats ne seraient pas bons de toutes façon.



Je n'ai pas beaucoup de place sur mon toit

- Un dipôle raccourci est envisageable au prix d'une perte d'efficacité mais quelques bandes sont accessibles tout-de-même.
- Un monopôle vertical raccourci fera merveille, mais, je dois lui adjoindre un plan de sol.
- Moyennant quelques compromis et une perte sérieuse d'efficacité sur les bandes basses, je peux même trafiquer sur 80m, au pire sur 160m.

Mon jardin est petit

- Une antenne filaire est envisageable entre le toit et les extrémités du jardin mais ne correspond pas à tous fait à mes souhaits.
- Généralement une verticale est préférable.
- Les antennes « canne à pêche » de toutes façon, sont simples à construire et relativement efficaces sur pratiquement toutes les bandes amateur.

L'antenne sur le balcon

- Un balcon est souvent pourvu d'une rambarde métallique. Elle peut constituer un très bon plan de sol et un parfait support de fixation.
- Une gouttière métallique à proximité vous offrira aussi une terre verticale providentielle.



Les logiciels

Les simulateurs et logiciels de calculs tel que:
EZNEC, MMANA et surement d'autres...

Ils sont très performants et faciles à utiliser.

Les logiciels de calculs d'antennes ainsi que des feuilles de calculs sont gratuites et disponibles sur le Web.

Antenna_CRF, simple d'emploi avec quelques bons outils. C'est le couteau suisse. Il est téléchargeable sur le site de l'ADREF13 dans la rubrique « Réalisation - Antenne ».

Les outils de contrôles

- Un simple ROS-mètre. Il permet de juger de l'adaptation dans la bande de fréquence.
- Un mesureur d'antenne. Il en existe beaucoup.
- Le mini VNA et son excellent logiciel associé.



Mon antenne « canne à pêche »

- Je veux pouvoir trafiquer sur toutes les bandes HF amateurs principale du **80m** au **10m** avec une seule antenne adaptée en impédance à **50Ω**.
- Je voudrais en plus installer une antenne VHF-UHF.
- J'ai peu de place et donc la discrétion est de principe.
- Le changement de bande doit être simple (commutation)
- Un seul câble coaxial avec un coupleur d'antenne ou deux câbles de liaisons séparés vers la station.
- Sur la station, un commutateur ou un diplexeur seront utilisés pour répartir les bandes de fréquences.
- Le plan de sol est matérialisé par la rambarde métallique du balcon.

Sur le balcon



Les bandes de fréquences à exploiter

Fréquence d'accord	Longueur d'onde	Longueur à FV = 0,922 de l'antenne $\frac{1}{4}$ d'onde
7,100 Mhz	42,25 m	9,74 m
10,120 Mhz	29,65 m	6,83 m
14,175 Mhz	21,13 m	4,88 m
18,120 Mhz	16,56 m	3,81 m
21,200 Mhz	14,15 m	3,26 m
28.300 Mhz	10,60 m	2,44 m

La méthode de calcul

- Choix du type d'antenne : Dipôle ou Monopôle
- Choix de la bande haute qui n'utilisera pas de système d'accord.
- Déterminer la longueur de l'extrémité **C** qui accorde l'antenne.
- Déterminer la longueur de la self **L1** à la bande la plus basse.
- Déterminer la longueur du Départ initial **B**. (Lg total $A=C+B$)
- Déterminer la taille de la zone de fixation **Zfix** avec une marge supérieure. La zone accessible comprend les fixations, la connectique, la longueur initiale, la self d'accord.
- Additionner toutes les longueurs.

Longueur du support = $C + L1 + B + Zfix$

La grille d'étude

Pré-requis		Valeur	
Longueur d'extrémité C (m)			
Longueur de la self L1 en bande basse (m)			
Longueur initiale B de départ (m)			
Longueur utile de la Zone de fixation (m)			
Longueur du mat porteur (m)			
Bande	Fréquence centrale (Mhz)	Self (μ H)	Nombre de spires

Le logiciel Antenna_CRF

- Les modules du logiciel:
 - « Paramètres »
 - « Les antennes _ Antenne filaire, etc»
 - « Adaptation »
 - « VSWR »
 - « Calculs »
 - « Convertir »
 - « Dipôle raccourci »
 - « Les câbles »
- Les travaux Pratiques.

Etude de quelques exemples de réalisations

- Dans ce dernier chapitre, nous allons voir quelques exemples de réalisations possibles. Votre imagination sera sans limite.
- Les bons réflex pour ne pas se tromper
- Les combinaisons de selfs et de trappes.
- Cette réalisation est-elle possible.
- Le coût de mon antenne.
- Les mesures et les essais avec la station.

C'est fini pour aujourd'hui

L'ADREF-13

**vous remercie pour votre attention
et votre participation à ce
Samedi radioamateur**

Cet exposé a été créé par F1GGE pour l'ADREF13
Pour me joindre par email: « christold@hotmail.fr »