

## Quelques (re)considérations sur les prises de terre

Claude Ribaux HB9OX

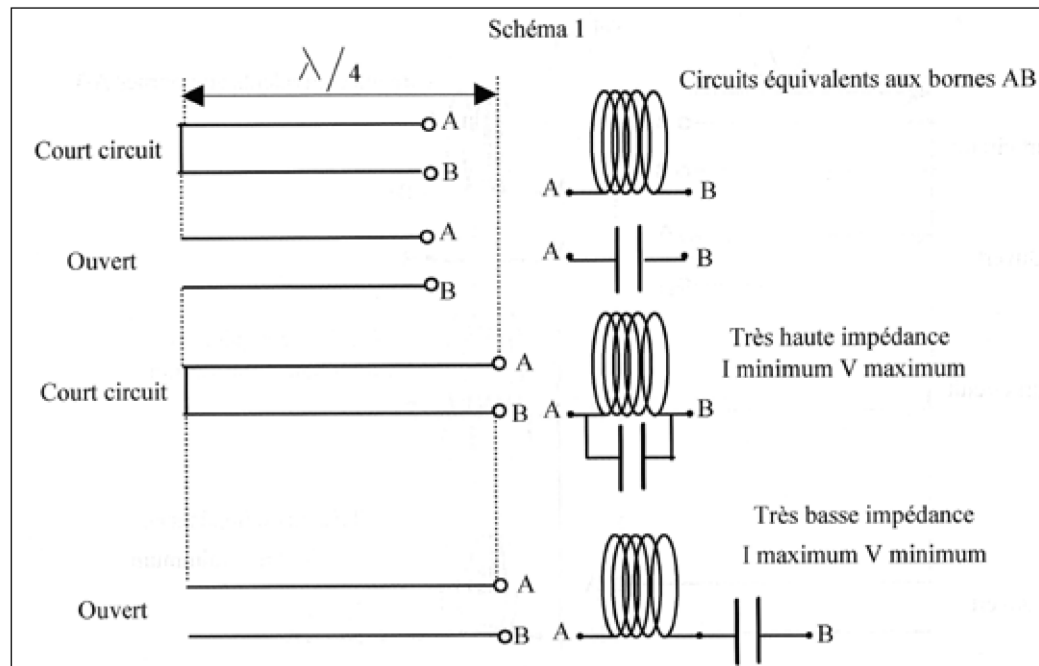
Je rassemble ici quelques notes qui se sont accumulées au cours des ans dans mon cahier de notes au sujet des prises de terre HF.

Pour acquérir une meilleure compréhension de leur mode de fonctionnement, il est absolument nécessaire de prendre la peine de se mettre à l'esprit les quelques cas particuliers des propriétés de transformation d'impédance des lignes de transmission, sans recourir au calcul des grandeurs complexes. La **figure 1** montre ces quelques cas particuliers qu'il faut absolument connaître avant de pouvoir pénétrer plus avant le sujet.

Les cas de transformation examinés dans la **figure 1** restent valables pour des lignes unifilaires. Ainsi une ligne unifilaire de  $\frac{1}{4} \lambda$  reliée à la terre à une extrémité (ce qui correspond à un court-circuit) présente une très grande impédance à l'autre extrémité (circuit équivalent parallèle), et constitue en quelque sorte un « isolateur métallique ». Par contre, une ligne de même longueur laissée ouverte à une extrémité présente une impédance très basse à l'autre (circuit équivalent série).

C'est pourquoi, en reliant la masse des appareils à l'extrémité d'une ligne quart d'onde laissée ouverte (isolée de la terre) à l'autre on crée une condition de basse impédance à la HF en quelque sorte une « terre artificielle » au niveau des appareils. Cette mesure empêche, ou tout au moins contrarie l'établissement d'un potentiel HF élevé au niveau de ceux-ci. On évite ainsi dans une grande mesure les inconvénients dus aux « retours HF », microphone qui brûle les lèvres, distorsions de la BF et autres.

Il existe d'ailleurs des appareils (comme le MFJ 931 Artificial Ground) qui permettent d'accorder à la résonance série le ou les conducteurs constituant la prise de terre. Il s'agit somme tout d'un Tuner mais placé dans la prise de terre. On amène ainsi le potentiel HF au niveau des appareils à la valeur la plus basse possible pour une installation donnée. La ligne de



longueur quart d'onde constituant « la terre artificielle » n'a pas besoin d'être rectiligne, mais peut être disposée d'une manière quelconque sur le sol, mais dans ce cas, la longueur nécessaire à la résonance varie selon la disposition. On peut l'accorder à défaut d'un appareil tel que le MFJ en la coupant d'abord à la longueur théorique d'un quart d'onde et en insérant dans la ligne et le plus près possible de l'émetteur une ampoule à incandescence (ordre de grandeur 3-6 V, 0,3-0,5 A pour une puissance d'émission de 50 à 100 W) et en « trimmant » la longueur du fil avec la pince à couper (attention à couper la HF pendant l'opération de sectionnement, 1 W ça peut déjà causer des brûlures douloureuses jusqu'à l'obtention d'une luminosité maximum de l'ampoule. L'extrémité laissée ouverte sera bien isolée avec du ruban isolant approprié pour éviter des brûlures car évidemment, à cet endroit le potentiel HF est très élevé. Pour cette raison d'ailleurs on évitera le plus possible d'amener cette extrémité près d'appareils susceptibles d'être perturbés par la HF. A noter que dans le cas d'une antenne long fil ou si le feeder coaxial d'un dipôle est parcouru par un courant de manteau, cas plus fréquent que l'on imagine généralement, l'opération d'accord

de la terre artificielle peut rendre nécessaire le réajustement du Tuner d'antenne. Dans le cas d'un aérien asymétrique comme un long fil, cette opération modifie parfois fortement l'impédance au point d'attaque ce qui permet le plus souvent un accord plus aisé sur différentes bandes. Il ne faut pas s'illusionner cependant et être conscient qu'elle a peu d'effets sur les performances de radiation de l'aérien, mais que son avantage principal est d'obtenir un potentiel HF fortement réduit sur les appareils, facilitant l'élimination des « bizzareries » qui empoisonnent souvent la vie des OM's. Son désavantage est sa dépendance de la fréquence.

### Exemple

Un OM émet avec un « long fil » (dont la mauvaise réputation est d'ailleurs injuste) et utilise le chauffage central en guise de prise de terre HF et de protection. Dans le 90% des cas, l'installation de chauffage central présente une impédance HF élevée et les chances, malgré l'établissement de connections quasi parfaites que les appareils se trouvent malgré tout à un potentiel HF relativement élevé, sont fortes. En effet, la conductivité galvanique de l'installation est, dans la plupart des cas, très médiocre (chanvre

Figure 1

## Quelques (re)considérations sur les prises de terre II

dans les raccordements des tuyaux, dépôts calcaires, ou même tuyaux en partie en matière plastique etc.) et c'est la capacitance du système contre la terre qui permet plus ou moins le passage de la haute fréquence vers la terre. Ainsi les trois composantes principales d'un circuit HF, c'est-à-dire l'inductance, la capacitance et la résistance ohmique sont largement aléatoires et imprévisibles. En outre si l'on habite dans un immeuble à plusieurs logements, il devient presque certain que l'on trouvera de la HF un peu partout dans le bâtiment, avec les inconvénients bien connus tels que TVI, BCI, perturbations sur les équipements HIFI et le téléphone. C'est ici que l'utilisation d'une terre artificielle sous la simple forme d'un fil résonnant en quart d'onde est susceptible d'apporter une amélioration substantielle de la situation, le circuit de chauffage central gardant toute sa raison d'être comme terre de protection. Il faut donc se garder d'en conclure qu'elle est inutile ! En effet elle joue son rôle pour les fréquences industrielles relativement basses, à condition toutefois que sa résistance vers la terre soit suffisamment faible pour celles-ci.

### Un paradoxe

J'ai entendu à plusieurs reprises des OM disant avoir supprimé du BCI ou TVI chez les voisins et dans leur propre habitation, en plaçant en série dans la prise de terre raccordée au chauffage central, une self de choc en ferrite et qui en concluaient bien paradoxalement qu'ils avaient amélioré leur prise de terre. En fait, ils empêchaient la haute fréquence de s'écouler par le canal du système de chauffage et par conséquent de se promener un peu partout dans l'immeuble. Celle-ci devait donc trouver un autre chemin qui s'avérerait être moins prône à perturber les appareils des utilisateurs et pouvait même dans les cas extrêmes apporter moins de perturbations à cause d'une réduction de la puissance effectivement rayonnée

par l'antenne. Dans un tel cas, il y a de grandes chances aussi de devoir faire face à un potentiel HF élevé sur l'émetteur et les appareils annexes, modems, ordinateurs etc. et une terre artificielle peut donc être d'une grande utilité. En tous les cas un point de basse impédance au niveau des appareils de transmission diminuera les maux nommés retour HF.

### Qu'est-ce qu'une bonne prise de terre HF ?

Tout d'abord il faut bien se mettre en tête qu'une mise à la terre des équipements de transmissions se fait toujours par un intermédiaire qui obéit aux lois établies pour les lignes de transmission, si courte soit-elle. Cet élément de transmission, dans le cas idéal présenterait un court-circuit parfait pour la HF donc devrait posséder soit :

- Une inductance nulle et une résistance ohmique nulle
- Une capacitance infiniment petite et une résistance ohmique nulle
- En bref une réactance et une résistance ohmique nulle

On se trouverait donc en présence d'un circuit équivalent série possédant un facteur de surtension infini. Or aucune ligne dans un monde réel, à moins de posséder une longueur nulle, ne peut satisfaire ces exigences. Mais si ces conditions ne peuvent être remplies on peut au moins s'efforcer de s'en approcher le mieux possible. On s'efforcera donc de réduire les pertes ohmiques au maximum, bonnes connexions, conducteur de grande surface, l'épaisseur ou le diamètre de celui-ci ne jouent qu'un rôle secondaire. Rappelez-vous que, à cause de l'effet pelliculaire, la HF n'utilise qu'une infime portion de la section disponible d'un conducteur. Un fil de 10 mm de diamètre est presque deux fois moins bon qu'un ruban de cuivre de 25 mm de largeur et 1 mm d'épaisseur, sans parler de

la différence de poids et de prix. Et pour diminuer la réactance que peut on faire ?

Et bien là aussi la théorie nous apporte une réponse, rendre la ligne résonnante en série en faisant en sorte que la capacitance soit égale à l'inductance. Dans ce cas la théorie nous dit que :

Pour la fréquence de résonance, l'impédance du circuit est minimum.

On ne peut donc faire plus que cela. Il ne restera donc plus en circuit que les résistances ohmiques. Quelles sont-elles ? Tout d'abord celle du conducteur que nous avons vue plus haut et puis incontournable, la résistance que présentent les pertes dues à la conductivité finie du terrain. Leur réduction ne peut se faire qu'en augmentant la surface offerte au retour de la HF dans le terrain, soit en disposant un grand nombre de radiaux noyés dans le sol ou placés au dessus de manière à former un condensateur de grande surface.

Avec les moyens dont dispose un OM, il ne faut pas s'illusionner et si l'on arrive à diminuer la résistance totale aux environs de 10 à 12 Ohms ce sera un excellent résultat. En admettant un courant HF de l'ordre de 1 A, il restera une tension HF de l'ordre de 10 à 12 Volts sur les appareils de transmission et une perte de l'ordre de 10 Watts dans le système terre.

Avec une résistance de radiation de l'ordre de 70 Ohms, le rendement de l'aérien sera encore de :

$$\text{Rendement [\%]} = R_r / R_p + R_r = 72 / 12 + 72 = 85 \%$$

Equation dans laquelle on a :

**R<sub>r</sub>** = résistance de rayonnement de l'antenne (à ne pas confondre avec la résistance au point d'attaque).

**R<sub>p</sub>** = résistance de perte totale dans le circuit de terre.

Il faut remarquer ici que les éléments réactifs ne contribuent pratiquement pas à l'augmentation des pertes dans le circuit de terre, mais qu'ils empêchent d'obtenir un

potentiel HF bas sur les équipements. D'autre part il faut savoir que plus l'impédance au point d'attaque de l'aérien alimenté a une extrémité est haute, donc plus sa longueur se rapproche d'une demi-onde ou de ses multiples, plus le courant d'alimentation a ce point devient petit et moins la qualité de la prise de terre devient importante pour le rendement. Il suffit souvent dans ce cas d'un contrepoids très court (quelques picofarads de capacité par rapport aux objets environnants, par exemple un cadre de fenêtre métallique) pour assurer le retour à la terre.

Le cas de l'antenne Fuchs qui constitue un cas d'école et qui est taillée exactement pour une demi longueur d'onde ou un de ses multiples ne nécessite pas de contrepoids pour rayonner parfaitement. Par contre son adaptation doit se faire au travers d'un circuit capable de fonctionner pour ces hautes impédances qui peuvent être de l'ordre de 5'000 à 8'000 Ohms. Cette antenne ne fonctionne plus sans contrepoids pour des fréquences qui ne sont plus en relation harmonique avec celle, la plus basse, pour laquelle elle est taillée et, malheureusement même pour le travail en harmonique, il faudrait en réalité corriger la longueur du fil pour se trouver en résonance exacte.

### Conclusion

En conclusion, même avec une prise de terre HF d'un diamètre « gros comme le bras » et des connections galvaniques parfaites, si sa longueur est voisine de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$ , un tout nombre impair de quart de longueur d'onde, elle jouera le rôle d'un isolateur au lieu de celui de conducteur pour la HF et même une longueur de 45 degrés électriques ( $1/8$  Lambda) présentera une impédance égale à l'impédance caractéristique du circuit de la prise de terre, difficile sinon impossible à évaluer, mais à titre représentatif, un fil de 1 à 2 mm de diamètre placé à 50 cm au dessus du sol possède une impédance caractéristique de quelques 200 à 300 Ohms. Il faudrait

donc en pratique en admettant un sol parfaitement conducteur ne pas dépasser une longueur électrique de 10 degrés pour avoir une terre acceptable au point de vue HF pour un aérien alimenté en bout.

Il est clair que les aériens symétriques tels qu'un dipôle (Levy, G5RV, W3 DZZ) nous épargnent beaucoup de problèmes en ce qui concerne la prise de terre, elles s'autogèrent en quelque sorte ! On peut affirmer que dans le cas d'une conduite de terre réalisée par branchement au circuit de chauffage central, le retour de la HF contre la terre se fait de manière prépondérante par voie capacitive dans 90% des cas et que la conductivité galvanique n'est importante que pour assurer le branchement entre les différents éléments afin de donner la plus grande surface possible à ce grand condensateur et bien sûr pour remplir son office de terre de protection.

Un tip: Si vous voulez savoir si votre terre remplit son office en HF pour un aérien alimenté en bout (endfeed), mesurez le courant HF qui y passe à l'aide d'un indicateur de courant approprié, un ampèremètre thermique (Hélas plutôt rare de nos jours) ou plus simplement avec une ampoule de lampe de poche. Si le courant n'est pas à peu près égal à celui de l'antenne, le retour de la HF se fait par un autre chemin, peut-être par le secteur. Attendez-vous à être étonné !

### Divers

Il me paraît toujours curieux de constater combien les OM's travaillant en fixe sont persuadés que seule une mise à la terre HF assurant une continuité galvanique peut remplir sa fonction. Ceux qui travaillent en mobile et avec une ground-plane avec radians élevés apportent pourtant et peut être même sans le savoir, la preuve qu'une mise à la terre par voie capacitive est parfaitement fonctionnelle, et comme je l'ai dit plus haut, la valeur de la capacité nécessaire dépend de l'impédance

au point d'attaque de l'aérien et bien entendu de la fréquence (voir handy's). L'antenne R7 par exemple, travaillant en demi-onde et attaquée en bout ne possède que des radians très courts et pourtant elle fonctionne parfaitement.

### Retours HF

Même une antenne symétrique peut occasionner des problèmes si elle se trouve à proximité du bâtiment de l'émetteur à cause de l'intensité du rayonnement direct que les amateurs sous-estiment généralement. En effet avec 100W et suivant la fréquence, des champs de l'ordre de 10 V/m ne sont pas rares, même à quelques 15 mètres de l'aérien. Les nouvelles prescriptions sur les champs maximums autorisés qui vont nous tomber dessus très bientôt et qui sont si faibles que la majorité d'entre nous ne devraient pas avoir atteint l'âge des cheveux gris, placeront la plupart des OM's qui n'ont pas la chance de vivre dans un ranch Texan ou de trouver du plaisir à travailler en QRP, devant une réalité cruelle qui les contraindra, soit à cesser l'émission, soit à fermer le robinet à watts de manière substantielle. Adieu les Pas d'un kilowatt ! Ou alors ils remplaceront l'antenne par une charge artificielle non rayonnante et adaptée. De cette manière ils auront l'immense et apparemment si recherchée satisfaction d'obtenir enfin un VSWR de 1 :1.

10 V/m c'est rappelons le, une intensité de champ susceptible théoriquement d'induire une tension de cet ordre dans un conducteur de 1 m de longueur, donc bonjour les câbles de micro, d'ordinateurs, hautparleurs, équipements HIFI, téléviseurs, téléphones, orgues électroniques, cordons secteur et j'en passe.

Merci de m'avoir suivi jusque là dans ces considérations terre à terres et peut être à une autre fois pour d'autres reconsidérations, les sujets ne manquent pas !