

**BULLETIN DES RADIOAMATEURS ET ECOUTEURS DE
LA MANCHE**

MONT SAINT MICHEL 2007

Salle Municipale de Beauvoir

20 mai 2007

LE LIEN DU 50

PAR L'ED REF-UNION 50

2007 Numéro 25

Avril -- Mai -- Juin

Made in Normandie



ORGANIGRAMME DE L'ÉTABLISSEMENT DÉPARTEMENTALE. ED/REF-50

Président : F6ACH Alain Bonhomme f6ach@wanadoo.fr
Secrétaire : F2RO Eugène Roptin f2ro@wanadoo.fr
Trésorier : F5HVI Alain Lore alain.lore@wanadoo.fr
Membres du C.A : F5TBL André f5tbl@wanadoo.fr
F9CH André f9ch@wanadoo.fr
QSL manager /Diplôme du 50 : F5RJM Denis
Responsable départemental D.F.C.F/D.M.F : F5MSC Bernard

Le "Lien du 50" est un bulletin associatif publié par l'ED/REF-50 paraissant 4 fois l'an. Il est ouvert à tous les radioamateurs et écouteurs.

Responsable de la publication : F6ACH Alain
Responsable rédaction/composition/saisie : F6ACH Alain
Responsable tirage/expédition : F5MSC Bernard
Abonnement 10 € l'an : F5HVI Alain

"Toute reproduction de maquettes, photos ou textes publiés dans ce numéro est interdite sans l'accord écrit de l'auteur. Les opinions exprimées dans les articles du Lien du 50 sont personnelles à leurs auteurs et n'engagent que ceux-ci. Elles sont publiées sous leur entière responsabilité et ne permettent pas de préjuger de celles de l'établissement départemental. Le lien du 50 n'est pas responsable des textes, illustrations, dessins et photos publiés qui engagent la responsabilité de leurs auteurs. Les articles à caractère manifestement diffamatoire, politique, raciste, ou xénophobe ne seront pas publiés. La mention de firmes, revues ou de produits commerciaux n'implique pas que ceux-ci soient agréés ou recommandés par le REF 50 de préférence à d'autres. Elle n'a qu'un caractère informatif. Les documents originaux peuvent être retournés après utilisation sur simple demande si une enveloppe self-adressée timbrée est fournie. En adressant des documents à la rédaction, l'expéditeur accepte de ce fait que le REF 50 en fasse usage dans d'autres productions, revues ou diffusions sur l'air que ce bulletin. La rédaction se réserve le droit de modifier, corriger, ou écourter les articles qui lui sont soumis. Si ces modifications dépassent la simple remise en forme, une épreuve de correction sera proposée à l'auteur avant publication".

Dessins "Ham radio clipart" de TK5NN - Dessins "Ham radio clipart" de WA8JBT

Adressez vos articles, informations, idées, suggestions etc... à F6ACH:

Alain BONHOMME-12 rue de Verdun-50350 Donville les Bains :
02.33.61.58.30- f6ach@wanadoo.fr

Pour garder le contact :

Qso départemental dominical : 144.575 MHz à 10h00locales

3645 kHz +/- qrm à 10h30locales

Qso locaux en semaine : 144.575 MHz vers 1800/1815 locales (région centre Manche et plus loin si correspondants)

Relais F1ZOV en transfert de site Il émet sur 433.375 MHz et reçoit sur 434.975 MHz

Bulletin hebdomadaire REF-Union Nationale : Relais 145.325 MHz le vendredi à 1900locales

Forum Egroupe du 50 : inscription :

<http://marconi.ref-union.org/cgi-bin/mailman/listinfo/list-dept50>

En cas de catastrophe :

Fréquence RUR 50 départementale : 145.450 MHz

Transpondeur RUR 50 : 144.575 / 432.400 MHz

Fréquence FNRASEC nationale 145.475 MHz

Fréquences décamétriques +/- qrm : 3632 – 7042 – 7082 – 10132 – 10142 kHz

Responsable départemental : F9CH André – email : f9ch@wanadoo.fr

LIGNE DE TRANSMISSION ET SWR

Article de ON4UN revue UBA

D'une manière générale, la ligne de transmission est le lien normal entre l'émetteur/récepteur et l'antenne. Nous verrons cependant que les lignes de transmission peuvent également servir à autre chose. Une ligne de transmission peut également servir comme condensateur, comme self ou comme transformateur.

Mais tenons nous en d'abord aux lignes de transmission en tant que telles. A savoir un lien entre l'antenne et l'émetteur/récepteur.

Quelles sont les exigences d'une ligne de transmission.

1. elle doit transporter l'énergie le plus efficacement possible
2. elle doit rester neutre, c'est-à-dire ne pas rayonner
3. elle doit être facile à installer et à manipuler.

Une ligne de transmission possède plusieurs caractéristiques:

1. son impédance
2. ses atténuations (pertes)
3. sa puissance maximum.

LES CABLES COAXIAUX 50 OHM ET 75 OHM

D'où proviennent les impédances classiques 50 et 75 Ohms ? Le calcul démontre que, pour un diamètre extérieur donné, un câble de 75 Ohm produit une perte minimum. Une impédance significativement plus petite (30 Ohm) permet de plus grandes puissances. L'impédance caractéristique de 50 Ohm est un compromis entre la réduction des pertes et la puissance admise. Pour le monde radioamateur (puissances relativement faibles), il n'y aurait aucune raison de ne pas utiliser le câble de 75 Ohm. Cependant, tous les appareils commerciaux ont une impédance nominale de 50 Ohm. Pour les étages finaux à transistors, utilisés sans coupleur d'antenne, cela pourrait causer des problèmes.

LIGNE ADAPTEE ET LIGNE A ONDES STATIONNAIRES

Si l'on ferme une ligne de transmission par son impédance caractéristique elle travaillera dans les conditions idéales. Nous avons alors une ligne "adaptée", c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'ondes stationnaires sur la ligne. Nous verrons plus loin ce que sont au juste les ondes stationnaires. L'impédance sera, en chaque point de la ligne, égale à l'impédance caractéristique de la ligne. Si la ligne était exempte de pertes (cela n'existe pas), le courant et la tension seraient en chaque point constants (en amplitude). Toutes les lignes de transmission présentent des pertes ainsi l'amplitude du courant et de la tension, même sur une ligne adaptée (SWR=1), diminuera d'une manière exponentielle tout au long de cette ligne.

LONGUEUR ET VITESSE DE PROPAGATION

Pour rappel, la longueur d'une ligne de transmission, (ou un point sur une ligne de transmission) est souvent exprimée en degrés (°). 360° équivaut à une longueur d'onde (électrique).

La longueur d'onde dans une ligne de transmission n'est pas identique à la longueur d'onde dans l'espace libre, à savoir la vitesse de propagation de la lumière (299.9)/ F. L'isolant de la ligne "ralentit" le déplacement (propagation) des ondes. Le ralentissement est en général quantifié par le terme "Velocity factor". Le "Velocity factor" (Vf) est le rapport de la vitesse de propagation dans le milieu concerné vis à vis de la vitesse de propagation de la lumière. Les câbles coaxiaux dont la matière isolante est le polyéthylène massif (PE) ont un Vf = 0.66.

Le "Velocity factor" peut être calculé au moyen de la constante diélectrique e du matériau $Vf = 100/\sqrt{e}$. L'e du Polyéthylène est 2,3. Donc Vf = 66%. Cela veut dire que la longueur d'onde dans un câble en polyéthylène expansé ne vaut que 66% de la longueur d'onde dans l'espace libre.

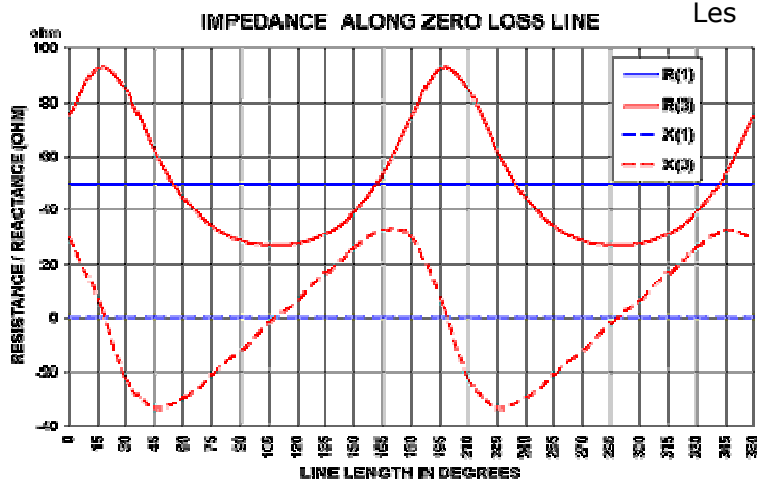


Figure 1

Les câbles coaxiaux en polyéthylène expansé (cellulaire) ont souvent un Vf compris entre 78% et 82%. Le Vf du Téflon est de 70%. Les lignes de transmission ouvertes (ex : 600 Ohm) ayant l'air pour isolant et maintenues espacées par des écarteurs en matériaux diélectriques de qualité, ont un coefficient de vélocité caractéristique Vf de 97 à 98%.

REPARTITION DES IMPEDANCES

La figure 1 montre la répartition des impédances le long d'une ligne de transmission sans pertes. Pour une ligne fermée sur son impédance caractéristique, on peut voir qu'aussi bien la partie réelle que la partie imaginaire restent constantes

tout au long de la ligne. ($R=50\text{ Ohm}$ et $X=0\text{ Ohm}$). Quand la ligne est fermée sur une impédance de $75 + j30\text{ Ohm}$, (SWR 1.9/1 par rapport à 50 Ohm) la partie réelle varie entre 100 Ohm et 28 Ohm environ et la partie imaginaire entre $+73\text{ Ohm}$ et -34 Ohm .

Evolution de l'impédance (R et X) le long de la ligne d'alimentation de 50 Ohm (sans pertes) d'une longueur d'onde de 360° . $R(1)$ et $X(1)$ donnent l'évolution pour une charge de 50 Ohm (lignes sans ondes stationnaires). $R(2)$ et $X(2)$ donnent l'évolution pour une charge d'impédance de $(75 + j30)\text{ Ohm}$.

Notez que l'on retrouve la même impédance de charge tous les 180° . Les lignes demi-onde (ou multiples de demi-onde) sont des transformateurs 1/1, quelle que soit l'impédance de la charge. Dès lors, si nous voulons mesurer l'impédance d'une antenne, sans pouvoir accéder à son point d'alimentation, nous pouvons connecter à l'antenne une ligne de transmission d'une demi longueur (ou d'un multiple de $1/2$ ondes) et mesurer à l'autre extrémité de la ligne. Ceci n'est valable à 100% que si la ligne de transmission est parfaite (sans perte) ce qui n'existe pas. Pour un résultat tout à fait exact, nous devons tenir compte des pertes, ce qui nécessite pas mal de calculs (un bon boulot pour un programme PC).

Evolution de l'impédance (mesurée tous les 180° à partir de la charge) le long d'une ligne avec (beaucoup) de pertes. Si la ligne est "longue" ou présente "beaucoup" de pertes, l'impédance convergera en définitive vers l'impédance caractéristique de la ligne même qui est aussi la charge

Si nous prenons une ligne avec pertes, la partie réelle de l'impédance s'affaiblira d'une manière exponentielle et tendra vers une valeur égale à l'impédance caractéristique du câble, alors que la partie imaginaire tendra d'une manière exponentielle vers 0. La figure 2 montre la répartition. Du fait que les valeurs se répètent tous les 180° , on ne voit pas les ondes entre ces distances. Au bout d'une ligne que l'on appelle ligne sans fin (ou "ligne longue" avec beaucoup de pertes), l'impédance sera toujours égale à l'impédance caractéristique de la ligne quelle que soit la valeur de la charge (on peut la laisser ouverte, ou la court-circuiter, ou y brancher n'importe quelle impédance. Cette sorte de ligne est une antenne fictive parfaite (dummy load).

Comme l'impédance le long d'une ligne "longue" avec pertes tend toujours vers l'impédance caractéristique de celle-ci, tout au long de cette ligne le SWR sera de plus en plus faible au fur et à mesure que l'on s'écarte de la charge. La **figure 2** montre également la répartition du SWR le long de la ligne.

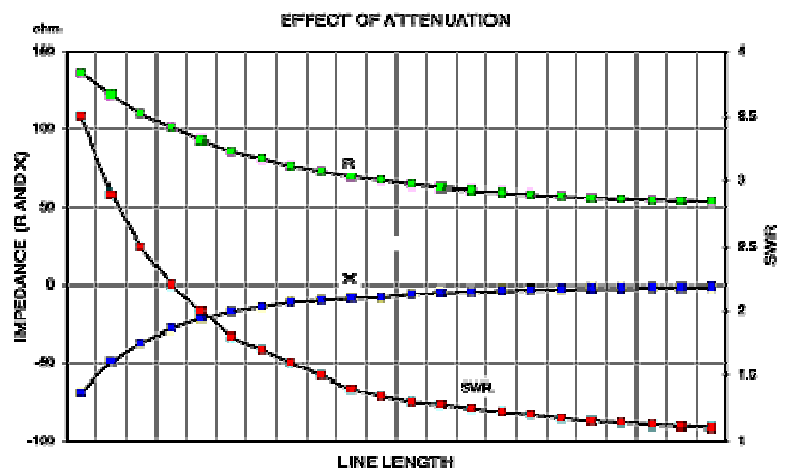


Figure 2

REPARTITION DU COURANT

Comme l'impédance d'une ligne (non adaptée) varie, le courant et la tension varieront également en chaque point. La **figure 3** montre la répartition du courant (sur une distance d'une longueur d'onde de 360°) pour une ligne adaptée et pour une ligne de 50 Ohm fermée sur $75+j30\text{ Ohm}$ (SWR = 1.9:1). Sur la ligne adaptée (sans pertes), l'amplitude du courant est constante et l'angle de phase une fonction linéaire. Autrement dit, la phase du courant est directement proportionnelle à la longueur de la ligne. En d'autres mots, le courant sera déphasé de 90° par rapport au générateur (ou à la charge) et déphasé de 90° par rapport au point où se trouve le générateur ou la charge. Ceci est une caractéristique importante. Parfois nous désirons utiliser ce que l'on appelle des "lignes à retard" avec lesquelles nous désirons produire un déphasage, par exemple pour grouper des antennes (Phased arrays). Nous en parlerons dans d'autres articles.

ONDES STATIONNAIRES

La grosse surprise survient quand on regarde l'évolution du courant le long d'une ligne non adaptée. Le courant présente une évolution périodique (présente une ressemblance unique avec un sinusöide). Nous observons donc des ventres (maximum de courant) et des nœuds de courant (minimum de courant).

La représentation de la répartition du courant (ainsi que de la tension) crée ce que nous appelons d'ordinaire les ondes stationnaires.

C'est la somme du courant transmis et du courant réfléchi. Ces courants sont en phase si la charge est purement ohmique. (Par ex: une résistance de 100 Ohms fermant une ligne de 50 Ohm) et, ils ont un déphasage différent si la ligne est chargée par une impédance complexe ($R \pm jX$).

Attardons nous encore un instant sur les ondes. Les ondes de courant et de tension transmises se déplacent vers la charge où, dans le cas d'une désadaptation de ligne, ils sont réfléchis, il est vrai avec une amplitude plus faible. Cette amplitude dépend du degré de désadaptation de la ligne. Autrement dit, si la désadaptation est grande, l'onde réfléchie sera également importante. Le degré de réflexion est donné par le coefficient de réflexion (ρ) que nous examinerons plus tard.

En d'autres mots, une première partie (importante) de l'énergie est concédée d'emblée à l'antenne et une seconde partie (plus faible) revient sur la ligne vers l'émetteur. L'onde réfléchie revient à l'émetteur où se situe normalement ce que l'on appelle un "Conjugate match". Un "Conjugate match" est un circuit d'adaptation des étages de l'émetteur (tuner d'antenne), qui s'arrange pour que l'impédance vue de la charge et celle vue de l'émetteur aient une partie réelle identique, mais une partie imaginaire de signe opposé. Ce type de "Conjugate Match" veille à ce que toute la puissance réfléchie vers l'émetteur soit renvoyée à 100% vers l'antenne. Cette onde réfléchie s'ajoute alors à l'onde principale venant de l'émetteur et, se déplacent ensemble vers l'antenne. Le phénomène se répète jusqu'à ce que finalement la plus grande partie de la puissance soit dissipée dans l'antenne.

Qu'advient-il de la partie restante ? Remarquons d'abord, que dans le cas (théorique) d'une ligne sans perte, toute la puissance serait finalement acheminée vers l'antenne. Aussi, les réflexions dureraient indéfiniment, avec des amplitudes de plus en plus petites.

Aussi il semble évident que le facteur temps intervienne dans un tel mécanisme. Car, sur la ligne à chaque voyage aller-retour, une partie de l'énergie sera émise par l'antenne mais avec un retard qui est déterminé par la longueur de cette ligne et par son coefficient de vélocité (V_f).

Nous pouvons illustrer ce phénomène physique par l'exemple d'un signal TV transmis de l'antenne vers le téléviseur par une ligne présentant une désadaptation importante. Le ralentissement provoqué par la ligne se traduira par l'apparition d'une image fantôme, due au fait que l'image est renvoyée "en éléments successifs", avec des amplitudes décroissantes et avec des déphasages (retard).

Une ligne télévisée dure à peu près 35ms. Prenons un coax ayant un facteur V_f de 0,66 d'une longueur de 100 m. Le déphasage qui se produira par voyage (aller-retour 200m) sera de $200 / (0,66 \times 300 \times 106) = 1\text{ms}$. Cela veut dire que sur une ligne d'écran T.V. de 35cm de long, on pourra observer une image fantôme avec un décalage de 10 mm.

Cette illustration du phénomène physique montre que le signal voyage vraiment (aller-retour) sur la ligne de transmission. Pour les lignes avec pertes, ces aller-retours seront responsables de pertes de puissance plus importantes que sur les lignes sans pertes. Nous reviendrons plus tard, sur ce sujet.

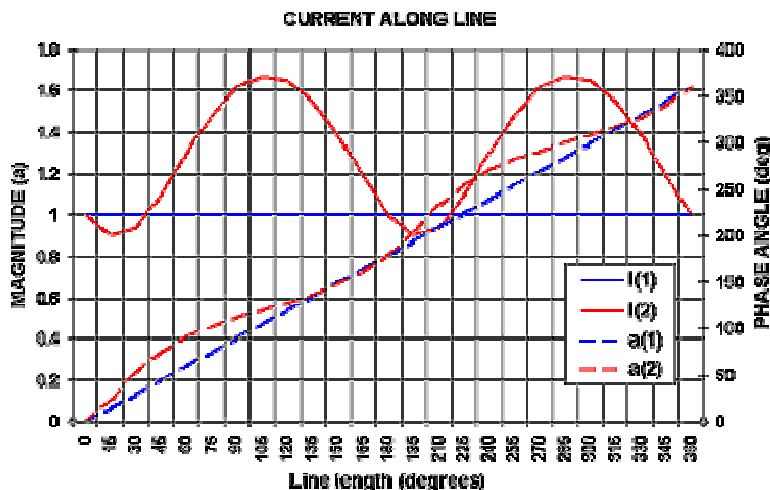


Figure 3

pas les ondes elles-mêmes. L'évolution de phase du courant et de la tension dans une ligne à ondes stationnaires est moins connue. Le déphasage n'est plus directement proportionnel à la longueur du câble. Dans notre exemple à la figure 3, une ligne longue de 90° produit un déphasage de 110° !

Remarquez aussi que pour une longueur de 180° (et multiples), le comportement est bien linéaire. Ceci est une propriété du transformateur demi-onde (les impédances se transforment en 1:1, les déphasages deviennent proportionnels à la longueur de la ligne donc 180°). Le fait que sur une ligne à ondes stationnaires, le déphasage n'est pas proportionnel à la longueur de la ligne, fut longtemps ignoré des radioamateurs. Ainsi, on utilisait dans les groupements d'antennes (phased arrays) différentes longueurs de lignes de transmission pour obtenir le déphasage voulu, en supposant que le déphasage était toujours proportionnel à la longueur de la ligne, quel que soit le SWR. Ceci est faux!

EVOLUTION DE LA TENSION

La **figure 4** montre l'évolution de la tension pour les mêmes lignes qu'aux figures 1 et 3. Ici aussi, on peut voir la répartition périodique de la tension, ainsi que l'évolution non linéaire du déphasage en fonction de la longueur. La figure est totalement analogue à celle de la répartition du courant. Sur ce graphique, on peut également voir le comportement particulier d'une longue ligne quart d'onde. Là également, pour une ligne fermée sur une charge non adaptée, on peut voir que l'amplitude de la tension au bout de la ligne quart d'onde est égale à la valeur de la partie réelle du courant au début de la ligne (dans notre exemple 1A) multiplié par l'impédance caractéristique du câble (50 Ohm).

La phase du courant est, en ce point, précisément de 90° par rapport à la phase de la tension au début de la ligne. Dans l'exemple du graphique, nous avons une ligne dont l'impédance caractéristique est de 50 Ohm fermée sur une charge de $Z = 75 + j30$ Ohm.

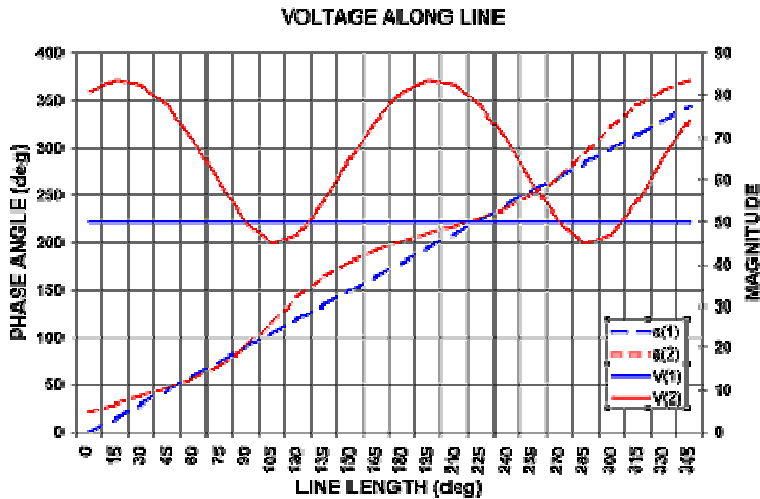


Figure 4

L'évolution de la tension répond à celle du courant. Nous avons à nouveau une évolution en forme d'onde avec des ventres et des nœuds. A partir de ce graphique, on peut également observer le SWR pour une ligne de 50 Ohm chargée de $(75+j30)$ Ohm. (SWR = 1.9).

Le courant du côté de la charge est de 1A ($j = 0^\circ$). La tension après le 1/4 d'onde (90°) est de 50V ($j = 90^\circ$). Ceci est une propriété très importante, fréquemment utilisée pour l'alimentation des éléments d'antennes composant un "Phased Array", puisqu'aux points d'alimentation des éléments du "Phased Array" nous voulons

connaître les COURANTS (Phase et Amplitude).

Si nous alimentons les éléments de l'array avec des lignes quart d'onde, nous devons seulement nous assurer que les tensions soient dans les limites acceptables. Les tensions sont plus faciles à mesurer (Voltmètre) que les courants. Il est souvent difficile d'arriver au point d'alimentation d'un élément. Plus de détails dans notre prochain article sur les antennes groupées.

PUISSANCE ADMISSIBLE

Si vous observez le tracé de l'amplitude de la tension (et du courant) dans une ligne à ondes stationnaires, (figures 3 et 4) vous comprendrez qu'une telle ligne ne peut pas transporter l'énergie aussi efficacement que la même ligne sans ondes stationnaires. Il peut même y avoir des points où la tension peut monter plus haut qu'autorisé, ainsi que des courants localement élevés pouvant endommager mécaniquement le diélectrique (souvent en polyéthylène) et provoquer des courts-circuits.

La tension effective maximum sur la ligne est : $E_{max} = \sqrt{P \times Z_0 \times SWR}$, où P = la puissance dans la ligne, Z_0 = l'impédance caractéristique de la ligne. Pour évaluer la tension admissible pour le câble, nous devons tenir compte des tensions de pointe. Cela veut dire que nous devons encore une fois multiplier E_{max} par $\sqrt{2}$ (=1.41). Prenons le cas d'une ligne dont le SWR est 1.9 et la puissance de 1500 Watt. La tension maximum de pointe est $E_{max}(peak) = 532$ Volt. Le courant maximum de pointe est calculé de la même façon $I_{max}(eff) = \sqrt{SWR} \times P/Z_0$.

Dans notre exemple $I_{max}(eff) = 5.4$ et $I_{max}(peak) = 7.7A$.

LES PERTES DANS LA LIGNE

La **figure 5** montre la répartition de la tension et du courant sur le même graphique. Notez que les ventres de tension coïncident avec les nœuds de tension et vice-versa. C'est logique, puisqu'au plus grand est le courant, au plus faible est la tension. Il y a donc une dissipation supplémentaire dans le câble ! Notez aussi la répartition du déphasage du courant et de la tension. La différence de phase varie entre le courant et la tension d'une manière périodique et, est égale à zéro aux points de la ligne où la partie imaginaire de l'impédance est zéro (comparez avec la figure 1). Ces points se répètent sur la ligne tous les 90° .

La répétition périodique des nœuds et des ventres, aussi bien de courant que de tension, est la raison pour laquelle une ligne à ondes stationnaires donne plus de pertes qu'une ligne à ondes progressives. En effet, dans les ventres de courant il y a des pertes Ohmiques (résistance série, due au cuivre), et dans les ventres de tension il y a des pertes de résistance parallèle (diélectrique). Ceci est une

manière d'expliquer le phénomène des pertes.

On peut cependant voir le phénomène des pertes d'une autre manière. Revenons un instant aux ondes voyageant aller-retour dans la ligne. A chaque voyage (de l'émetteur vers l'antenne et retour), une ligne présentant des pertes est parcourue.

Evolution de la tension et du courant (amplitude et phase) sur une ligne avec SWR. ($Z=75+j30$ Ohm et $Z_k = 50$ Ohm). Observez l'évolution du déphasage entre courant et tension. Ils sont tous les deux en phase là où l'impédance est purement Ohmique (après 17° , 107° etc ...), voir aussi la Fig. 1. Notez aussi qu'aux points où l'amplitude de la tension est la plus élevée, celle du courant est la plus faible. Il n'y a donc pas de "puissance" complémentaire créée dans la ligne. Cela veut dire qu'à chaque voyage, une partie de la puissance est perdue (transformée en chaleur dans la ligne).

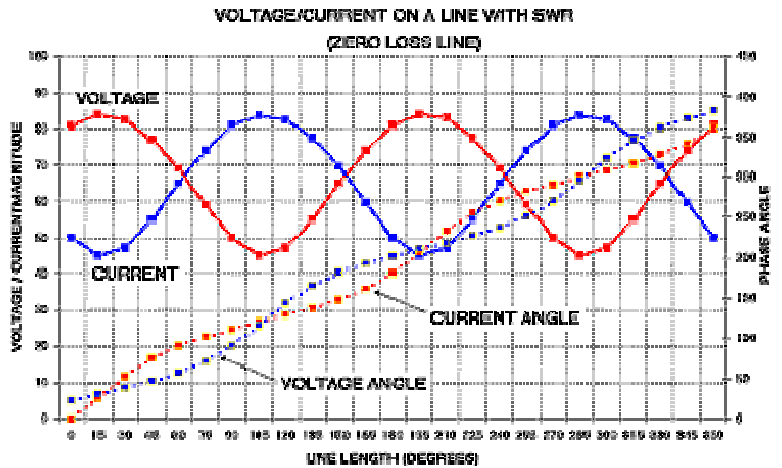


Figure 5

La perte totale, dans une "ligne réelle", peut être subdivisée en deux parties : les pertes nominales (pertes d'une ligne parfaitement adaptée où l'on tient compte d'un demi trajet) et une perte supplémentaire due à une désadaptation (où l'onde continue à "circuler" aller-retour). Avec des désadaptations importantes et des lignes à grandes pertes nominales, les pertes supplémentaires peuvent être très significatives.

Quelques exemples relevant d'expériences pratiques : un câble de 30 m de RG58U, fermé sur une charge de 50 Ohm donne une atténuation de 7dB pour 144 MHz. Cela veut dire que si on applique 100 Watt, il n'en sort que 20 (20% d'efficacité). Le reste sera dissipé en chaleur. Le même coax, sur la même fréquence mais fermé par une impédance de $150-j100$ ($SWR=4.1:1$) donne une perte de 9.1dB (1% d'efficacité). Une atténuation de 2.1dB est venue s'ajouter à cause des ondes stationnaires.

Notez aussi que le SWR de 4.1:1 à la charge retombe à 1.3:1 au générateur à cause des pertes ! Voilà pourquoi, si vous voulez connaître l'adaptation d'une charge (antenne), vous devez mesurer le SWR du côté de l'antenne.

Regardons ce qui se passe si, au lieu d'un câble "très ordinaire" RG58, on utilise un câble "de haute qualité", du 7/8 inch hardline. Pour la même longueur de 30 m, on note seulement 0.7dB pour une adaptation parfaite. Ceci veut dire que des 100 watts envoyés, 85 sont transmis vers le bout de la ligne.

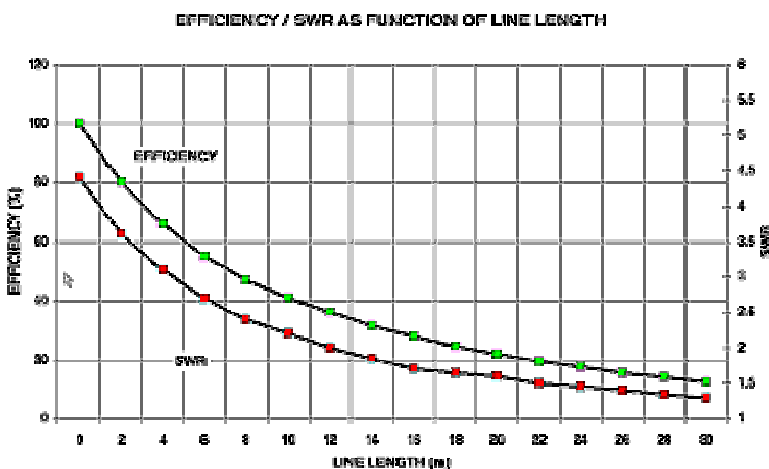


Figure 6

Evolution du transfert de puissance et du SWR le long d'une ligne coaxiale d'alimentation (RG 58) de 30 m de long, fermée par une charge de $(150 + j100)$ Ohm. Le SWR, qui est de 4 : 1 au niveau de la charge, n'est plus que de 1.3 : 1 vers l'extrémité du câble, et presque 90% de la puissance est perdue (transformée en chaleur) dans le câble.

Pour cette même ligne, la désadaptation précédente ($150 - j100$ Ohm) donnerait les résultats suivants : total des pertes: 1.72dB, 72% d'efficacité (72 watt transmis au bout de la ligne) et un SWR mesuré de 3.3:1.

Remarquez, que d'une manière relative, la portion de SWR dans l'atténuation totale est beaucoup plus grande pour le "gros" câble que pour son petit frère. C'est logique. Pour le petit frère à cause des pertes nominales, (premier demi trajet sur la ligne), il y a déjà beaucoup de pertes sur le trajet vers l'antenne. Il reste alors très peu de puissance pour accomplir le voyage de retour. Dans une ligne à pertes nominales minimales (un gros coax), l'onde voyagera aller-retour pendant plus longtemps. Et par rapport à l'atténuation nominale, une part plus grande de la puissance perdue sera dissipée en chaleur dans la ligne à cause du nombre plus élevé de voyages aller-retour. Nous pouvons donc dire qu'une ligne à faible perte et à SWR élevé se comporte comme un système dont le facteur Q est élevé

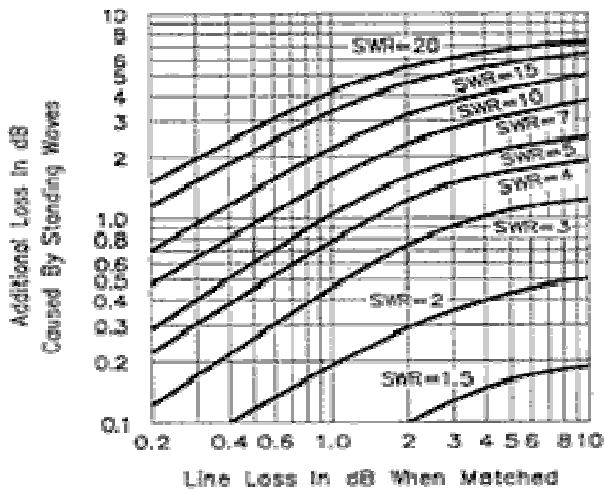


Figure 7

m de RG58 fermé par une charge de 150+j100 Ohm (SWR 4.4:1)

Le fait que le SWR soit différent en début et en fin de ligne (à cause du phénomène des pertes supplémentaires), nous permet aussi de mesurer l'atténuation en mesurant le SWR, la ligne étant ouverte ou fermée (SWR infini du côté éloigné).

La **figure 7** montre la relation entre le SWR mesuré et l'atténuation nominale de la ligne. Pour effectuer une mesure correcte, les pertes doivent être telles que le SWR mesuré soit inférieur à 4:1.

SWR

En fait, jusqu'à présent j'ai essayé, en vain d'ailleurs, d'utiliser le moins possible l'expression SWR. SWR c'est principalement "quelque chose" que le radioamateur pense bien connaître. En premier lieu parce qu'il existe des appareils qui sont censés le mesurer plus ou moins correctement (comme s'il s'agissait d'un voltmètre ou d'un ampèremètre). Mais il y a tant de fausses idées concernant le SWR ! Il existe une définition technique du SWR : le rapport de la tension maximum à la tension minimum sur la ligne (nœuds et ventres adjacents), ou encore le rapport minimum et maximum du courant dans la ligne. Voir figures 1 et 3. Le courant maximum est de 1.7 A et le minimum est 0.9A. Le SWR est donc 1.68A/0.9A= 1.9.

Pour les tensions SWR=84V/45V=1.9.

SWR veut dire rapport d'ondes stationnaires. C'est un rapport de courant ou de tension. Un rapport d'Ampères divisés par des Ampères, ou de Volts divisés par des Volts. C'est donc un nombre abstrait. Pour insister sur le fait qu'il s'agit bien d'un rapport, le SWR est souvent représenté sous forme de fraction. Par ex : un SWR de 3 est souvent écrit comme 3:1.

Pour mesurer le rapport d'ondes stationnaires, nous ne devons évidemment pas mesurer les tensions sur la ligne. Il existe un certain nombre d'appareils, parmi lesquels le BIRD (Model 43) coupleur/wattmètre directionnel, probablement le plus connu et le plus précis des appareils de mesure (pour les applications radioamateur). Grâce au coupleur directionnel, on peut mesurer la puissance directe (forward) et la puissance réfléchi (reflected). Notez bien, que la puissance directe n'est pas égale à celle de l'émetteur !

Calcul de la puissance directe (Pf) :

$$PF = P \times (1 / (1 - |\text{Rho}|^2))$$

P = puissance de sortie de l'émetteur

Rho = coefficient de reflexion

$$|\text{Rho}| = (\text{SWR}-1) / (\text{SWR}+1)$$

Dans l'exemple: SWR = 1.9:1

$$\text{Rho} = 0.31$$

$$PF = 110.6.$$

La puissance de sortie est égale à la puissance directe MOINS la puissance réfléchi. Le SWR est calculé à partir des deux puissances mesurées de la manière suivante :

$$\text{SWR} = (1 + \sqrt{P_R / P_F}) / (1 - \sqrt{P_R / P_F})$$

PF = puissance directe

PR = puissance réfléchi

Dans notre exemple, nous avons une puissance directe mesurée de 110.6 Watt et réfléchi de 10.6 Watt. Ces valeurs, dans les comparaisons ci-dessus, donnent un SWR de 1.9.

On peut également calculer le SWR en connaissant l'impédance de charge (ZL) et l'impédance

De la valeur du SWR, mesuré en bout d'une ligne court-circuitée (ou ouverte) on peut déduire les atténuations de la ligne. Pour réduire au minimum les erreurs de mesure, le SWR ne doit pas dépasser 3. Ce qui veut dire que les pertes dans le câble doivent être au plus d'environ 3dB. Si on veut utiliser cette méthode pour des câbles courts, il faut choisir une fréquence de test plus élevée. Si nous voulions par cette méthode, mesurer l'atténuation du RG 213 à 3.5 MHz, il faudrait un câble de 250 m de long pour obtenir un résultat fiable ! A 14 MHz, il faudrait une longueur de 100 m. Et à 144 MHz, une longueur de 35 m.

La **figure 6** montre la réparation du transfert de puissance et du SWR pour une longueur de coax de 30

caractéristique de la ligne (Z_0). En connaissant les deux valeurs, voici le calcul du coefficient de réflexion (ρ) :

$$|\rho| = \frac{\sqrt{(R_z - R_0)^2 + X_z^2}}{\sqrt{(R_z + R_0)^2 + X_z^2}}$$

R_0 = impédance caractéristique câble

R_a = partie réelle de l'impédance de charge

X_a = partie imaginaire (réactive) de l'impédance de charge

$$SWR = (1 + |\rho|) / (1 - |\rho|)$$

Dans notre exemple: $\rho = 0.31$, d'où $SWR = 1.9:1$

Fin des mathématiques ! En un langage un peu plus humain : le "SWR indique la qualité de l'adaptation d'une charge (antenne) à l'impédance caractéristique d'une ligne de transmission". **On ne peut donc jamais parler du SWR d'une antenne.** Une antenne (charge) a une impédance, ou mieux encore une répartition de l'impédance (en fonction de la fréquence). Et le SWR décrit tout simplement l'état d'une ligne de transmission (pas celui de l'antenne) qui est produit par la charge d'une ligne à l'antenne. L'expression parle d'elle-même : "Rapport d'ondes stationnaires". Nous n'avons d'ondes stationnaires que pour autant que nous ayons une onde directe et une onde réfléchi. Et pour cela il faut, et une ligne de transmission, et une antenne (ou plus généralement "une charge") qui la ferme. Avec l'(impédance de l')antenne seule, on ne peut strictement pas parler de SWR. On peut parler correctement de SWR quand il s'agit d'une ligne de 50 Ohm chargée par une antenne ayant une certaine impédance.

Dans le prochain article, nous verrons les bonnes et les mauvaises raisons de rechercher un SWR réduit.

On peut également quantifier le phénomène d'ondes stationnaires d'une autre manière que par le SWR (Rapport d'onde stationnaires). Dans les milieux professionnels ont employé souvent le terme de "Return loss" (Pertes par retour).

Le return loss (R_d) est donné par la formule suivante :

$$(R_d) = 20 \times \log |\rho| = 20 \times \log [(SWR-1)/(SWR+1)]$$

Comme tous les logarithmes de rapports, ces grandeurs peuvent s'exprimer en dB.

SWR	Rho	Rd
3	.5	6dB
2	.33	9.6dB
1.5	.2	14dB
1.3	.13	17.8dB
1.2	.091	20.8dB
1.1	.048	26.4dB
1.05	.024	32.4dB
1.01	.005	46dB

QUELQUES MAUVAISES INTERPRETATIONS

J'ai souvent entendu dire que le SWR variait lorsque l'on changeait la longueur d'une ligne de transmission (ajout d'un morceau de câble). Ce n'est vraiment PAS cela du tout ! Ce qui change vraiment, c'est l'impédance, la tension et le courant. Si l'appareil que vous utilisez est "vraiment" un SWR mètre, il ne peut indiquer une variation de SWR quand la longueur change, sauf bien entendu légèrement pour ce qui est dû aux atténuations (la valeur du SWR croît au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'antenne). Des mesures incorrectes peuvent éventuellement être causées par des courants HF sur la tresse de masse du câble. On peut éviter ce phénomène en découplant la tresse du câble par un "current choke", réalisé en enfilant un nombre d'anneaux de ferrite du câble, insérant ainsi une haute impédance dans la tresse extérieure du câble.

Une autre mauvaise interprétation souvent entendue, est qu'une ligne avec SWR "rayonne". Il n'y a aucune relation entre une ligne "rayonnante" et le SWR. Si l'on utilise une ligne coaxiale et que le point d'alimentation est asymétrique (un point est au potentiel 0) alors tout le courant circulera DANS (littéralement à l'intérieur) du câble coaxial. Il n'y a de champ électromagnétique que dans le coax, entre le conducteur central et la tresse extérieure. Vu de l'extérieur, le câble coaxial équivaut à un

conducteur unique dans lequel ne circule aucun courant. Aussi comme il n'y a aucun champ électromagnétique autour de ce conducteur, évidemment il ne rayonne pas. Par contre, si un câble coaxial (asymétrique) est connecté à une charge symétrique (par ex : un dipôle attaché directement au coax), il y aura circulation de courant HF SUR la tresse extérieure du câble, ce qui a pour conséquence un rayonnement de la tresse extérieure (la tresse extérieure agit alors comme un conducteur normal). Ces courants peuvent provoquer des anomalies de fonctionnement du SWR mètre. Ces deux phénomènes cumulés sont probablement la source du mythe qu'une ligne avec un SWR rayonne !

Si nous avons une ligne de transmission parallèle, les courants et les tensions dans les deux fils seront parfaitement en opposition de phase, si la charge est parfaitement symétrique (ex : un dipôle). De vraies lignes ouvertes (ex : les lignes 600 Ohm) sont souvent utilisées avec un SWR très élevé, par exemple avec une antenne Levy multibande. Le fait qu'en tout point de la ligne les courants et les tensions sont en opposition de phase, aura pour effet que les champs produits par les courants s'annuleront mutuellement (à longue distance). Il est très important d'avoir une ligne symétrique fermée par une charge symétrique, sinon la ligne rayonnera. Dans l'environnement immédiat d'une ligne ouverte, et même si la ligne opère d'une façon parfaitement symétrique, il y a des champs éparpillés. Ceci peut être mis en évidence en promenant un tube Néon tout le long d'une ligne ouverte qui transporte de l'énergie.

CONCLUSIONS

Retenons de cet article que :

- Le SWR n'est pas la caractéristique d'une antenne et qu'il ne dit rien au sujet du fonctionnement de l'antenne.
- Le SWR est un rapport de tensions ou de courants (entre les ondes aller et retour d'une ligne de transmission) et donc un nombre abstrait; il n'est jamais plus petit que 1.
- Les ondes stationnaires sont uniquement causées par la désadaptation (littéralement : la non adaptation) entre l'antenne (impédance) et (l'impédance caractéristique de) la ligne de transmission
- Le déphasage (en courant et en tension) causé par la longueur du câble est directement proportionnel à la longueur à la seule condition que SWR = 1 (pas de réflexion) ainsi que pour tous les points situés à 180°.
- Une ligne quart d'onde possède une caractéristique exceptionnelle (relation tension, courant, impédance), qui est utilisée dans les modes "current forcing" d'alimentation des antennes groupées (phased array).
- Le SWR mesuré du côté générateur (émetteur/récepteur) est toujours plus faible que du côté de l'antenne.
- Un gros câble coaxial n'est nécessaire que pour des raisons de puissance.
- Le SWR ne change pas (excepté d'une manière exponentielle lente de la charge vers le générateur) d'un point à un autre sur la ligne. Si un appareil vous indique cela, il s'agit d'une erreur de mesure ou d'un appareil défectueux ou encore de courants HF circulant sur la gaine du coax.
- Si l'émetteur est bien adapté, la puissance réfléchi ne retourne pas dans l'étage final, mais reste dans le coax ou est absorbé par l'antenne.
- La puissance directe (forward power) n'est pas égale à la puissance de sortie de l'émetteur.

Article écrit par ON4UN

@@

De Benoit F8PDR:

Le classement des départements est paru dans le Radio Ref .Moins bon que l'année dernière , nous perdons trois places nous nous relâchons les copains :

Année 2005	Thf : 55 eme place	2006 :	Thf: 44eme
	Cw : 9eme		Cw: 12 eme
	Ssb : 51 éme		Ssb: 63 eme

Il n'y a que les thf qui se démarque, a vos micros manips et bonne année 2007

@@

PETITES ANNONCES

VENTE :

Antenne verticale DX 88

TX FT11R (VHF)

Contacteur PaulF5ONF) au 02.33.21.43.65

@@

MONT SAINT MICHEL 2007

SALLE MUNICIPALE de BEAUVOIR

20 mai 2007

Réunion annuelle des Oms de la Manche et d'ailleurs

Brocante et rencontre Oms suivi d'un repas

Brocante : la table 10€ si vous ajoutez 7€ vous avez le gastro

Gastro : 17€ par personne

Réservez : à l'aide d'une QSL bancaire au nom du Radio Club de Granville

Tésorier :

F6CMC

Mr Millet René

L'Aumoire

50410 Morigny

ARAM 53

Nos amis de l'ARAM 53 se sont penché sur le problème de l'interface entre PC et TX pour la SSTV FAX.....

Après plusieurs adaptations ils sont arrivés à la version qu'ils nous ont communiqués et que nous pouvons diffuser dans notre bulletin. Ils envisagent de faire réaliser des CI. Le prix de revient actuel est estimé à 40€ hors coffret.

Pour plus d'infos contactez F5MNH@wanadoo.fr (Président ARAM53)

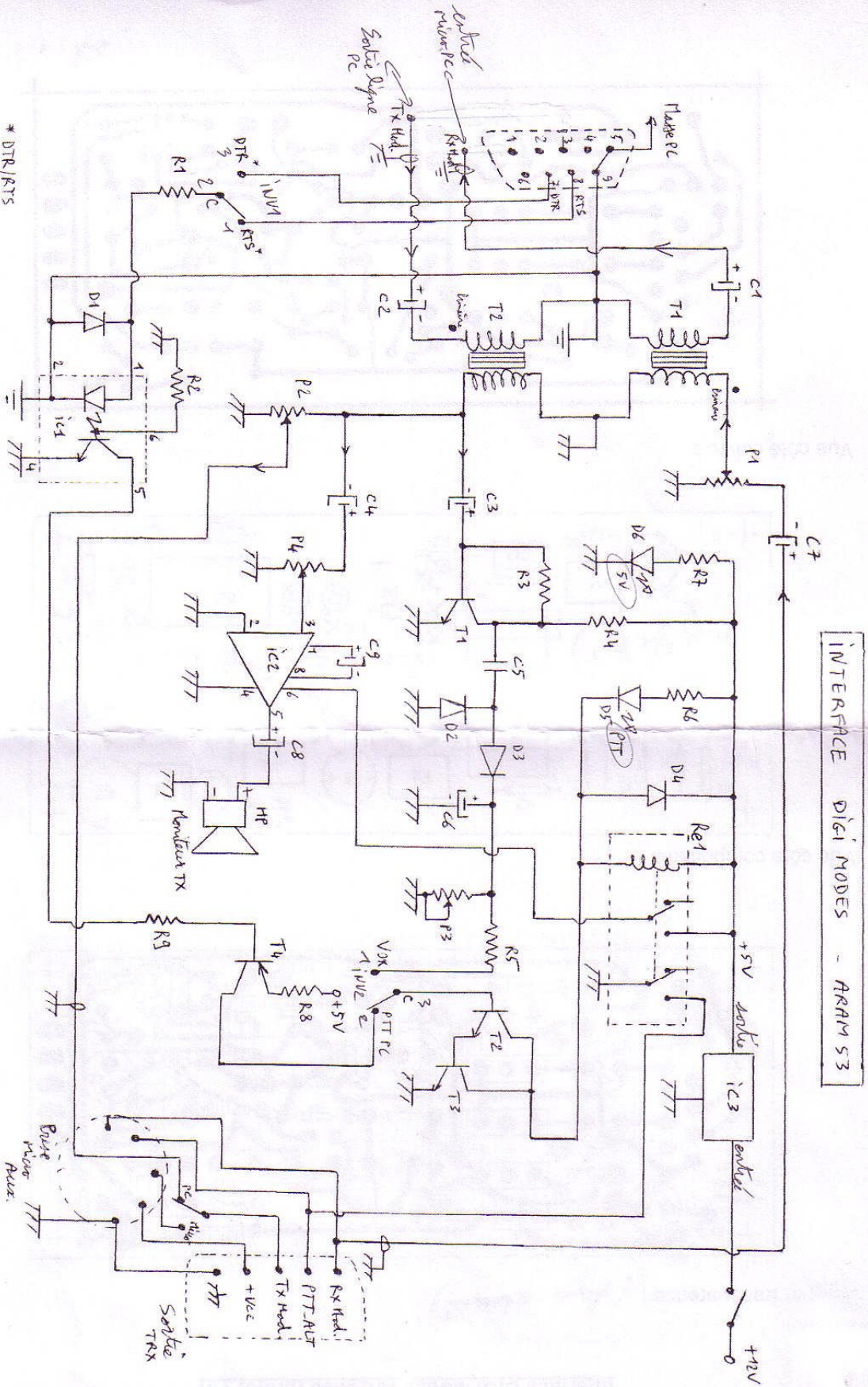
Nomenclature interface Digi-modes

R1	Résistance 1 K 1/2 W
R2	Résistance 1,2 M 1/2 W (1,5M)
R3	Résistance 100 K 1/2 W
R4	Résistance 4,7 K 1/2 W
R5	Résistance 4,7 K 1/2 W
R6	Résistance 330 R 1/2 W
R7	Résistance 330 R 1/2 W
R8	Résistance 8,2 K 1/2 W
R9	Résistance 22 K 1/2 W
C1	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C2	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C3	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C4	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C5	Condensateur MKT 100 nF 63V
C6	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C7	Condensateur chimique 10 µF 63V radial
C8	Condensateur chimique 330 µF 16V radial
C9	Condensateur 10 µF 63V radial (facultatif)
D1	Diode 1N4148 ou 1N4001
D2	Diode 1N4148 ou 1N4001
D3	Diode 1N4148 ou 1N4001
D4	Diode 1N4148 ou 1N4001
D5	Led rouge standard diam. 5 mm
D6	Led verte standard diam. 5 mm
P1	Résistance ajustable 10K horizontale
P2	Résistance ajustable 10K horizontale
P3	Résistance ajustable 100K horizontale
P4	Potentiomètre 10 K (axe 6 mm)
T1	Transistor 2N2222A
T2	Transistor 2N2222A
T3	Transistor 2N2222A
T4	Transistor 2N2907A
CI1	Opto coupleur SL5500
CI2	Ampli BF LM386N3
CI3	Régulateur 5V 7805CV (boitier TO220)
Re1	Relais 5V 2RT non polarisé G5V-2 OMRON
Tr1	Transformateur téléphonie 600/600
Tr2	Transformateur téléphonie 600/600

SCHEMAT de l'INTERFACE

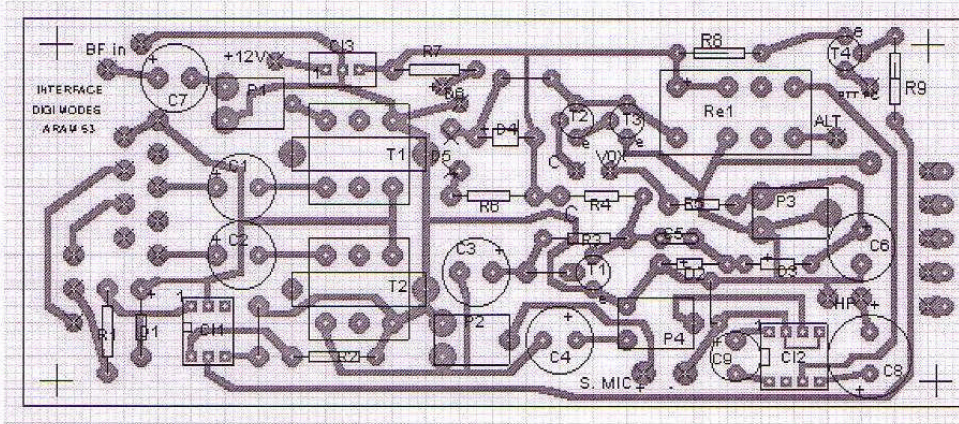
* DTR/RTS
 driver PTT for PC

C9: facultatif

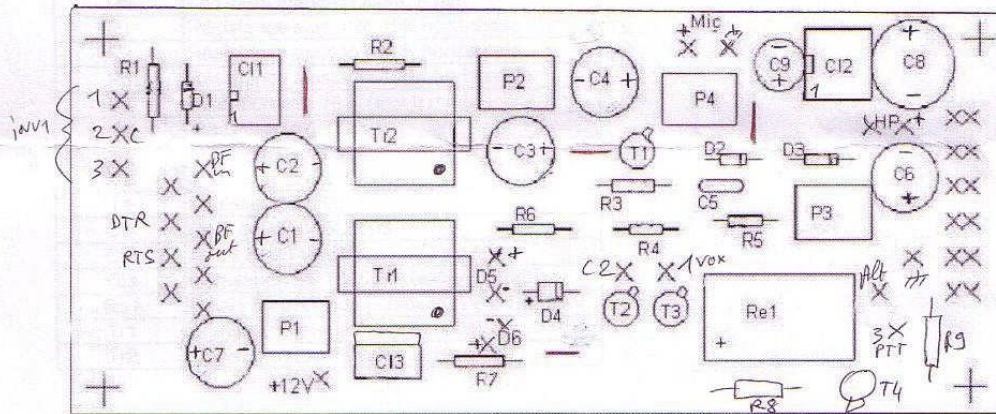


Interface DIGI Modes ARAM53 (projet V3)

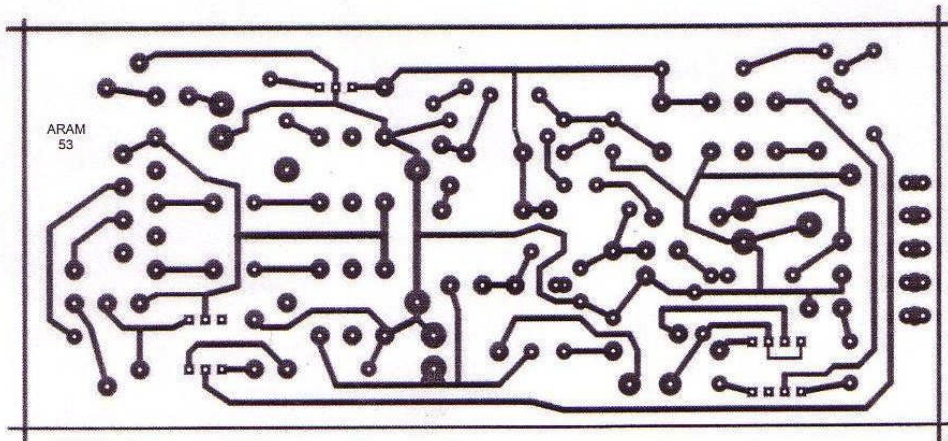
Vue par transparence : *(plaque retournée)*



Vue côté composants :



Vue côté cuivre :



ech 1:1