

Analyse d'une antenne, le corrigé (2).

Robert BERRANGER, F5NB

Au mois de juin, j'ai écrit un article demandant aux lecteurs de dissenter sur une publicité pour une antenne "miracle". Au mois de septembre, j'ai publié un premier "corrigé" en fonction du peu de réponses que j'avais reçues. J'avais complété avec des extraits de sites Internet. Entre temps j'ai reçu une réponse de F4VQG identique à mon corrigé (je me sens moins seul). Cela me permet de préciser certains points.

Avant de poursuivre le corrigé, un petit rappel de l'énoncé. La figure 1 reproduit la publicité sur le Web du constructeur (commerçant) des premières antennes Isotron.

How Do The Isotrons Work So Well?

This is a very common question from those that have not seen the *ISOTRONS* in action. Even those that have, ask it with amazement.

- 1 Well, it's not magic. The *ISOTRONS* have been developed around specific electrical laws and laws of physics. At times, the eye can be deceived so that something may look like it is against known laws or what we know as practical.
- 2 For an antenna to work, it should be electrically resonant. The *ISOTRONS* are electrically resonant by using only two components - the large coil in series with the capacitive plates of the antennas. (Match comes automatically with the right combination of the two components at resonance).
- 3 There is more that is necessary for an efficient antenna. An antenna needs a certain amount of area to couple radiation to the atmosphere. Some call this the "Capture Area". However, this is an "AREA". This "area" can be any shape or form. The laws of physics for this phenomenon do not specify its appearance. **THE *ISOTRONS* HAVE THIS RADIATION "AREA"**. The *ISOTRONS* exceed or equal (depending upon the model) the area of a conventional one-half wavelength dipole (#12 wire). In simple terms, we designed the *ISOTRONS* into a three dimensional package.
- 4 **THE PERFORMANCE** - It speaks for itself. Tests have measured the *ISOTRONS* to transmit as well as a one-half wavelength dipole.
- 5 The shape of the *ISOTRONS* give them an excellent advantage for the reduction of noise.
- 6 The *ISOTRONS* have been tested at 3db less noise on reception with an equivalent incoming signal as the one-half wavelength dipole.

In the six antenna Reviews, one characteristic was definitely distinctive of the *ISOTRONS*: **THE PERFORMANCE**. The *ISOTRONS* were developed around known laws to accomplish an efficient performing antenna in a very convenient package.

Figure 1 : Publicité du constructeur-commerçant (2 col)

Il s'agissait de dire ce que l'on pensait de ce qui était écrit dans chacun des six paragraphes entourés de rouge. Voici la réponse de F4VQG avec mes commentaires en bleu :

"Déjà, merci pour le partage de la tranche de rire qu'est cette "antenne". Tirons un peu sur l'ambulance... **Pas de remord, le malade était déjà condamné...**

1. *Ce n'est pas magique, mais ça fait appel à des lois "spécifiques" de la physique. Mon œil ! Il faut croire que ça n'utilise pas l'électromagnétisme. C'est révolutionnaire, le futur est à la modulation d'ondes gravitationnelles, ces mecs méritent vraiment un prix Nobel. Plus sérieusement, c'est typiquement un argumentaire de charlatans d'expliquer en invoquant d'obscures lois (ils auraient aussi bien pu dire que c'est quantique ou que c'est dû à la mémoire de l'eau que cela reviendrait au même).*

2. "For an antenna to work, it should be electrically resonant." Si seulement... il n'y aurait plus jamais d'éléments rayonnants parasites... Il est souvent plus difficile d'empêcher une liaison électrique de rayonner que l'inverse (surtout en hyperfréquences). "For an antenna to work *with maximum efficiency*, it should be electrically resonant" serait plus exact.

Ici je me permets de ne pas être tout à fait d'accord. L'efficacité rayonnante d'une antenne n'a rien à voir avec sa réactance qui est l'image de son champ réactif et celui-ci n'est pas rayonné. Mais si la partie RAYONNANTE de l'antenne a une impédance NATURELLE égale à celle de la ligne et de la charge nominale de l'émetteur, cela évite de recourir à des adaptations qui ne peuvent qu'apporter des pertes.

De plus, l'antenne se vante d'être résonante avec une capa et une inductance. Bah oui, avec ça, on peut faire résonner n'importe quoi. Si on compte la résistance électrique des matériaux, on fabrique une parfaite petite charge fictive, seulement 20 fois plus grosse qu'une normale.

3. A propos de la surface de capture, "les lois de la physiques ne spécifient pas leur forme". Si malheureusement, la résistance radiative est hautement dépendante de la géométrie de l'antenne : $R_r = [(2\pi \cdot Z_m) / 3 \times (L / \lambda)]^2 N-B$: L est la longueur du doublet élémentaire parcouru par un courant uniforme et Z_m est l'impédance du milieu, ici 120π , soit 377Ω . Ce n'est qu'une autre façon d'exprimer la formule : $R_r = 80\pi^2 \times (L/\lambda)^2$, strictement pour un dipôle, et à peu près exact pour n'importe quelle antenne de forme simple. Attention, tenir compte du courant moyen et de la différence dipôle-monopôle. Il faut diviser R_r par 2 pour un fouet court et par 1,096 pour un dipôle demi-onde de longueur $2L$. Le fait d'embobiner le fil réduit bien évidemment sa résistance radiative (et l'annulerait complètement si la bobine était encore plus compacte). On peut prendre pour une bobine cylindrique $L =$ longueur de la bobine. Si l'antenne est environ 10 fois plus petite que le dipôle équivalent, sa résistance radiative est environ 100 fois plus faible (et la RF sert à chauffer l'atmosphère).

J'ai déjà dit par ailleurs que la surface de captation (capture) était une valeur purement mathématique valable uniquement en réception et qu'elle était égale à la surface de captation isotrope ($\lambda^2/4\pi$) multipliée par la directivité de l'antenne (soit son gain si pas de pertes). La surface physique de l'antenne ou de son envergure n'intervient pas (cf. les cadres GO).

4. [Référence nécessaire] On veut les données ! J'ajouterais "sans erreurs de mesures".

5 & 6. Réduire le bruit ? Mais c'est une excellente idée ! Puisque visiblement, le bruit semble sensible à la taille de l'antenne mais pas le "vrai" signal, pourquoi ne pas faire des antennes infiniment petites. (Hi...) On pourrait faire des QSO à l'autre bout du monde avec 1 mW, ça simplifierait les choses quand même !

Trêve de plaisanterie, petite antenne = moins de signal capté = moins de bruit capté machinalement. Le SNR en réception restera le même que pour n'importe quelle autre antenne à faible gain, à condition de réussir à avoir un signal, bien sûr. J'ajouterais une petite précision : Ceci suppose une provenance isotrope du bruit. Si le bruit industriel ou atmosphérique provient d'une direction déterminée et si l'antenne est moins directive dans cette direction par rapport à celle du signal utile, le rapport S/B sera amélioré. Les différences de polarisation peuvent aussi intervenir (cf. mon précédent corrigé). Mais je suis d'accord, les petites antennes tendent à être isotropes.

Verdict : Si ça par miracle ça marche, ça doit être comme pour les "EH antennas", en mettant la ligne de transmission en résonance (pas forcément, une longueur significative suffit). 20 m de coaxial si proprement "tuné" ça peut très bien émettre. Mais dans ce cas, pas la peine d'acheter un bazar hexagonal, si c'est pour faire résonner un "random wire". Parfaitement d'accord.

J'ai reçu un message de protestation d'un OM cité dans mon précédent "corrigé" à propos des commentaires que j'ai faits sur sa page Web concernant l'antenne Isotron. Comme cet OM ne veut pas exercer son droit de réponse, je respecterai son anonymat.

Tout d'abord il me reproche de ne pas lui avoir demandé la permission de reproduire son texte. Je répondrai simplement que c'est un texte public et que je cite son auteur. Il faut assumer ses écrits, qu'on les loue ou qu'on les critique (les écrits, pas l'auteur). Ensuite il me reproche de laisser croire qu'il était un adepte de ces antennes "miracle" et de ne pas avoir consulté la totalité de son site sur les antennes où en introduction il met en garde le lecteur contre ces antennes très raccourcies. J'avoue que non, je suis allé directement sur la page concernant l'Isotron que me présentait mon moteur de recherche. Je ne pensais pas qu'il avait écrit ailleurs quelque chose de contradictoire avec l'analyse que je faisais de ce que je lisais dans cette page. Il me reproche aussi de laisser croire qu'il était un "ignorant du fonctionnement des antennes". Ce n'était pas mon intention et je le prie de m'en excuser. Il développe ensuite certains arguments pour appuyer ce qu'il dit. Je trouve que ces arguments constituent de bons prétextes pour les inclure dans un article didactique.

Premier argument :

"J'ai eu quelques discussions avec un OM parfaitement convaincu et je lui ai fait comprendre que j'étais très sceptique. Comme toujours lorsqu'on m'affirme le contraire de ce que je pense, je me sens obligé de faire l'expérimentation moi-même. "

C'est peut-être là que je diverge avec l'auteur. En effet, vouloir expérimenter pour lever le doute signifie que l'on n'est pas tout à fait sûr que la théorie des concepteurs de ces antennes soit contraire aux connaissances acquises et démontrées sur le sujet. Il n'est pas interdit de formuler une nouvelle théorie scientifique, mais celle-ci doit respecter certaines conditions :

- qu'elle soit compatible avec les théories existantes largement démontrées.
- qu'elle concerne un aspect non pris en compte jusque là mais qui peut avoir son importance
- qu'elle soit le résultat d'un raisonnement scientifique (démonstration logique et mathématique)
- et enfin, qu'elle soit confirmée par l'expérimentation.

Donc, tant que l'auteur de la théorie ne l'aura pas démontrée, celle-ci restera une hypothèse ⁽¹⁾. Dans le cas des antennes genres Isotron et E-H, la démonstration de la validité des théories avancées est facile à expérimenter pour un professionnel qui peut disposer des moyens nécessaires. Mais elle doit se faire dans les règles de l'art et ne pas utiliser un postulat pour démontrer le postulat lui-même comme leur "inventeur" l'a fait pour les antennes E-H. Pour un radioamateur, les mesures sur antennes sont très difficiles à réaliser sans erreurs. On ne peut pas se contenter de "reports" concernant des liaisons aléatoires.

Deuxième argument :

"Curieux comme tout radioamateur, j'ai lu beaucoup sur ces antennes, et j'ai voulu savoir par moi-même ce qu'elles valaient et quelle était leur position en rendement par rapport aux antennes traditionnelles."

Réponse : Pour cela, point besoin d'expérimenter avec tous les risques d'erreurs que cela comporte. Les radioamateurs sont rarement équipés pour faire des mesures sur antennes HF. Cela demande une énorme infrastructure.

Troisième argument :

"J'ai pu me faire une idée toute théorique de cette antenne, idée certainement faussée par l'enthousiasme optimiste de tous les possesseurs de ce type d'antenne."

Réponse : Se faire une idée théorique est mettre en équation un fonctionnement. Ce qui ne fait pas intervenir l'enthousiasme des autres. Ici il s'agit de confronter le fonctionnement décrit par les auteurs aux connaissances établies (pour cela, il suffit d'aller les chercher dans un livre de cours sur le rayonnement et les antennes d'une grande école d'ingénieurs "télécom").

Quatrième argument :

"Il vaut mieux une antenne qui fonctionne moins bien que pas d'antenne du tout."

Moi je dirais : "Compte tenu de la place dont on dispose, il vaut mieux fabriquer la meilleure antenne possible". Voir un exemple en annexe.

Cinquième argument :

"Mieux vaut une petite antenne que pas d'antenne du tout !"

Oui, mais une antenne correctement réalisée en tenant compte des lois de la physique du rayonnement. Ce n'est pas le cas pour les antennes E-H et Isotron.

De la difficulté des mesures sur antennes HF.

Un autre OM qui me demande également de préserver son anonymat m'a décrit certains tests qu'il a effectués et qu'il compte effectuer sur une antenne Isotron. Je reproduis cette partie de son message avec mes commentaires en bleu.

"A propos du câble coaxial qui rayonne et permet de faire les QSO, voilà le résumé de mon expérience (ces essais remontent à quelques années):

- antenne (quelle fréquence et quelles dimensions ?) fixée sur une poutre traversière dans le grenier (charpente bois et tuiles béton), 3m de coax apparent dans le grenier, puis le reste du coax (environ 10m) dans une gaine traversant le centre de la maison jusqu'au "shack" en sous-sol. Comme l'adaptation, à la résonance, n'était pas parfaite, j'avais des ondes stationnaires sur le coax. Normalement non : les ondes stationnaires sont à l'intérieur du coaxial. Les ondes stationnaires à l'extérieur du coaxial sont liées à la circulation d'un courant de déséquilibre provoqué par la dissymétrie de la charge (l'antenne) ce qui provoque un rayonnement. Le champmètre promené le long de la partie accessible du coax affichait un champ non négligeable, mais moins important que celui mesuré à proximité de l'antenne. Effectivement le coax pouvait rayonner.

Voici la reproduction de l'erreur de mesure de l'inventeur des champs croisés (antenne E-H). En effet, ce que l'on mesure ainsi, c'est le champ réactif qui n'a aucun rapport avec le champ rayonné (champ lointain). Le champ réactif dépend des caractéristiques électriques de l'antenne et non de ses caractéristiques de rayonnement. On a dit que l'Isotron était un circuit réactif amorti par ses pertes et un peu par son rayonnement. Si le Q de ce circuit est de 50, cela signifie que l'énergie réactive est 50 fois plus élevée que l'énergie consommée et la part rayonnée de celle-ci est d'environ 0,12% (1/800è), le reste étant dissipé en chaleur. Donc le champ réactif est de l'ordre de 40 000 fois plus élevé que le champ actif rayonné. Alors, on mesure quoi ? Noter que ce rapport diminue très vite avec la distance. Mais il faut faire une mesure à plusieurs longueurs d'onde pour espérer n'avoir que le champ rayonné (d'autant plus loin que le Q de l'antenne est élevé et le rendement faible). Pour le câble coaxial, le Q est beaucoup plus faible et le rapport entre champ réactif et champ actif plus faible également. Alors on mesure un champ réactif beaucoup plus faible que celui de l'antenne, mais en réalité le champ actif est beaucoup plus important, mais "noyé" dans le champ réactif et on ne le "voit" pas.

- j'ai rajouté un filtre de gaine (choke balun) à la base de l'antenne, et là le champmètre ne déviait pratiquement plus. Il parle sans doute du champ proche du coaxial. Donc je suppose logiquement que le coax ne rayonne plus ou si peu. Malgré le peu de champ rayonné par le coax, les QSO étaient toujours aussi évidents, quoique la plupart du temps inférieurs en niveau à mon dipôle demi-onde. Le champmètre indiquait toujours un fort champ à proximité de l'antenne. Oui, un fort champ réactif. Cette manip donne un résultat contraire à la logique. Alors deux possibilités : soit l'OM a trouvé un défaut dans la théorie du rayonnement, soit il a fait une erreur de mesure. Pour ma part je dirais que son expérimentation manque de rigueur. Il ne prend pas en compte tous les paramètres qu'il a modifiés et il n'a aucun moyen de contrôler qu'il a fait exactement ce qu'il voulait.

- essai suivant, une charge non rayonnante (association de résistances carbone dans une

boîte alu fraisée et étanche à la HF) calculée de façon à me donner le même ROS que l'antenne, "choke balun" en place, ondes stationnaires présentes mais pas plus qu'avec l'antenne branchée. Et bien réception nulle, et aucun QSO possible ! Le contraire aurait été miraculeux. Pour faire cette manip, il aurait fallu qu'il mette dans sa boîte un circuit présentant non pas le même ROS, mais la même IMPEDANCE COMPLEXE ⁽²⁾. C'est-à-dire qu'il aurait fallu la mesurer sur l'Isotron puis la reconstruire avec des composants R-L ou R-C. Et naturellement, ne pas mettre de balun ! Mais même de cette manière, la manip n'est pas parfaite car nous n'avons plus le couplage aérien entre l'Isotron et le coaxial (et en pratique, le système de fixation et le mât jouent également un rôle s'ils sont métalliques).
- je n'ai pas fait d'essai avec un TRX portable directement à la base de l'antenne, alimenté par accu (pour ne pas que le fil d'alimentation soit soupçonné de faire antenne). Mais suite à votre article, je vais refaire une antenne Isotron et faire cet essai dans mon grenier. Là il n'y aura plus aucun câble coaxial, ni aucun fil pouvant faire antenne. Cela lèvera définitivement le doute, je pense."

Quel doute ? Et quel essai ? Voici les conditions de mesures au minimum pour le test d'une antenne "miracle" (ou autre) :

- pour diminuer les dimensions, les hauteurs et les distances, on travaillera avec des antennes prévues pour le 10m ⁽³⁾.
- le but de la manip est de comparer deux antennes dans les mêmes conditions électriques et mécaniques. L'une a un comportement parfaitement connu et l'autre est celle à comparer. Pour l'étalon, on prend une antenne demi-onde verticale avec la source au centre alimentée par une pile et une puissance connue régulée. Idem pour l'antenne à comparer (source au ras du connecteur de l'antenne).
- travailler dans une plaine désertique (c'était le cas pour N1GX)
- monter les antennes sur un support isolant de façon que leur alimentation soit au minimum à cinq mètres de hauteur (bande 10m).
- La mesure du champ rayonné se fera à une cinquantaine de mètres de distance avec un aérien monté à 10 m mini sur un mât isolant au dessus d'un véhicule contenant le mesureur de champ ⁽⁴⁾. On contrôlera que l'on soit bien dans tous les cas à égale distance de l'antenne en émission. On fera plusieurs mesures autour de l'antenne à mesurer.
- on refera ensuite les mesures avec l'antenne à comparer, mais cette fois en intercalant un câble coaxial plus ou moins vertical de différentes longueurs entre la source et l'antenne.

Concernant l'antenne E-H du commerce testée par N1GX, ses mesures sont sans appel. L'antenne seule à moins de rendement qu'une antenne conventionnelle de mêmes dimensions (ce qui s'explique par le système compliqué de l'adaptation). Et lorsqu'on incorpore le câble coaxial, le champ rayonné augmente plus ou moins selon la longueur du coaxial. D'après mes souvenirs, on passe *grosso modo* d'un gain de -30 dBd à -10 dBd avec le coaxial. Une autre manip utilisant une sorte de cage de Faraday, la "wheeler cap", permet de mesurer directement le rendement d'une antenne. Je l'ai décrite dans mon article sur les antennes E-H. Comme l'on voit, les mesures sur antennes ne sont pas simples. Et elles ne se font jamais à l'aide de liaisons radio (QSO).

Annexe : Etude d'une antenne "discrète".

Dans le cas de l'Isotron d'origine, le principe de la conception n'est pas en cause. En effet il s'agit d'un dipôle avec plateaux capacitifs aux extrémités. Ceci a deux avantages : le courant moyen étant constant dans le dipôle, sa résistance de rayonnement est multipliée par quatre et l'augmentation de la capacité permet d'obtenir un accord avec une bobine de plus faible inductance, ayant un Q plus élevée (bobine plus carrée), donc moins de pertes. La réalisation sera d'autant meilleure que la résistance d'antenne obtenue sera faible. On pourra alors la

remonter à 50Ω à l'aide, soit d'un transfo, soit d'une bobine en parallèle. Mais on a vu qu'en réalité, quand le système antenne semble avoir un gain acceptable, c'est le câble coaxial d'alimentation qui rayonne. Alors, plutôt que d'avoir un système qui fonctionne d'une manière aléatoire selon la longueur du coaxial, intégrons celui-ci dans la conception et voyons les performances que nous pouvons obtenir, en utilisant les lois connues de la physique du rayonnement. Pour cela nous nous aiderons d'un simulateur d'antennes professionnel (NEC-WIN Pro).

Principe de l'antenne (Bande des 40m, soit 7 MHz à 7,2 MHz) : Le brin rayonnant est constitué par la gaine extérieure du câble coaxial d'alimentation sur une longueur de $\lambda/4$. L'âme du coaxial est relié à un contrepois qui rayonne très peu et qui est du type "Isotron". La hauteur de ce contrepois sera de 1 m et celui-ci restera discret (pas plus "voyant" sur une cheminée qu'une antenne TV). Voir le système sur la figure 2.

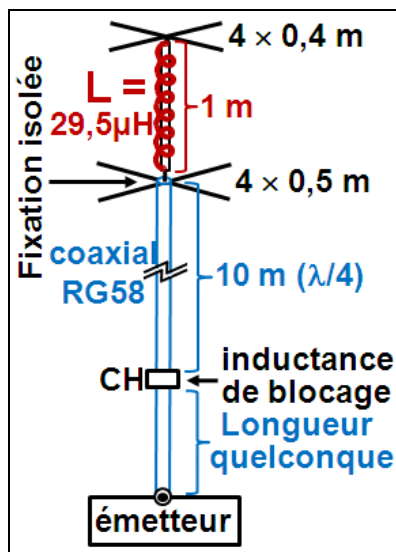


Figure 2 : Antenne discrète (1 col)

Ce système antenne est une variante, parmi d'autres ⁽⁵⁾, du dipôle demi-onde. Mais c'est un dipôle particulier, en effet l'un des monopôles est fortement raccourci avec adjonction d'éléments plus ou moins rayonnants pour obtenir la résonance. Ce monopôle a un très mauvais rendement, ce qui diminue le gain du système. C'est le prix à payer pour réduire l'encombrement "visible" de l'ensemble.

Réalisation :

Commencer par "tailler" une longueur de RG58 égale **exactement** à $\lambda/2$ à 7,1 MHz. Sa longueur physique devrait être de l'ordre de 14,1 m. Munir le coaxial à une extrémité de la prise d'antenne et de l'autre côté à ajuster, faire un court-circuit au ras du coaxial. Partir d'une longueur un peu plus grande que calculée. Connecter le coaxial à un générateur par l'intermédiaire d'un T. Connecter un millivoltmètre HF au T (un analyseur de spectre pourrait convenir. On peut aussi utiliser un VNA tout seul). Raccourcir progressivement la longueur du coaxial de façon qu'un minimum de transmission se produise à 7,1 MHz (si F est plus élevée, vous avez perdu, le coaxial est trop court).

Ensuite enfiler sur le coaxial, à 10 m de la prise coaxiale, un tore en ferrite de 5 cm de diamètre minimum, et de qualité suffisante à 7 MHz ⁽⁶⁾. Puis enrouler un maximum de spires coaxiales sur le tore avec la longueur restante. Ensuite vous pouvez monter le connecteur côté émetteur.

Pour le contrepois, les brins des croisillons ont un diamètre de 6 mm. La bobine de $29,5 \mu\text{H}$ est enroulée en spirale sur un mandrin isolant de diamètre 20 mm environ. Cette bobine est le "point dur" de la fabrication de l'antenne. En effet, c'est son Q qui déterminera le ROS. Pour le simulateur, elle devrait avoir un Q de 50. Je pense que la meilleure méthode est celle-ci :

- fabriquer une bobine à spires jointives de plus grand diamètre et ajuster le nombre de tours et le diamètre du fil pour obtenir au Q-mètre la bonne inductance et un Q bien supérieur à 50.
- monter la bobine au milieu du brin de 1m.
- monter les croisillons
- monter le connecteur.

Je passe sur les détails mécaniques. On aura ainsi "bien" réalisé une sorte d'antenne "Isotron". Ensuite brancher un VNA au connecteur de l'antenne et mesurer son impédance. L'antenne devra être dégagée et l'idéal serait d'utiliser un VNA alimenté par piles avec une mesure déportée par Bluetooth comme il en existe pour le mini VNA. Ajuster les croisillons de 40 cm pour obtenir une réactance nulle à 7,1 MHz (si pas assez longs, augmenter la valeur de la bobine). La partie "réelle" de l'impédance devrait être inférieure à 28Ω . L'amener à cette valeur en connectant une résistance non selfique en parallèle sur la bobine. En effet, avoir les pertes dans la bobine ou dans une résistance ne change pas le gain.

On pourrait augmenter le gain de 3 dB environ en fabricant une bobine avec un Q de 250. Mais alors, il faudrait insérer dans l'alimentation un transfo de rapport 2:1. Ceci serait relativement aisé si l'on n'avait pas décidé de faire rayonner le coaxial. Par ailleurs, on aurait réduit fortement la bande passante. Déjà avec notre système, nous avons un ROS de 2,6 en bouts de bande. Avec les antennes raccourcies, on ne peut pas tout avoir. Il faut faire des compromis.

Une fois le contreponds ajusté, connecter le coaxial avec son tore, "en situation". Pour cela il faut que le coaxial (l'antenne véritable) soit suffisamment éloigné (> 50 cm) des parties métalliques et "descendre" verticalement depuis le contreponds sur au moins 6 à 7 m. Si vous êtes en collectivité, ne pas le faire passer par la gaine de service si vous voulez conserver de bonnes relations avec vos voisins !

Brancher le VNA à la place de l'émetteur et peaufinez l'ajustage si vous n'êtes pas trop loin du résultat (sinon, vous avez fait une erreur). L'avantage d'une longueur de coaxial de $\lambda/2$ est de mesurer *grosso modo* l'impédance "vraie" au niveau de l'alimentation de l'antenne. On pourra "jouer" sur deux paramètres : la position du tore sur le coaxial (partie réactance) et la valeur de la résistance en parallèle sur la bobine du contreponds (partie résistance).

Je n'ai pas précisé tous les détails du processus, il aurait fallu plusieurs pages de R-REF et que je réalise l'antenne. Il s'agissait d'un exemple pour montrer que plus le système antennaire est compliqué, et plus il demande du professionnalisme (savoir "comment ça marche" pour savoir "ce que l'on fait"). Si vous n'êtes pas sûr de vous, n'entrez pas cette réalisation.

Contentez vous de connecter une "isotron" quelconque au bout d'un câble coaxial de longueur suffisante en comptant sur le hasard pour bien faire les choses. Mais, de grâce ! Ne décrivez pas votre réalisation comme un exemple "génial" au service d'une théorie "fumeuse".

Voir sur la figure 3 la courbe d'impédance de l'antenne sur l'abaque de Smith. La simulation a tenu compte d'un sol de qualité moyenne avec une hauteur du point d'alimentation de 12,5 m.

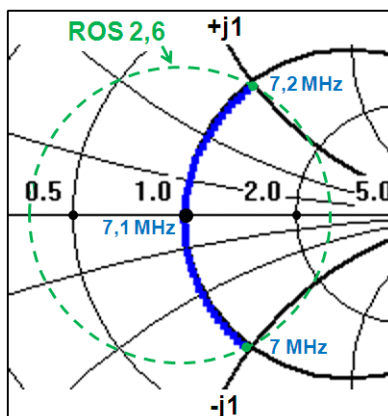


Figure 3 : Impédance de l'antenne (1 col)

On remarquera que le ROS n'est du qu'à la variation de la réactance et que la partie résistance est constante dans la bande (la résistance de rayonnement et les résistances de pertes sont constantes dans une bande aussi réduite). Si un ROS de 2,6 aux extrémités de bande est encore acceptable pour le RG58 à cette fréquence, côté émetteur il serait nécessaire d'utiliser une boîte d'accord antenne. Par ailleurs, la bande réduite n'est due qu'au contreponds. Remplacer le RG58 (dia 6mm) par du RG213 (dia 11mm) ne modifie en rien la largeur de bande. La figure 4 montre le diagramme vertical et le gain du système.

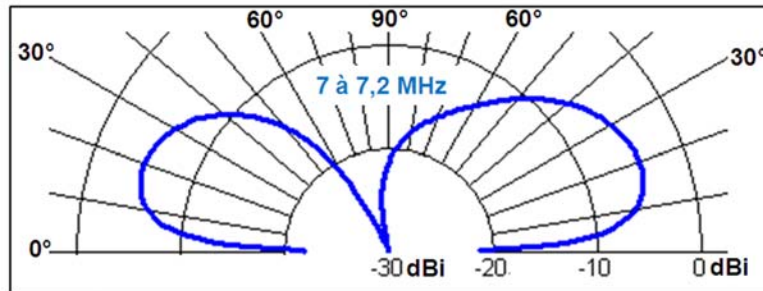


Figure 4 : **Diagramme vertical** (2 col)

Noter que la présence du sol n'augmente pas le champ lointain, mais le réduit un peu (à cause de la polarisation verticale). Le gain est tout à fait comparable à celui d'un quart d'onde au sol avec radians enterrés ⁽⁷⁾. Par ailleurs le diagramme est dissymétrique car j'ai replié à l'horizontale sur 3 m l'extrémité du coaxial (partie rayonnante) côté émetteur. Ceci pour favoriser le fonctionnement en NVIS (suppression de la zone d'ombre géographique d'une antenne strictement verticale, entre la propagation directe et la première réflexion ionosphérique).

Ce diagramme de rayonnement est exactement le même pour toute la bande 7 - 7,2 MHz (même gain). Ceci montre bien que le ROS n'intervient aucunement dans les performances d'une antenne. D'ailleurs le ROS n'est pas une grandeur physique, c'est une grandeur mathématique, tout à fait arbitraire vue de l'antenne. Si la référence pour le calcul du ROS est l'impédance de la ligne de transmission, on peut aussi bien avoir 50, 52, 72, 75, 77, 92, 93 ou 95Ω, pour ne parler que des lignes coaxiales usitées, sans que cela change quoi que ce soit pour l'antenne. Si l'on se réfère à l'impédance nominale de charge de l'émetteur (antenne directement connectée), on peut très bien avoir une impédance du genre "65Ω+j22Ω" pour une adaptation optimale. On voit alors qu'elle se ferait pour une antenne non résonante.

Bibliographie

"Comment ça marche" concernés :

Février 2011 : Le courant de gaine

Septembre 2011 : Electromagnétisme

Octobre 2011 : Ondes Hertziennes

Novembre 2011 : Rayonnement de l'antenne

Mai 2011 : Hauteur effective d'une antenne

Juin 2011 : Hauteur efficace d'une antenne

Juillet 2011 : Surface de captation d'une antenne

Avril 2013 : Le vecteur de Poynting

Octobre 2013 : La boucle dite "magnétique"

Articles de F5NB :

"Des ondes et des antennes" Mars 2005

"Généralités sur les antennes HF" Mai 2005

" L'antenne HF très courte en émission" Juin 2005

"Rendement des antennes raccourcies" Juillet 2005

"Pourquoi les antennes E-H fonctionnent comme n'importe quelles autres antennes" Février 2006

"En présence de courant, l'antenne fait de la résistance" Octobre 2008

"A propos de certaines idées reçues sur les antennes" Juillet 2015

"Analyse d'une antenne, le corrigé" Septembre 2015

Ces articles sont aussi consultables sur le blog de F6KRK "www.blog.f6krk.org" (catégorie "articles membres", puis "F5NB" ou "Bulletins et gazettes", puis "Comment ça marche ?").

Notes.

- 1) *On commémore cette année le centième anniversaire de l'énoncé de la théorie de la relativité générale par Einstein. Il a raconté que celle-ci lui était venue par raisonnement lors d'une montée dans un ascenseur. C'est là qu'il a compris le principe d'équivalence qui lie la gravitation et l'accélération. En poursuivant son raisonnement, il en a déduit que la gravitation (mouvement de masses) était le résultat d'une déformation de l'espace-temps. Mais aussi que cette déformation était liée aux masses en présence (je schématise). On voit que c'est un système complexe qui "se mord la queue". Einstein, qui n'était pas mathématicien a mis plusieurs années à formuler ses équations qui font appel à des objets mathématiques particuliers : les tenseurs. Ceux-ci généralisent l'expression des vecteurs à n dimensions. En l'occurrence il s'agit d'un vecteur à 4 dimensions (appelé aussi "quadrivecteur") et d'un tenseur d'ordre 2. Dans ce cas, on parle de "tenseur d'Einstein", de même que l'on parle du "tenseur de Maxwell" utilisé pour la résolution de ses équations. Une fois l'équation de la relativité générale formulée par Einstein et vérifiée par les mathématiciens, il restait à démontrer expérimentalement la validité de la théorie. Pour cela Einstein a appliqué son équation pour résoudre l'anomalie de la trajectoire de Mercure, en l'occurrence une précession (décalage du périhélie de 43' par siècle) inexplicable par la théorie Newtonienne de la gravitation. Les valeurs calculées par Einstein étaient exactement celles constatées par les astronomes. Depuis la théorie d'Einstein est constamment vérifiée et nous permet d'envoyer une sonde sur un astéroïde aux fins fonds de notre système solaire. Si l'on se trouve "génial", il reste encore à réunifier dans une même théorie celle des quanta et celle de la relativité générale. Einstein était désolé de ne pas y être parvenu. Il y a là un créneau à prendre, plutôt que de vouloir chambouler les lois de l'électromagnétisme. On aurait à coup sûr le prix Nobel de physique.*
*En ce qui concerne les relations entre la radio et la relativité, il faut avoir lu l'excellent article de F6FQX "**La radio, mère de la théorie de la relativité**", publié dans R-REF de juillet 2012. Pour approfondir le sujet, aller sur son site "<http://f6fqx.chez-alice.fr/>" et lire les articles N° 50, 49 et 38 (et les autres...).*
- 2) *Il y a une infinité d'impédances complexes qui occasionnent le même ROS. Par exemple sur la figure 3, il y en a deux qui donnent un ROS de 2,6 ($\approx 50+j50$ et $50-j50$). Les autres sont situées sur le cercle de ROS constant de 2,6 (pointillé vert).*
- 3) *Attention à conserver le facteur d'échelle. Si l'on veut tester une Isotron de 80 cm prévue pour la bande 80 m, il faut en fabriquer une de 10 cm pour la tester sur la bande des 10 m. Rappel : le rayonnement est proportionnel à L/λ , et pas à L . Si cela vous semble trop difficile à réaliser, faites une antenne de 21 cm et travaillez sur la bande des 20 m. Mais l'antenne demi-onde de référence aura une longueur double.*
- 4) *On peut aussi faire l'inverse si cela semble plus facile : rendre le point de mesure fixe et monter les antennes sur le véhicule. On peut aussi se passer du véhicule et déplacer les systèmes antennaires manuellement (mieux, mais plus long).*
- 5) *Antenne à jupe, antenne "center-fed", antenne à trappes, entre autres.*
- 6) *Attention, s'il faut prendre un coefficient de vélocité de 0,666 pour le signal qui transite dans le coaxial, pour celui qui chemine à sa périphérie, il faut prendre un coefficient de*

0,95 environ, facteur qui ne dépend que de la permittivité et de l'épaisseur du plastique entourant la gaine du coaxial.

- 7) Pour notre antenne, les pertes ont lieu principalement dans la bobine. Celles dans le sol sont faibles (moins de 1 dB) car le champ maximum se situe à 12,5 m de hauteur. Pour le monopôle au sol avec radians enterrés, le champ est maximum au niveau du sol et les pertes se font par absorption du champ réactif dans celui-ci.*