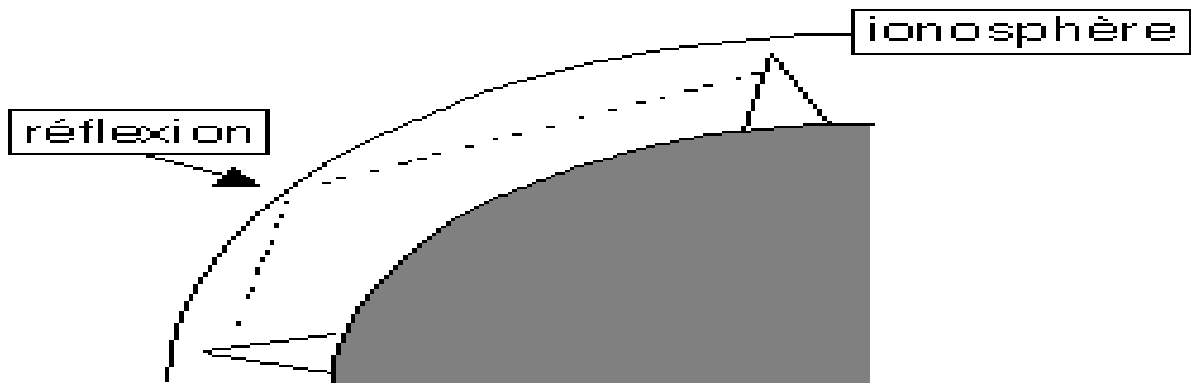


ANTENNES BANDES BASSES ET ONDE DE SOL

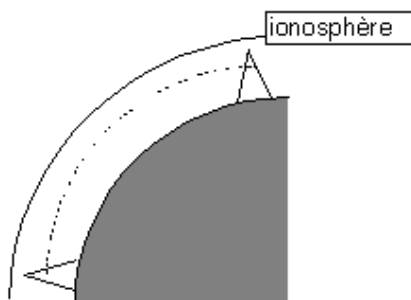
Par Serge MALET (F6AEM)

1-RAPPEL SUR LES MODES DE PROPAGATIONS

A -Mode par réflexion ionosphérique



B -Mode par onde de sol



Le mode par onde de sol est utilisable de 10kHz à 4Mhz. Il est mis en oeuvre chaque fois qu'on recherche une bonne stabilité de niveau (même si des variations nocturnes lentes sont constatées). C'est ainsi qu'on utilise l'onde de sol en radiodiffusion (GO, PO), en aéronautique (150-400kHz), en radiomaritime, fax-météo, radiolocalisation (comme Loran, Decca), ou pour liaison avec les sous-marins.

La propagation par onde de sol permet de maintenir une liaison constante dans la zone 0-400 km, alors que la propagation ionosphérique présente un trou sur ces distances (zone de silence).

2-AFFAIBLISSEMENT DE L'ONDE DE SOL

Pour une fréquence de 500kHz (par exemple) l'atténuation est de l'ordre de 10 dB/100 km sur mer et de 20 dB/100km sur terre, et la portée est de 300km environ pour un émetteur de 1kW.

Les 2 graphes suivants donnent la portée en fonction de la fréquence.

Propagation sur mer :

Propagation sur terre :

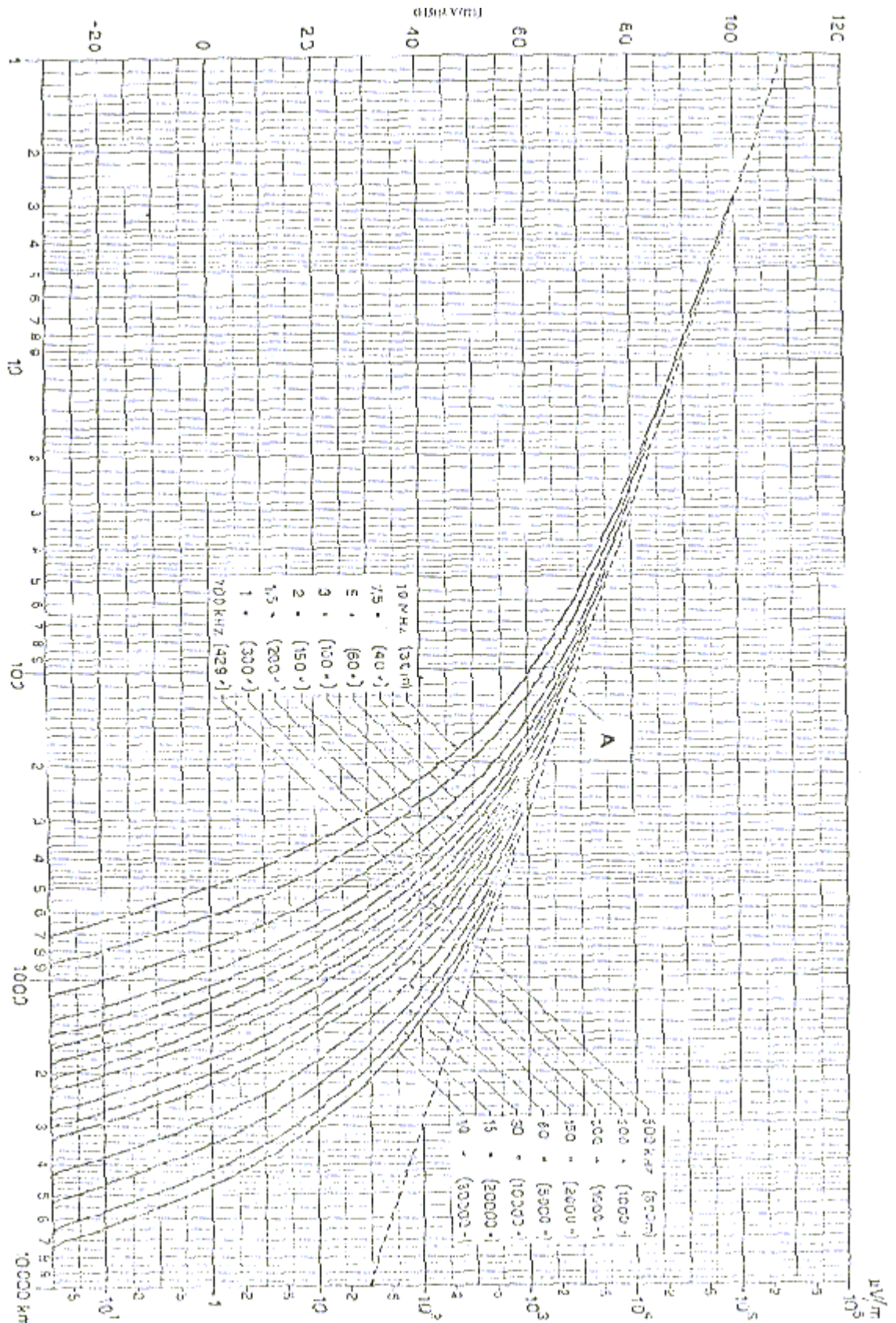


Fig. 62. — Courbes de propagation de l'onde de sol ; mer, $\sigma = 4$ S/m, $\epsilon = 50$
 A : inverse de la distance.

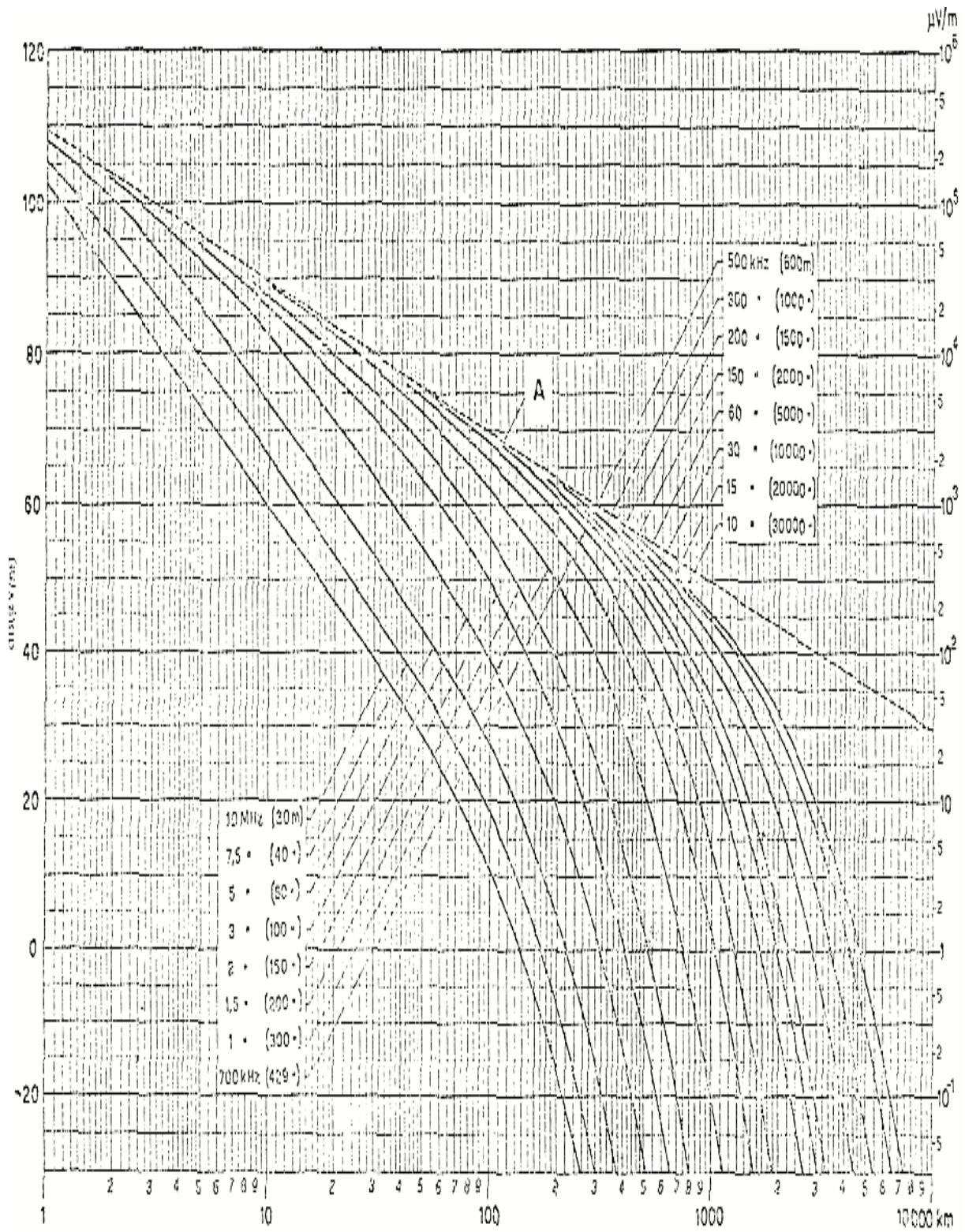


Fig. 61. — Courbes de propagation de l'onde de sol ; Terre, $\sigma = 3 \times 10^{-2} \text{ S/m}$, $\epsilon = 4$
 A : Inverse de la distance.

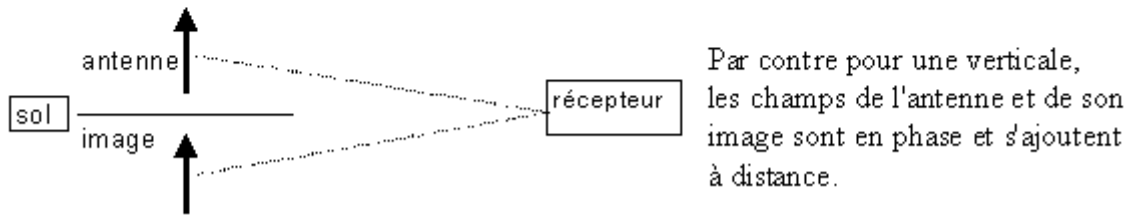
3-POLARISATION ET BANDES BASSES

La propagation de l'onde de sol ne se fait qu'avec un angle de départ très bas. Pour une antenne

horizontale, antenne et son image (dans le sol) produisent à 0 degré (plan bissecteur) un champ nul (en fait, il reste l'écoulement du champ électromagnétique vers la masse), alors que pour un verticale, antenne et image sont en phase : le champ est alors maximal dans le plan bissecteur (0 degré) si l'image est parfaite.

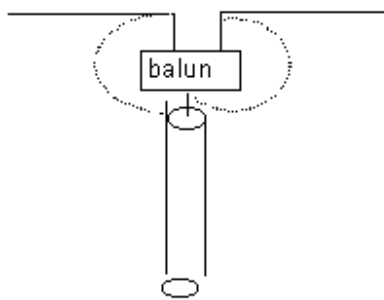


Ainsi, une Lévy sur 160m ne produit à distance pratiquement pas d'onde de sol.



Par contre pour une verticale, les champs de l'antenne et de son image sont en phase et s'ajoutent à distance.

On montre ainsi qu'il est nécessaire d'utiliser une antenne verticale sur les bandes basses, si on veut bénéficier du mode onde de sol.



La Société Rhode-Schwartz transformait ainsi un doublet horizontal alimenté en 1/2 onde par balun (mode ionosphérique) en verticale (mode onde de sol) terminée par une capacité, tout simplement en court-circuitant le balun.

La gaine du coaxial devient rayonnante et constitue la partie verticale de l'antenne.

4-CHAMP ELECTROMAGNETIQUE ET HAUTEUR EFFECTIVE

Les composantes champ électrique, champ magnétique, sens de propagation sont orthogonales entre elles (selon la règle des 3 doigts). Le rapport entre champ électrique et champ magnétique est de 377 (la valeur de 300 avait été estimée par Maxwell).

La valeur du champ électrique est donné par la formule théorique :

$F=60.\pi.l.I.\sinus\ t\eta/\lambda.d$ avec :

F =en V/m $\pi=3,14$ l =longueur physique en m, I =intensité supposée constante dans le conducteur, $t\eta$ = angle ($\sinus\ t\eta=1$ à l'horizontale), λ =longueur d'onde, d = distance de l'antenne (en m).

On définit la hauteur effective d'une antenne comme étant la hauteur l de l'antenne parcourue par un courant constant qui produirait le même champ que l'antenne parcourue par un courant

sinusoïdal de valeur max=I.

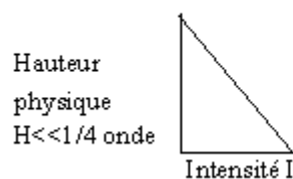
Corrections pratiques :

Dans un doublet à la résonance (1 demi onde), le courant n'est pas constant et sa valeur décrit une demi sinusoïde.

Ainsi on obtient : $H_{\text{équiv.}} = H_{\text{réelle}} \times 0,64$

De plus, en présence d'un sol parfait, le champ produit par l'antenne (supposée isolée dans l'espace) et son image double la valeur théorique reçue (gain de 6dB).

Enfin, dans les bandes basses on atteint rarement pour une verticale le quart d'onde :



Dans ce cas de figure, la forme est proche du triangle, et la surface équivalente (intensité à la base * longueur) est 1/2 du cas théorique (intensité constante * longueur)

On a donc : $H_{\text{équiv.}} = H_{\text{réelle}}/2$ environ (en assimilant la pointe de la sinusoïde à un triangle).

La longueur de l'antenne étant nécessairement limitée, surtout avec des moyens amateurs, on ne peut augmenter le champ électrique que par 4 moyens :

a-augmenter l'intensité à la base de l'antenne en amenant l'antenne à résonance

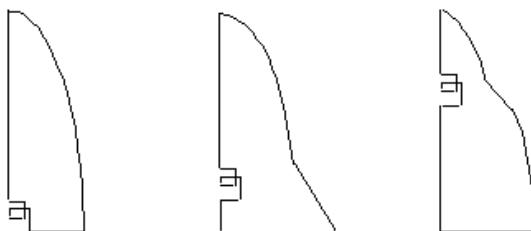
b-faire en sorte qu'une intensité forte parcourt la plus grande partie de l'antenne, en plaçant judicieusement le ventre d'intensité

c-diminuer les pertes ohmiques.

d-parfaire l'antenne-image ("amélioration" du sol) pour obtenir un rayonnement quasi-horizontale.

5-CONCEPTION DES ANTENNES VERTICALES BANDES BASSES

L'antenne étant plus courte que le $1/4$ d'onde, elle est capacitive. IL faut donc mettre une self pour arriver à la résonance et augmenter le courant.

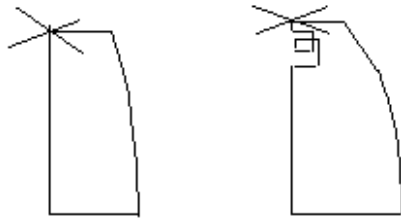


À gauche, l'antenne est accordée par une self à la base, mais le produit ($I \cdot l$) est faible.

Au milieu, une self accorde l'antenne au $1/3$, et la surface augmente (moyen "a")

À droite une self au $2/3$ de la hauteur améliore encore la situation (moyen "b"), mais les pertes dans la self augmentent.

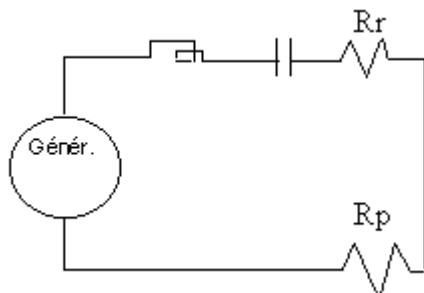
Le meilleur compromis est obtenu avec une self au centre.



Une autre solution consiste à doter l'antenne d'une capacité terminale, présentant moins de perte qu'une self, mais plus difficile à réaliser (fig. de gauche). On peut aussi combiner self et capacité pour arriver à la résonance (figure de droite).

6-RENDIMENT DES ANTENNES

L'antenne est équivalente au schéma électrique ci-dessous:



Avec R_r = résistance de rayonnement,
 R_p = résistance de perte (dans le sol, des isolants, ohmique des conducteurs)

Le rendement de l'antenne est donné par :

$$\text{Rendement} = \frac{R_r}{R_r + \text{somme des } R_p}$$

Ainsi sur 80m, si $l=2,5\text{m}$, on aboutit à $R_r=0,7\text{ ohm}$ et R_p du sol = 10 à 20 ohms au moins, ce qui conduit à un rendement maximal de 3,5%.

Pour une antenne courte (quelques % de lambda), on a :

$$R_r = 0,01215 A^2$$

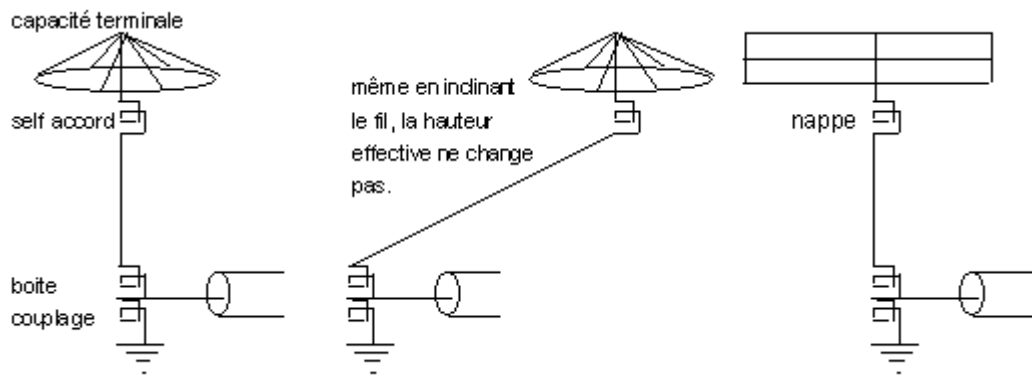
A étant l'expression du courant X hauteur d'antenne exprimée en Amp/ degré de longueur électrique, c'est à dire :

$$H^\circ = \text{longueur} \times 360^\circ / \lambda$$

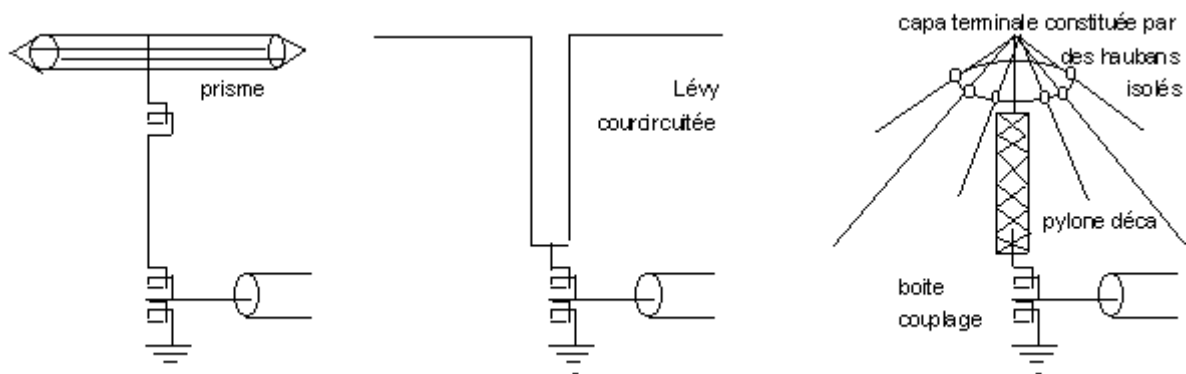
On voit bien que pour améliorer le rendement, il faut augmenter R_r (par exemple en déplaçant la self vers le milieu de l'antenne) et diminuer R_p (par exemple en utilisant des radars en nombre).

Pour augmenter le courant circulant dans l'antenne, utiliser une capacité terminale, ce qui conduit à une self d'accord plus faible, et donc à moins de pertes ohmiques.

7- REALISATION DES ANTENNES BANDES BASSES



On peut imaginer d'autres formes de capacité terminale :



Pour optimiser le plan de sol (amélioration de l'image), il faut constituer des contreponds résonnants en nombre suffisant (on peut arriver jusqu'à 120 radiants). On peut également enterrer les radiants, en leur donnant une forme minimisant l'emprise au sol, comme ci-dessous :

