

# Comment tester le TOS-mètre

(ON5HQ)

Les TOS-mètres généralement utilisés par les radioamateurs sont souvent de qualité insuffisante pour effectuer de réelles mesures. Ce n'est d'ailleurs pas un problème majeur puisque l'indication d'une variation du TOS est souvent plus utile que la connaissance de la valeur exacte du taux d'ondes stationnaires.

Toutefois, connaître un peu mieux dans quelle catégorie se situe l'appareil utilisé ne peut qu'être utile. Ne serait-ce que pour faire la différence entre un appareil de mesure et un simple indicateur d'ondes stationnaires de qualité médiocre afin de relativiser ensuite les conclusions tirées des mesures effectuées.

## Constitution d'un TOS-mètre

Sans entrer dans le détail du fonctionnement, il est bon de rappeler la constitution de ces engins qui sont censés mesurer le TOS (ou ROS) dans la ligne d'alimentation de votre antenne.

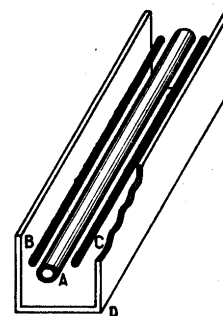
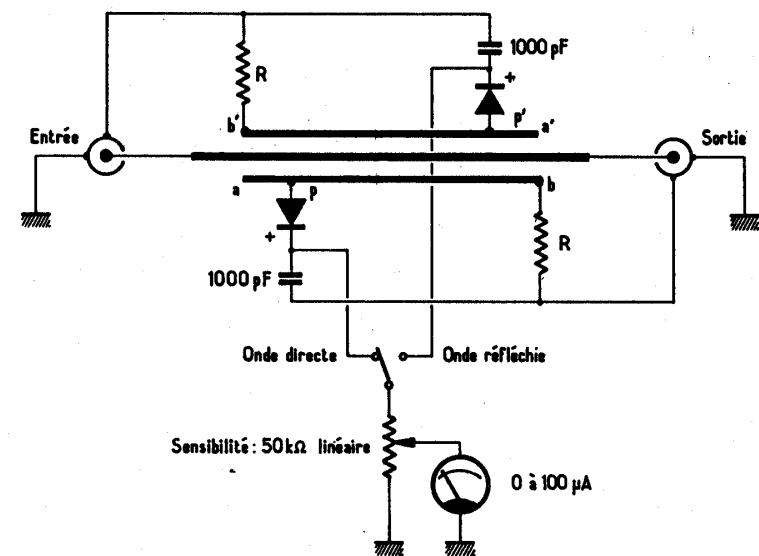


Fig 1 - Constitution d'un tos-mètre

Ils sont constitués d'une ligne par laquelle passe l'énergie transmise à l'antenne et de deux lignes (coupleur directionnels) qui lui sont couplées, et dont l'une (ligne ab) mesure l'énergie envoyée vers la charge (antenne) et l'autre (ligne a'b') l'énergie réfléchi par la charge.

Les éléments "sensibles" d'un TOS-mètre sont principalement le ou les coupleurs directionnels, la détection et la mesure des tensions hautes fréquences et, bien entendu, l'affichage de la mesure

La principale caractéristique d'un coupleur directionnel est sa directivité, l'isolation doit être la plus grande possible et le facteur de couplage le plus faible possible. Remarquons cependant qu'un faible couplage nécessite une puissance d'excitation plus grande et/ou un système de mesure HF plus sensible, avec le risque de détecter aussi des tensions HF indésirables.

Une bonne isolation et un faible facteur de couplage ne peuvent être obtenus que par une réalisation (mécanique et électrique) extrêmement soignée respectueuse des règles propres aux montages hautes fréquences et au-dessus.

La partie détection et mesure, chargée d'indiquer le niveau du signal disponible sur le port de couplage, est généralement réalisée avec une simple diode ordinaire, agrémentée d'une ou deux résistances et condensateurs. La diode, même s'il s'agit d'une Schottky, possède un seuil de détection qui détériore la mesure des signaux faibles. Son comportement vis à vis des signaux HF est dépendant de la fréquence (capacité interne, variation d'impédance) comme d'ailleurs l'environnement de la détection (condensateur et résistance de charge). La non-stabilité en fréquence de ce circuit perturbe quelque peu la mesure. Un pont de mesure plus élaboré sera constitué d'un coupleur directionnel indépendant et d'un milliwattmètre HF de qualité.

Les TOS-mètres équipés de deux coupleurs symétriques et de deux systèmes de détection multiplient les inconvénients s'il s'agit d'obtenir autre chose qu'un indicateur de TOS de qualité moyenne. En effet, il y a de ce fait obligation de réaliser des systèmes de couplage et de détection les plus identiques possibles et on imagine

mal les constructeurs d'appareils grand public testant les coupleurs (résistifs, à lignes ou avec des transformateurs), appairant les résistances, les condensateurs et les deux diodes de détection pour un fonctionnement correct sur tout le domaine d'utilisation prévu.

Il est bon de rappeler deux règles importantes et théoriquement connues, sur les ondes stationnaires et leur mesure.

1 - Le taux d'ondes stationnaires ou le rapport d'onde stationnaire **ne varient pas le long d'une ligne de transmission sans perte**, Si la ligne apporte une certaine atténuation (c'est toujours le cas, même faiblement, et proportionnellement à la longueur utilisée et la fréquence de fonctionnement) le TOS diminue progressivement lorsque l'on s'éloigne de la charge pour se rapprocher du générateur.

Si le TOS varie cycliquement (en diminuant et en augmentant le long de la ligne) soit, le TOS-mètre est en cause, soit la ligne coaxiale est le siège d'un courant de gaine généralement dû à l'influence de l'antenne rayonnante sur le câble, cette dernière cause peut être supprimée en remplaçant l'antenne par une charge non rayonnante (et pas : charge fictive SVP, car dans ce cas, il n'y a pas de charge puisqu'elle est fictive !!!, dans ce cas, c'est l'antenne qui est fictive !!).

2 - Un TOS-mètre est normalement symétrique. Le connecter à l'envers (charge ou antenne sur l'entrée et générateur ou émetteur sur la sortie) ne devrait théoriquement rien changer aux indications fournies, sauf qu'il faudra inverser les indicateurs « direct » et « réfléchi » .

Pour un même signal le traversant et sans modifier aucun réglage, les déviations devraient être parfaitement identiques.

## ***Etablissement d'une procédure de test.***

### **Contrôle visuel.**

#### **- Externe**

La robustesse du boîtier, la qualité de l'indicateur de la valeur mesurée (milliampèremètre ou microampèremètre), qualité de l'amortissement, du zéro de l'aiguille, de la graduation de cadran et de la lisibilité générale, la qualité du potentiomètre de calage, la qualité des connecteurs (SO239, BNC, N, - les premiers n'étant pas souhaitables au delà de 400 MHz – et la qualité « CB » n'étant pas souhaitable .... sauf pour la bande CB !!!).

S'il s'agit d'un TOSmètre incorporé à une boîte de couplage d'antenne, le coupleur directionnel et la détection – généralement monté sur un circuit imprimé – seront installés dans un boîtier faisant office de blindage avec découplage des connexions et blindage des liaisons vers l'appareil de mesure, commutateur, potentiomètre, etc.

#### **- Interne.**

Voir le type de coupleur directionnel (ligne, transfo. HF, circuit résistif), vérifier la qualité des composants (diode, condensateurs, et si bobinage sur tore, voir si fil émaillé rigide et pas de vis métalliques pour fixation du tore, le montage des éléments (qualité du circuit imprimé, la symétrie, le blindage, les découplages, le câblage court et blindé).

S'il s'agit d'un TOS-mètre incorporé dans une boîte de couplage, vérifiez que les commandes vers le câblage avant ne soit pas en vrac comme c'est trop souvent le cas.

### **Contrôle électrique**

#### **- mise en oeuvre**

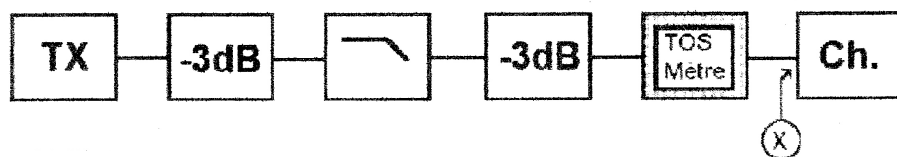
Tout radioamateur digne de ce nom devrait normalement trouver un intérêt aux quelques simples expérimentations qui suivent. Leur mise en oeuvre, malgré la simplicité apparente, nécessitent de respecter les règles habituelles en matière de mesures HF et de prendre quelques précautions pour que ces dernières ne soit pas faussées par des perturbations indésirables.

Il est nécessaire de disposer, bien sur, d'un émetteur, d'une charge adaptée (50 + 0 Ohms), de câble coaxial 50 Ohms de bonne qualité et du TOS-mètre à tester. Quelques accessoires supplémentaire seront utiles comme par exemple un filtre passe bas efficace avant l'harmonique 2 de l'émetteur, deux atténuateurs de 3 dB ou 6 dB pouvant supporter la puissance qu'il reçoivent, et si possible (mais pas obligatoire) un TOS-mètre professionnel de qualité servant de référence.

## - imperfections

Rappelons qu'aucun de ces éléments n'est parfait. L'émetteur peut fournir quelques harmoniques indésirables et le filtre passe-bas est une précaution nécessaire. L'émetteur peut ne pas présenter une impédance de 50 Ohms purement résistive et un atténuateur masque quelque peu la désadaptation présente. L'émetteur peut nécessiter de voir une impédance d'environ 50 Ohms pour fournir un signal suffisant (protection interne contre le ROS) et l'atténuateur (ou une boîte de couplage) là encore, améliore les choses. Le filtre passe-bas ne joue pleinement et correctement son rôle que lorsque les impédances d'entrée et de sortie sont adaptées, ce qui est pratiquement le cas s'il est entouré d'atténuateurs. Le câble coaxial présente quelques pertes (qui peuvent toutefois être mesurées et être prises en compte dans des calculs ultérieurs) et une impédance caractéristique légèrement variable autour des 50 Ohms (ce qui peut difficilement être pris en compte et rendre illusoire toute mesure de ROS inférieur à 1,1/1). L'impédance de la charge 50 Ohms peut s'écarter de cette valeur standard, ne serait-ce qu'à cause de la présence d'éléments faiblement réactifs.

Ceux-ci prennent de l'importance à mesure que la fréquence d'utilisation augmente (ce qui peut être vérifié en mesurant le ROS - avec un TOS-mètre de qualité ! - par exemple sur 144 MHz et 430 MHz]. Les connecteurs peuvent, surtout au delà de 200 MHz, apporter des perturbations s'ils sont de mauvaise qualité (variation d'impédance et pertes).



**Fig 2** – Chaîne de mesure

(ou un adaptateur d'impédance), le TOS-mètre, une ligne 50 Ohms courte ou de longueur particulière, la charge non rayonnante (voir Fig. 2).

Afin de tenir compte des faits ci dessus, les contrôles et mesures seront effectués en respectant la chaîne suivante, du générateur vers la charge : l'émetteur, éventuellement un atténuateur, le filtre, un atténuateur

## - vérifications simples

Remarque : Les connexions entre les divers éléments sont courtes.

- La charge est de  $50 + j0$  Ohms. Le ROS doit être de 1/1 pour toute la gamme de fréquences considérée.
- La mise en parallèle de deux charges 50 Ohms (en utilisant un « T » coaxial) procure une charge de 25 Ohms.

Dans ce cas le ROS doit être de 2/1 pour toute la gamme de fréquences considérée - L'inversion des connexions ne doit modifier ni le réglage de sensibilité utilisé, ni les résultats obtenus précédemment, sous réserve d'inverser la signification des termes "direct" et "réfléchi".

- L'essai le plus simple consiste à comparer les indications fournies par l'appareil testé et un TOS-mètre de référence, en utilisant par exemple une boîte de couplage d'antenne suivie d'une charge 50 Ohms non rayonnante afin de simuler du ROS (en désaccordant la boîte d'accord).

## - autres vérifications

Celles-ci reposent sur le principe évoqué précédemment que le ROS ne varie pas le long d'une ligne de transmission. Le montage à utiliser reste identique. la charge est non rayonnante et le coaxial ne présente pas de courant de gaine. Toute variation du ROS lu ne peut que provenir du TOS-mètre lui même.

Plutôt que de déplacer l'appareil à divers endroits de la ligne. nous allons tout d'abord créer une désadaptation au niveau de la jonction charge  $50 + j0$  Ohms et ligne coaxiale 50 Ohms puis donner à cette ligne des longueurs caractéristiques ( $1/8 \lambda$ ,  $1/4 \lambda$ ,  $3/8 \lambda$ ...  $1/2 \lambda$ ,  $\lambda$  représentant la longueur d'onde électrique correspondant à la fréquence de travail). Pour désadapter la charge 50 Ohms, nous insérerons une ligne quart d'onde - à la fréquence d'utilisation - d'impédance caractéristique 75 Ohms. L'impédance obtenue est alors de  $112,5 + j0$  Ohms! ( $Z_e = Z_l^2 / Z_t = 75^2 / 50$ ), et le ROS tout au long de la ligne 50 Ohms sera de 2,25/1, soit un TOS environ 38% (en ignorant l'atténuation apportée par la ligne).

Il nous faut ensuite construire des lignes  $1/8$ ,  $1/4$ ,  $3/8$  et  $1/2$  de longueur d'onde. La mesure de quarts d'ondes suffit à cette réalisation. Les dimensions comprennent les connecteurs. Il s'agit ici de longueur physique, c'est à dire tenant compte du coefficient de vélocité du câble utilisé. Ce dernier est généralement de 0,66 pour les câbles coaxiaux courants. Considérons que la fréquence d'essai est de 14 MHz, soit une longueur d'onde électrique de 21,43 mètres. Une longueur d'onde de câble mesurera  $21,43 \text{ m} \times 0,66$  soit 14,14 mètres.

Un quart d'onde mesurera 3,54 m.

Nous avons besoin d'un quart d'onde de câble 75 Ohms, deux huitièmes d'onde (un quart d'onde coupé en deux) de câble 50 Ohms et un quart d'onde de câble 50 Ohms. Chaque câble sera équipé à ses extrémités d'un

connecteur adapté aux appareils utilisés.

En reprenant la même chaîne de mesure que précédemment, on insère le quart d'onde 75 Ohms immédiatement avant la charge 50 Ohms afin de désadapter la charge (Point « X » - fig. 2) L'extrémité opposée de ce câble 75 Ohms présentera une impédance de 112,5 Ohms (Point « Z »).

On connecte maintenant cette charge de 112,5 Ohms à la borne "antenne" du TOS-mètre, Relevons la valeur indiquée par l'appareil, celle-ci pouvant être légèrement différente de la valeur réelle de 2,25.

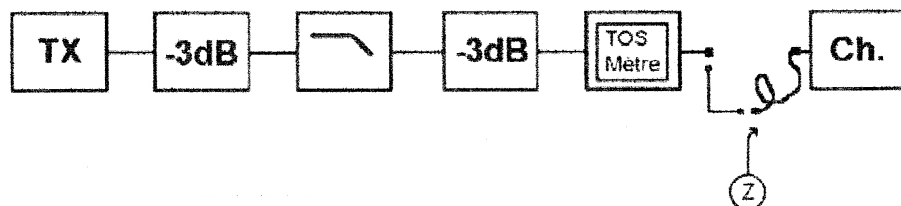


Fig 3 – Procédure de test

Ajoutons maintenant les morceaux de câbles 50 Ohms, entre le point T et le TOSmètre, en les combinant de telle sorte que les longueurs de  $1/8 \lambda$ ,  $1/4 \lambda$ ...,  $3/8 \lambda$  et  $1/2 \lambda$  soient obtenues et relevons le ROS mesuré à chaque fois (voir Fig.3 et tableau 1).

TEST n°	LONGUEUR ( $\lambda$ )	SWR LU
1	0	3,35
2	1/8	2,00
3	1/4	1,50
4	3/8	2,75
5	1/2	3,35

Tableau 1 : lecture du ROS avec un appareil quelconque et des longueurs variables (TOS réel = 2,25/1)

Ce test réalisé sur des appareils différents fournit des résultats différents. Une représentation graphique des valeurs relevées en fonction de la longueur de la ligne permet de comparer les appareils (voir Fig. 4).

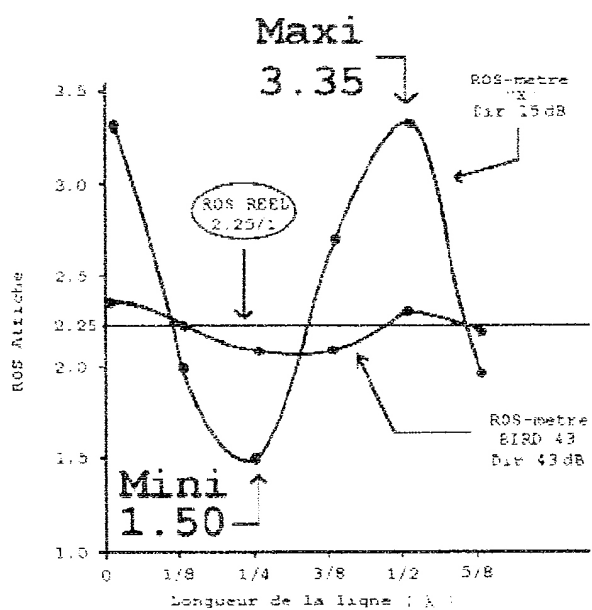


Fig. 4 : Valeurs de ROS lues en fonction de différentes longueurs de câbles entre le TOS-mètre et la charge désadaptée (la valeur réelle est de 2,25/1)

L'appareil parfait mesurerait un ROS de 2,25 quelle que soit la longueur de ligne utilisée, ce qui est représenté par une droite horizontale. La courbe fournie par un appareil de bonne qualité oscille au plus près de cette droite. Une amplitude exagérée matérialise bien les mauvais résultats obtenus (par exemple des valeurs de 1,50 à 3,35 pour une valeur réelle de 2,25). Remarquons aussi que même les appareils réputés ne sont pas parfaits, mais ses bouchons interchangeables leur garantissent un comportement relativement correct dans la portion de bande concernée.

Précisons enfin que les essais ci-dessus nécessitent un certain soin dans la réalisation des morceaux de câble coaxial, en particulier si l'on souhaite effectuer des mesures sur des fréquences plus élevées où les variations de ROS seront d'ailleurs encore plus importantes et significatives de la plus ou moins bonne qualité de l'instrument contrôlé.

N'oublions pas que la variation du ROS mesuré en fonction de la longueur de la ligne n'est due qu'à la mauvaise qualité du ROS-mètre (essentiellement sa directivité). Répétons enfin que le ROS réel ne varie pas le long d'une ligne sans perte qui doit et le directivité pour un appareil de mesure doit être au minimum de 40 dB.

### - Conclusion

Seul un excellent appareil permet d'effectuer des mesures précises de désadaptation d'impédance. Un tel appareil dit de mesures (HP, R&S, etc. ) et ses accessoires ne se justifie pas aux seules fins de surveiller le fonctionnement d'une antenne ou le réglage d'une boîte de couplage dans une station d'amateur, même luxueuse.

Un approximation de ROS suffit dans la majeure partie des cas, et il ne faut pas confondre « mesure » et « réglage ou contrôle » de l'antenne . En effet, le réglage se fait pour un minimum de TOS, et j'ai utilisé pendant longtemps un TOS-mètre non étalonné, de construction maison et incorporé au coupleur et l'antenne Lévy était simplement réglée au minimum de la valeur réfléchi. Par la suite, le contrôle avec un appareil quand même un peu sérieux m'a bien montré que le « zéro de réfléchi » était le même pour les deux appareils !!!

Quoi de surprenant puisque, si les deux appareils, aussi imprécis puissent t'ils être, ont en commun

d'indiquer « 0 » lorsqu'ils ne mesurent ou détectent rien, le zéro watts en retour est tant pour l'un que pour l'autre ..... toujours zéro !!!! (à la précision près du seuil de fonctionnement des diodes).

Toutefois, si l'on désire avoir une mesure pas trop fantaisiste, un minimum de sérieux nécessite au moins d'utiliser un appareil aux performances correctes et acceptables (directivité supérieure à 35 dB). Ceci peut être obtenu avec une réalisation personnelle soignée et dédiée à une bande de fréquences donnée (HF, ou VHF, ou SHF). Les mesures effectuées à faible puissance avec un pont réflectométrique résistif donnent de bons résultats. De nombreuses descriptions de ce classique montage ont été effectuées, dans tous les bons ouvrages concernant les antennes ou l'émission radio.

En ce qui concerne l'intérêt réel d'afficher une valeur illusoire de « 0 » (ROS de 1/1) sur le TOS-mètre de service incorporé dans la boîte de couplage (ici, il s'agit de l'importance du « 0 » et non de l'exactitude de la mesure), il est insignifiant tant du point de vue du rayonnement de l'antenne que de la protection de l'émetteur (celui-ci constate généralement lui-même l'excès de désadaptation et en tire des conséquences irrémédiables beaucoup plus rapidement que l'opérateur!).

Surveiller la HF rayonnée, surveiller le courant consommé dans l'étage amplificateur, diminuer les pertes partout où cela est possible, est beaucoup plus utile et efficace en ce qui concerne le rendement de l'installation.

Toutefois, posséder un TOS-mètre dont on connaît les qualités peut s'avérer utile, ne serait-ce que pour avoir confiance dans les mesures effectuées et parce qu'un appareil précis peut permettre de mesurer autre chose que le ROS entre un émetteur décimétrique et une boîte de couplage d'une station de radioamateur, pour peu que le "Service d'amateur", tel qu'il est pour l'instant défini par les textes en vigueur, continue à être différencié des "Installations de radiocommunications de loisir" et à avoir pour objet "l'instruction individuelle et les études techniques", même à des fins ... de loisirs'.

