

# ROS-mètre 137 kHz

## (Retour sur le ROS-mètre de FR1HF)

Robert BERRANGER F5NB

*Dans le Radio-REF de janvier 2012, FR1HF nous a fait la description d'un ROS-mètre pour la bande 137 kHz. Comme il sollicitait des commentaires sur sa réalisation, je me suis permis de le faire. Je me suis ensuite lancé moi-même dans la réalisation d'un ROS-mètre 137 kHz pour vous en faire la description.*

### 1<sup>ère</sup> partie : le ROS-mètre de FR1HF.

Nous avons sur la figure 1 son schéma de réalisation et le schéma générique de base.

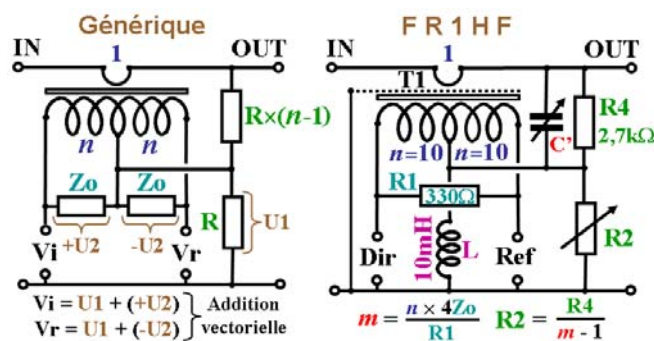


Figure 1.

Je n'ai pas fait figurer les détecteurs. En effet, ceux-ci n'ont aucune influence sur le fonctionnement s'ils sont à haute impédance, et c'est le cas pour FR1HF (ils permettent simplement de mesurer les valeurs absolues de  $V_i$  et  $V_r$  pour pouvoir en effectuer la comparaison).  $Z_0$  est l'impédance caractéristique du ROS-mètre. Pour celui de FR1HF, elle dépend de  $R_2$  qui théoriquement est égale à 534 Ω pour  $Z_0 = 50\Omega$ .

### Principe de fonctionnement

Je cite FR1HF : " grâce à un transformateur d'intensité, il s'agit d'additionner les signaux directs et réfléchis provenant des courants correspondants circulant dans une résistance  $R_1$ , d'où des tensions directes et réfléchies..." (la suite n'appelle pas de commentaire particulier). Cette explication est techniquement erronée et me laisse perplexe car l'OM fait référence par ailleurs à mon dernier article sur le sujet où je pensais avoir expliqué clairement le principe du ROS-mètre. Cela remet en cause mes capacités pédagogiques. Je vais donc essayer une autre méthode.

### Remarques et réflexions :

- C'est un transfo de courant, l'intensité étant la mesure du débit du courant (coulombs par secondes ou ampères). Je rappelle que "transfo de courant" et "transfo de tension" se réfèrent à l'usage que l'on en fait, car physiquement c'est le même transfo.

- Les signaux ne sont pas engendrés par les courants qui circulent dans R1, c'est le courant dans R1 qui est engendré par le signal qui est un champ électromagnétique.
- Il n'y a qu'un seul champ E-M et donc, il n'y a qu'un seul courant
- La puissance réfléchie n'a pas de signification physique (convention mathématique) quand nous avons affaire à un système stationnaire (obligé pour avoir des ondes stationnaires). Système stationnaire veut dire que l'amplitude et la phase du signal généré ne changent pas avec le temps (signal CW).
- Donc cela fonctionne autrement. Pour l'expliquer on considère que la ligne en présence de ROS a un comportement réactif (expressions complexes du courant et de la tension). Noter que si l'on utilise le champ E-M au lieu du courant et de la tension, on fait la même chose en faisant appel au calcul du vecteur de Poynting complexe, correspondant à la caractérisation d'un champ réactif.
- Les notions de puissance directe et de puissance réfléchie sont une extrapolation mathématique des notions d'énergie directe et d'énergie réfléchie qui existent physiquement dans les systèmes transitoires (impulsionnels). Attention avec les mathématiques. C'est un grand mathématicien (Henri Poincaré, je crois) qui disait : "Les mathématiques sont la seule science où l'on ne sait pas vraiment de quoi l'on parle, ni si ce que l'on dit est vrai". J'ajoute que cela importe peu si les résultats auxquels conduisent les calculs sont vérifiables expérimentalement. Il en va ainsi des calculs de rayonnement d'une antenne qui sont basés sur le "retard des potentiels" et qui donnent des résultats physiques conformes aux calculs. Même le grand Maxwell a utilisé un artifice mathématique, le "courant de déplacement", dans son système d'équations sur l'électromagnétisme, toujours en vigueur <sup>(1)</sup>.

### *Alors, comment ça marche ?*

- Tout d'abord, on part du principe qu'une grandeur complexe est représentée par un vecteur qui est l'addition de deux vecteurs en quadrature (déphasés de 90°). Le calcul de la puissance qui **transite** dans une ligne est le résultat de la multiplication **scalaire** des vecteurs courant et tension en un point de la ligne ( $P = U \times I \times \cos(\varphi)$ ).
- Prenons le vecteur tension comme référence de phase. Nous pouvons alors décomposer le vecteur courant en deux vecteurs, l'un en phase avec la tension, et l'autre en quadrature.
- Calcul des puissances : La puissance mesure une énergie qui est dépensée pendant une seconde. La puissance transmise en watts s'obtient en multipliant les modules des vecteurs en phase (énergie réelle). En multipliant les modules des vecteurs en quadrature, nous obtenons une puissance équivalente en V.A.R. (énergie réactive), et en multipliant les modules des vecteurs originaux nous obtenons une puissance "apparente" en V.A. (composition vectorielle des vecteurs "énergies").
- Concrètement, cela nous mène à quoi ? Qu'il va falloir se servir du courant et de la tension en un point, les mesurer en amplitudes et en phase relative et faire les calculs qui vont bien. Mais nous, nous ne voulons pas calculer les puissances, mais le rapport d'onde stationnaire dans la ligne.
- La formation des ondes stationnaires se fait pendant la période de démarrage, dite période transitoire où effectivement il y a une onde réfléchie. Mais même pendant ce temps là, il n'y a pas circulation d'énergie vers la source, il n'y a qu'une onde (voir l'annexe 2). Attention à ce que recouvre le terme "onde". Celui-ci est une expression mathématique comportementale, il n'a pas de correspondance physique. On n'a que le courant et la tension. Même pour les champs, on ne sait pas ce qu'ils sont physiquement. On ne les connaît que par leurs relations mathématiques avec le courant et la tension dans une antenne.

- Avec du ROS dans une ligne, il n'y a pas une onde stationnaire, mais deux, l'une en tension et l'autre en courant. Elles ont la même amplitude, mais sont décalées de 90° en phase et donc en espace, fonction de la vitesse de propagation dans la ligne. Elles sont le résultat de la combinaison d'une énergie active dont la densité est constante le long de la ligne avec une énergie réactive dont la densité est variable, mais stationnaire.
- Pour mesurer le ROS, on ne va pas mesurer le rapport entre les énergies ou les puissances. Non, on va mesurer un déséquilibre entre des échantillons de tension et de courant, en amplitude et en phase, en comparaison avec le rapport idéal qu'ils devraient avoir si le ROS était égal à 1 ( $Z_{charge} = Z_0$  de la ligne). Donc l'étalonnage sera fait avec une charge nominale. Le déséquilibre va être mesuré en comparant les vecteurs courant et tension (soustraction **vectorielle**). Physiquement on ne peut pas soustraire un courant d'une tension. Aussi, à l'aide d'une résistance, on transforme (loi d'Ohm) le courant en tension. On s'arrange (choix de **R**) pour qu'avec la charge nominale, la **soustraction** donne un résultat nul (une soustraction est une addition avec une inversion de phase de l'un des termes). S'il y a déséquilibre ( $Z \neq Z_0$ ), la tension résultante n'est plus nulle et est appelée "**Vr**". La tension **Vr** n'est pas suffisante pour connaître le ROS. Pour cela on va la comparer avec une tension **Vi** obtenue par **addition** des deux tensions précédentes. **Vi** et **Vr** obtenues sont représentatives des valeurs mathématiques "tension incidente" (**Vi**) et "tension réfléchie" (**Vr**).
- Avec les tensions **Vi** et **Vr**, le ROS est obtenu par la relation :  $ROS = (V_i + V_r) / (V_i - V_r)$ , tout simplement. Noter que pour leur mesure, on en prend la valeur absolue par redressement de la sinusoïde suivi d'une intégration par filtrage.
- Pour effectuer la division, on fait **Vi** = 1 (pleine échelle) à l'aide d'un diviseur potentiométrique. On applique ensuite un diviseur potentiométrique identique pour **Vr**. Puis on lit **Vr** sur une échelle graduée directement en ROS (étalonnage du cadran). C'est finalement de l'électricité basique, il n'y a pas lieu de faire intervenir Maxwell et le champ électromagnétique, encore moins les ondes <sup>(2)</sup>.

### Analyse du ROS-mètre de FR1HF.

Tout d'abord, il y a une inversion sur son schéma entre les sorties Dir et Ref (on ne se relit jamais assez).

Son fonctionnement est simple : on additionne d'une part un échantillon de tension (diviseur résistif **R4/R2**) et un échantillon de courant (transfo **T**) déphasé de 180° et converti en tension, on obtient **Vr** (Ref) et d'autre part, on fait la même opération avec un courant non déphasé et on obtient **Vi** (Dir). Le fait de faire les deux conversions courant/tension avec une seule résistance au lieu de deux ne change pas le principe, et ça simplifie <sup>(3)</sup>.

- En chargeant les détecteurs par une haute impédance (galva de 50  $\mu$ A), et avec une valeur de **R2** très faible devant cette impédance ( $< 1/100^e$ ), la bobine **L** (10 mH) est inutile.
- **C'** qui est une capa de compensation de phase n'est en théorie pas nécessaire avec des composants parfaits. Ce n'est sans doute pas le cas. Il peut y avoir le mauvais coefficient de couplage du transfo **T** qui entraîne l'apparition d'une inductance de fuite à mettre en série avec les enroulements et par ailleurs il y a la capacité répartie de la bobine **L**.
- En prenant 82 pF pour **C'** (valeur moyenne, dépendant de la position du trimmer) on obtient une fréquence de résonance avec **L** de 176 kHz environ. Heureusement que ce n'est pas à 137 kHz, car comme c'est une résonance série, le ROS-mètre aurait fumé. En pratique, avec la capa répartie de **L**, la résonance n'est peut-être pas aussi série que cela, et par ailleurs le circuit est très amorti par le pont résistif.
- Concernant le transfo, il s'agit d'un bobinage deux fils en main (torsadés). Espacer les spires ne changera rien si la perméabilité de la ferrite est suffisante (tore supposé) car la capacité parasite est amenée par la torsade, faite pour obtenir une symétrie.



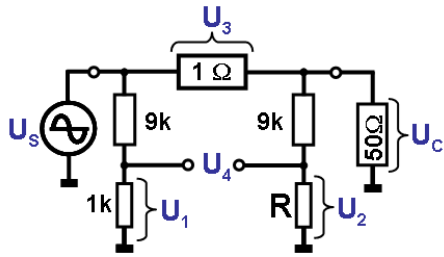


Figure 3.

Soit une puissance de 50W. Alors  $U_C = 50V$  et  $I_C = 1A$ , donc  $U_3 = 1V$  et  $U_S = 51V$ . Par ailleurs  $U_1 = 5,1V$  et si  $R=1k\Omega$ , alors  $U_2 = 5V$ . Par suite  $U_4 = 0,1V$ , tension représentative du courant dans la charge <sup>(4)</sup>.

Maintenant, ajustons  $R$  pour avoir  $U_4 = 0V$ . Pour cela, il suffit que  $U_2$  soit égale à  $5,1V$ , ce qui est obtenu pour  $R = 1,022 K\Omega$  (application de la loi d'Ohm). Cette tension nulle est le résultat de la soustraction entre une tension de  $100 mV$  représentative de la tension aux bornes de la charge, et une tension de  $100 mV$  représentative du courant dans la charge. Elle ne sera nulle que pour un certain rapport entre  $U_C$  et  $I_C$ , soit ici,  $50\Omega$ . C'est l'impédance nominale du ROS-mètre.

Poursuivons en inversant source et charge. Modifions à nouveau  $R$  pour avoir  $U_4 = 0V$ . Nous obtenons  $R = 0,978 k\Omega$ . C'est toujours l'application de la loi d'Ohm.

Rebranchons notre pont dans le sens normal. Alors pour  $R=1,022 k\Omega$ , nous aurons  $U_4 = 0V$  et  $U_4$  sera appelée  $V_r$ , et pour  $R = 0,978 k\Omega$ , nous aurons  $U_4 = 200 mV$  et  $U_4$  sera appelée  $V_i$ .

Quand le rapport  $U_C/I_C$  variera en amplitude et/ou en phase ( $Z_c \neq 50\Omega$ ),  $V_i$  et  $V_r$  varieront également et le ROS correspondant sera égal à  $\{(V_i + V_r) / (V_i - V_r)\}$ . C'est exactement le même principe qu'avec un ROS-mètre classique, sauf que le transfo de courant a été supprimé et remplacé par la résistance équivalente qu'il ramenait à son primaire.

L'ampli opérationnel A1 transforme la tension flottante entre A et B en une tension référencée à la masse. Quand la charge est en "OUT" (fonctionnement normal), la sortie de A1 fournit  $V_i$  pour la position "Dir", et  $V_r$  pour la position "Réf". Il suffit ensuite d'amplifier le signal et de le détecter avec un détecteur crête parfait pour l'appliquer à un galvanomètre à travers un potentiomètre. Processus standard de mesure du ROS, mais ne nécessitant qu'un potentiomètre simple.

### Précision du système.

Une première imprécision est due au fait que nous devons déséquilibrer le pont pour obtenir  $V_i$  et  $V_r$ . Une deuxième imprécision est due au système à ampli opérationnel qui transforme la tension flottante  $U_4$  en une tension référencée à la masse. L'imprécision diminue quand le rapport  $U_C/U_2$  augmente. Avec le rapport de 11 de mon ROS-mètre, la mesure est précise à mieux que 3%.

### Utilisation du ROS-mètre.

Tout d'abord, il faut savoir ce que l'on veut faire de son ROS-mètre. En prenant un système standard pour l'alimentation de l'antenne, nous obtenons la figure 4.

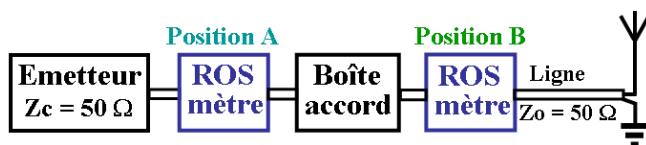


Figure 4.

Quand le ROS-mètre est en position A, il est utilisé pour régler la boîte d'accord. Dans ce cas, il n'aura pas à supporter un ROS élevé à forte puissance car la sécurité de l'émetteur réduira cette dernière. C'est pourquoi on utilise une puissance réduite pour effectuer le "tune", suffisante pour le ROS-mètre, et minimum pour que l'émetteur puisse la fournir même en cas de ROS très élevé. Cette puissance est généralement de l'ordre de 5 à 10W. Quand l'accord sera fait, le ROS-mètre aura à supporter la puissance nominale de l'émetteur, mais avec un ROS réduit, en général inférieur à 1,5.

Quand le ROS-mètre est en position B, il est utilisé, soit pour mesurer le ROS dans la ligne, soit pour mesurer la désadaptation de l'antenne. Dans ce cas, si l'accord de la boîte est déjà fait, l'émetteur peut sortir toute sa puissance et en cas de ROS important, le ROS-mètre peut claquer ou fumer. Si l'on veut mettre en permanence le ROS-mètre derrière la boîte d'accord, il faut le dimensionner en conséquence. Sinon, si c'est seulement pour mettre au point l'aérien, travailler à la puissance minimum, comme pour le réglage de la boîte d'accord (que l'on peut supprimer dans ce cas). Nous avons sur la figure 5 les tensions et les courants mis en jeu en fonction des pires cas pour des ROS de 1 et 10 et deux puissances différentes.

valeurs crête	R O S 1		R O S 10			
	10 W	100 W	10 W		100 W	
	50 $\Omega$	50 $\Omega$	5 $\Omega$	500 $\Omega$	5 $\Omega$	500 $\Omega$
Uc	31,6V	100V	10V	100V	31,6V	316V
Ic	0,63A	2A	2A	0,2A	6,3A	0,63A
U(0,8 $\Omega$ )	0,5V	1,6V	1,6V	0,16V	5V	0,5V

Figure 5.

Noter que ce sont des valeurs crêtes. On obtient la puissance réelle en divisant par deux le produit  $\{U_c \times I_c\}$ . Je vous laisse calculer les valeurs pour une puissance HF de 1 kW.

### Choix et dimensionnement des composants.

Mon ROS-mètre a été prévu pour une puissance nominale de 100W avec un ROS maxi de 1,5 et une puissance d'accord de 10W avec un ROS maxi de 6. Pour des ROS supérieurs avec une puissance de 10W, le ROS-mètre peut devenir complètement faux selon la nature de la désadaptation.

#### a) partie alimentation.

C'est la partie la plus délicate. Le détecteur n'est pas habituel. Son architecture a l'avantage d'isoler la partie "continue" du circuit de puissance. La tension de sortie varie selon le rapport entre la résistance de charge et la réactance du condensateur série. Elle ne dépasse pas la valeur crête du signal HF tant que le circuit C-L a une fréquence de résonance (série) loin de la fréquence de travail. Pour un courant de sortie donné, on diminue le niveau de sortie en diminuant le condensateur, mais si l'on se rapproche de la résonance, alors on obtient un effet inverse. Dans notre cas, compte tenu de la grande variation de la tension HF, un condensateur de 470 pF et une bobine de 10 mH constituent un bon compromis ( $I_c \approx 5,5$  mA). Les diodes Zenner limitent les tensions maxi à  $\pm 15$ V. Le courant supplémentaire qu'elles consomment reste raisonnable pour le pire cas d'un ROS de 1,5 à 100W ( $U_{crête} = 150$ V).

Porter une attention particulière sur les diodes D1 et D2. Celles-ci doivent avoir impérativement un temps de recouvrement ( $t_{rr}$ ) inférieur à 50ns. Prendre des diodes prévues pour les alimentations à découpage. Leur tenue en tension inverse doit être supérieure à la tension crête maxi dans la charge. Valable aussi pour les condensateurs en série.

Une fois connue la consommation totale des deux amplis opérationnels, il est préférable de maquetter séparément l'alimentation pour trouver la valeur optimum des condensateurs série, compte tenu des autres composants que l'on a utilisés.

**b) partie ROS-mètre.**

Pour le pont, la résistance de 0,8 Ω doit pouvoir dissiper 3,6W dans le pire cas de ROS 1,5 pour 100W. Prendre des résistances 1W pour les 10 kΩ des ponts diviseurs.

Prendre pour A1 un ampli opérationnel avec un produit gain/bande de 5 MHz mini avec des tensions d'alim pouvant varier entre ±5V et ±18V, offset maxi de 1mV. Il faut que la tension d'entrée puisse varier entre Vcc+0,5V et Vss-0,5V et que le courant de repos soit le plus faible possible (<2,5mA). J'avais dans un fond de tiroir des OP176 qui vont bien, mais il y en a des tas d'autres.

Les 0,33μF sont insérés pour isoler galvaniquement le ROS-mètre du circuit de puissance. Prévoir une tension de service suffisante. Les diodes Schottky sur les entrées sont là en protection.

Brancher le ROS-mètre normalement avec une charge de 50Ω et régler le pot. de 220Ω pour une tension de sortie nulle. Si le nul ne peut être atteint, voir à connecter un condensateur de quelques pF entre le point A, ou le point B, et la masse. Brancher le ROS-mètre en inverse et régler le pot. de 100Ω pour une tension de sortie minimum (en principe nulle). L'étalonnage du pont est terminé (mesures faites à l'oscilloscope à la sortie de A1).

L'ampli opérationnel A2 constitue un détecteur de crête quasi parfait. Prendre un AOP ayant les mêmes caractéristiques que A1. A la rigueur, un TL082 qui traîne dans tous les tiroirs fera l'affaire.

Reste l'étalonnage du galvanomètre. Le ROS est égal à  $((V_i+V_r) / (V_i-V_r))$ . En réglant le potentiomètre pour faire  $V_i=1$  (pleine échelle), la valeur du ROS correspondra aux pourcentages d'échelle suivants :

<b>ROS</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>∞</b>
<b>%</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>43</b>	<b>50</b>	<b>67</b>	<b>82</b>	<b>100</b>

Ces valeurs sont celles du coefficient de réflexion en tension multipliées par cent.

**Réalisation.**

Nous avons sur la figure 6 la photo de ma réalisation (le galvanomètre n'est pas gradué en ROS).



Figure 6.

Ce n'est qu'un exemple correspondant à mes fonds de tiroir. Il a été réalisé pour illustrer cet article car je ne suis pas QRV 137 kHz et il va rejoindre mon stock de "bidouilles" dans l'armoire aux oublis <sup>(5)</sup>.

## **Conclusion.**

Comme vous avez pu le constater, le fonctionnement du ROS-mètre est très simple et il ne fait appel qu'à la loi d'Ohm. Les problèmes que l'on peut rencontrer proviennent généralement de la mauvaise qualité des composants utilisés ou fabriqués.

Je n'ai pas décrit en détail une sorte de Kit qui permettrait de "câbler idiot". J'ai essayé de faire comprendre le rôle de tous les composants nécessaires pour que le lecteur puisse se concocter lui-même son ROS-mètre en fonction des fonds de tiroir dont il dispose ou des composants qu'il peut se procurer (gratuitement dans un radio-club comme F6KRK).

Pour finir, ma réalisation est loin d'être parfaite car il y a encore trop de composants. A vous de l'améliorer...

## **Annexe 1 : ROS-mètre ou pont d'impédance ?**

Bien sûr, le pont d'impédance apporte une connaissance plus précise de l'impédance, mais il doit être connecté impérativement à la sortie de l'antenne, ou alors au bout d'un câble d'une demie longueur d'onde (électrique). A 137 kHz, cela fait quand même 730 m de câble coaxial RG58 (Hi).

On peut compléter le ROS-mètre avec un comparateur de phase, basé un peu sur le même principe, mais en réalisant un déphasage de 90° sur la tension, ce qui ne pose pas de difficulté. Le système n'est pas à large bande, ce qui ne pose pas de problème non plus. Par contre, il faut le mettre au pied de l'antenne comme pour l'impédance mètre. Alors, en faisant varier la fréquence et en mesurant le ROS et le signe du déphasage on peut déterminer ce qu'il faut modifier sur l'aérien (l'art de l'antenniste).

Une autre solution est le VNA DG8SAQ pour ceux qui ont un peu d'argent à dépenser (le mini VNA ne doit pas descendre à 137 kHz). Pour info, le DG8SAQ a un coupleur à résistances.

Pour terminer, on peut étalonner le ROS-mètre sur la voie  $V_i$  pour déterminer la puissance apparente fournie par l'émetteur. Celle-ci n'est égale à la puissance transmise qu'en absence de ROS.

## **Annexe 2 : Onde active et onde réactive.**

Prenons un exemple avec une autoroute qui se rétrécit brusquement au bout d'une certaine longueur. Au départ, elle est vide. Lâchons les voitures à l'entrée. Il va y avoir un flot de véhicules dont l'intensité dépend de la capacité de l'autoroute ( $Z_0$  de la ligne). Quand les premières voitures vont arriver à l'endroit du rétrécissement, il va y avoir ralentissement et le débit va diminuer. Alors une onde de ralentissement va retourner vers le début de l'autoroute. Quand elle y sera arrivée, le débit de toute l'autoroute sera celui du rétrécissement. Mais aucune voiture n'aura fait demi tour. L'introduction de la puissance réfléchie dans notre autoroute voudrait dire que le débit dans la partie rétrécie résulterait d'un débit normal dans le tronçon large, moins une partie des voitures qui retournerait vers le début. Mais ceci suppose qu'il y ait une deuxième route en parallèle pour absorber les véhicules de retour. Ils ne



peuvent pas retourner par le même chemin qu'à l'aller sous peine de télescopage. C'est exactement pareil pour les lignes en régime stationnaire.

Prenons un autre exemple pour montrer la différence entre système impulsif et système stationnaire.

Soit un mur d'immeuble inébranlable. Installons-nous à une certaine distance et lançons une balle de tennis en direction du mur. En s'y prenant bien, celle-ci nous revient à la figure. Nous avons donc dépensé une certaine énergie pour la lancer, que nous appellerons "énergie directe". Puis le mur nous a renvoyé cette énergie et nous l'appellerons "énergie réfléchie". Celle-ci en se dissipant dans notre figure a provoqué un travail (éclatement de l'arcade sourcilière). S'il y a travail, nous pouvons parler de puissance, mais seulement de "puissance crête" (PEP) qui est une extrapolation de la valeur de l'énergie sur une durée de 1 seconde. Nous voyons qu'ici "puissance" n'est pas une grandeur physique, mais une valeur mathématique.

Maintenant, approchons-nous du mur et exerçons dessus une pression, comme si nous voulions le déplacer. Celui-ci ne va pas bouger d'un iota, mais nous, nous allons rapidement nous mettre à transpirer. Le mur a opposé une réaction à notre effort, nous obligeant à consommer nous-mêmes l'énergie que nous produisons. Si nous intercalons un bélier entre le mur et nous, c'est lui qui nous opposera sa réaction, bien que la cause en sera le mur (si le bélier était tout seul, nous le pousserions). Pour nous (la source), nous n'avons pas à connaître le mur, nous ne connaissons que le bélier. C'est pareil avec une ligne, la source (l'émetteur) ne connaît que la ligne et la **réaction** que celle-ci oppose à sa fourniture d'énergie. Seule compte la nature de l'impédance que la ligne présente à la source. Peu importe qu'il y ait un ROS important dans la ligne, si l'impédance qu'elle présente est nominale <sup>(6)</sup>.

On peut parler d'onde directe et d'onde réfléchie avec le champ électromagnétique rayonné. Dès que le champ E-M est transformé en courant à l'aide d'un conducteur (l'antenne) <sup>(7)</sup>, alors il faut parler de courant actif et de courant réactif (impédance complexe). C'est ce que l'on fait lorsqu'on utilise l'abaque de Smith.

### **Annexe 3. Contrôle du pont pour 50W et un ROS de 2 (cf. Fig.3).**

#### **a) $R_c = 25 \Omega$**

Dans ce cas,  $U_C = 35,36V$ ,  $I_C = 1,414 A$ .  $U_S = 36,77 V$ .  $U_1 = 3,677V$

Pour  $R=978\Omega$ ,  $U_2 = 3,466 V$ .  $V_i (U_4) = 0,211 V$

Pour  $R=1022\Omega$ ,  $U_2 = 3,606 V$ .  $V_r (U_4) = 0,071 V$

Alors  $ROS = (V_i + V_r) / (V_i - V_r) = 0,282 / 0,140 = 2,01$  (c.q.f.d.)

#### **b) $R_c = 100 \Omega$**

Dans ce cas,  $U_C = 70,72V$ ,  $I_C = 0,707 A$ .  $U_S = 71,43 V$ .  $U_1 = 7,143V$

Pour  $R=978\Omega$ ,  $U_2 = 6,932 V$ .  $V_i (U_4) = 0,211 V$

Pour  $R=1022\Omega$ ,  $U_2 = 7,212 V$ .  $V_r (U_4) = 0,069 V$

Alors  $ROS = (V_i + V_r) / (V_i - V_r) = 0,280 / 0,142 = 1,97$  (c.q.f.d.)

### **Bibliographie.**

"TOS-METRE pour 136 kHz" par FR1HF, Radio-REF janvier 2012.

"Fonctionnement du ROS-mètre" par F5NB, Radio-REF, mars 2003.

"Retour sur le ROS-mètre de F8DKK" par F5NB, Radio-REF, mai 2011.

"Les lignes et les anges" par F5NB, Radio-REF, janvier 2009.

Tous mes articles sont consultables sur le site "<http://blog.f6krk.org>", catégorie "Articles membres, F5NB, ...".

### Notes.

- 1) *Si l'on fait intervenir la relativité, ces artifices disparaissent, mais très peu de gens sont en mesure de la développer, et à notre échelle humaine, cela ne sert à rien, Maxwell nous suffit. Et encore, la résolution de ses "équations" fait appel à des objets mathématiques particuliers : les tenseurs, qu'on devrait plutôt appeler "tortionnaires de méninges".*
- 2) *Un jeune ingénieur télécom m'a un jour affirmé (sérieusement) que le ROS mètre comparait un échantillon de l'onde aller avec un échantillon de l'onde retour (son prof de physique ne lui avait sûrement pas parlé de la circulation sur une autoroute).*
- 3) *Si l'on supprime la liaison entre les deux résistances et le transfo, on s'aperçoit que le point milieu des résistances est exactement au même potentiel que le point milieu du transfo. Alors on peut remplacer les deux résistances par une seule de valeur double.*
- 4) *Pour simplifier les calculs, ici et par la suite, on supposera que la branche du pont côté charge fait partie de celle-ci (sinon, erreur de 0,5%).*
- 5) *De même que l'ampli de puissance que j'ai été obligé de construire pour tester mon ROS-mètre.*
- 6) *Electriquement, une antenne est assimilable à une ligne à pertes (par rayonnement, on espère).*
- 7) *Et inversement en émission.*