

# Le T.O.S.-mètre

## Comment le tester



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.

Le but visé est en apparence simple. Il s'agit d'évaluer, voire de vérifier, avec des moyens non professionnels, la précision des indications fournies par un TOS-mètre.

### Rappel de quelques notions indispensables

L'article précédent, publié dans les pages 58 à 60 de MEGAHERTZ magazine N° 188 de novembre 1998, permet déjà d'imaginer quels peuvent être les éléments "sensibles" d'un TOS-mètre. Ce sont principalement le

ou les coupleurs directionnels, la détection et la mesure des tensions hautes fréquences et, bien entendu, l'affichage de la mesure. Pour peu que l'appareil soit destiné au contrôle fréquent de diverses installations "sur le terrain", sa construction sera obligatoirement robuste. Autant dire qu'aucun des éléments qui constituent un TOS-mètre ne peut être négligé si un appareil de qualité est recherché.

Toujours dans l'article précédent, nous avons vu que la principale caractéristique d'un coupleur directionnel est sa directivité. Elle est égale à la valeur de l'isolation diminuée de la valeur du facteur de couplage et caractérise l'aptitude du coupleur à différencier le sens de circulation de la puissance.

On peut logiquement déduire de ceci que 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 (HP2800 par exemple), 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 de mesure perturbe quelque peu le port de couplage. Un pont de mesure plus élaboré sera constitué d'un coupleur directionnel indépendant et d'un milliwattmètre HF de qualité connecté au port de couplage.

Nous avons aussi indiqué dans l'article précédent que 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 spectre d'utilisation prévu.

Les informations fournies ci-dessus devraient permettre d'approcher et de considérer les soi-disant fameux et indispensables TOS-mètres avec un regard averti et critique. Il reste toutefois à rappeler deux règles importantes et théoriquement connues sur les ondes stationnaires et leur mesure :

- Le taux d'ondes stationnaires ou le rapport d'ondes stationnaires 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 - proportionnellement à la longueur utilisée et à 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 en est la 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 pouvant être supprimée en remplaçant l'antenne par une charge équivalente non rayonnante.

- 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 à considérer les termes "direct" et "réfléchi"

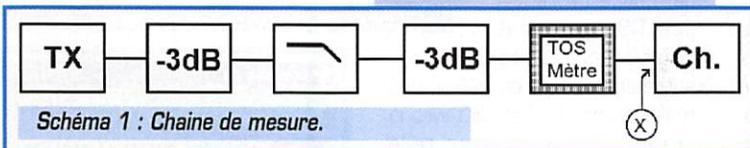


Schéma 1 : Chaîne de mesure.

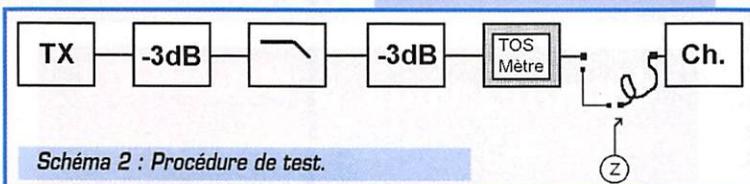


Schéma 2 : Procédure de test.

| TEST N° | LONGUEUR [λ] | 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   |

Schéma 3 : Lecture du ROS avec un appareil quelconque et des longueurs variables (TOS réel = 2.25/1).

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

## Etablissement d'une procédure de test

A partir des éléments indiqués ci-dessus et d'un peu de bon sens, quelques contrôles peuvent maintenant être effectués sur un TOS-mètre.

### Contrôle visuel

#### - externe

La robustesse du boîtier, la qualité de l'indicateur de la valeur mesurée (milliampèremètre ou micro-ampèremètre, qualité de l'amortissement, du zéro de l'aiguille, de la graduation du cadran et de la lisibilité générale), la qualité du potentiomètre de calage, la qualité des connecteurs (SO 239, 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 TOS-mètre incorporé dans une boîte de couplage d'antennes, le coupleur directionnel et la détection - généralement montés 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

Le type de coupleur directionnel (ligne, transfo HF, résistif), la qualité des composants (diode, condensateur, bobinage sur tore correctement réalisé (fil émaillé rigide, pas de vis métallique pour tenir le 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 d'antennes, et que par une chance extraordinaire les éléments essentiels soient installés dans un boîtier métallique indépendant, ouvrez le avec précaution pour effectuer l'inspection décrite ci-dessus. Si vous hésitez, vérifiez tout de même le câblage vers les commandes de la face avant. Si, comme c'est souvent le cas, tout est en vrac dans la boîte de couplage - commerciale, bien sûr -, refermez très vite le tout et installez une ampoule dans le fil d'antenne. Au moins, quand elle brille c'est qu'il y a de la HF de rayonnée!

### Contrôle électrique

#### - mise en œuvre

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

Le matériel nécessaire est courant et normalement disponible. Il s'agit au minimum d'un émetteur fonctionnant sur la fréquence de test désirée et dont la puissance de sortie peut varier, d'une charge adaptée ( $50 + j0$  Ohms), de câble coaxial (50 Ohms, de bonne qualité) et du TOS-mètre à tester. Quelques accessoires supplémentaires seront utiles

comme par exemple un filtre passe-bas efficace coupant avant l'harmonique 2 de l'émetteur, deux atténuateurs de 3 dB ou 6 dB pouvant supporter la puissance qu'ils reçoivent, et enfin éventuellement - donc non 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 inférieure à 1,10/1). 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).

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 (ou un adaptateur d'impédance), le TOS-mètre, une ligne 50 Ohms courte ou de lon-

gueur particulière, la charge non rayonnante (voir schéma N° 1).

#### - vérifications simples

Remarque : Les connexions entre les divers éléments sont courtes.

- La charge est de  $50 + j0$  Ohms. Le ROS doit être de 1,0 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 2,0 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 ( $= 75^2 / 50$ ) et le ROS tout au long de la ligne 50 Ohms sera de 2,25 (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 réali-

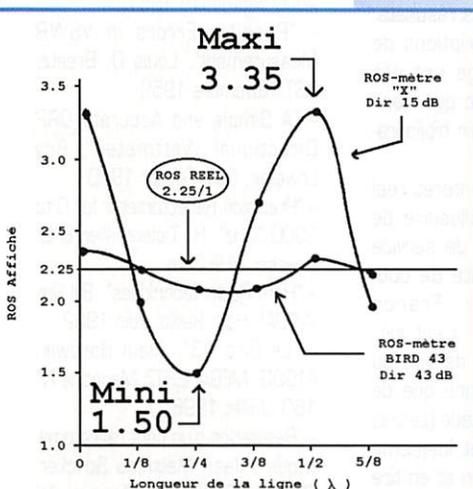
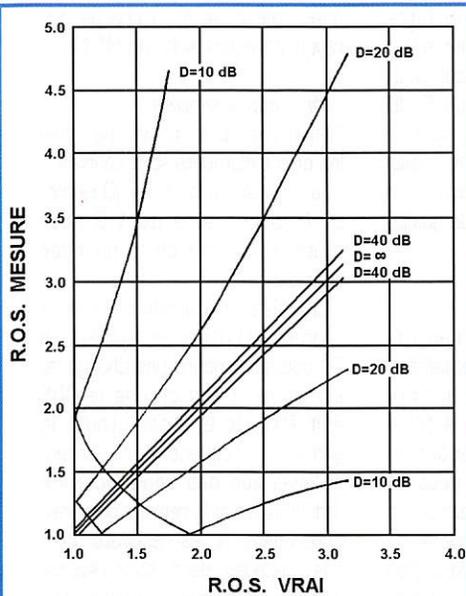


Schéma 4 : Valeurs de ROS lues en fonction de différentes longueurs de câble entre le TOS-mètre et la charge désadaptée (la valeur réelle est de 2,25/1).



**Schéma 5 : Effet de la directivité sur la valeur du ROS affiché.**

sation. Les dimensions comprennent les connecteurs. Il s'agit ici de longueur physique, c'est à dire tenant compte du coefficient de vitesse 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 m x 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"). 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.

Ajoutons maintenant les morceaux de câbles 50 Ohms, entre le point

"Z" et le TOS-mètre, 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 schémas N° 2 et N° 3).

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 schéma N° 4).

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 un appareil réputé comme le BIRD 43 n'est pas parfait, mais ses bouchons interchangeables lui 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 TOS-mètre (essentiellement sa directivité). Répétons enfin que le ROS réel ne varie pas le long d'une ligne sans perte.

Le schéma N° 5 reproduit un graphique tiré de l'article "Possible Errors in VSWR Measurement", par Louis D. Breetz dans GST de novembre 1959. Il indique l'influence de la directivité d'un cou-

pleur directionnel sur les valeurs de ROS lues par rapport à la valeur réelle. Il peut aussi permettre d'évaluer grossièrement la directivité d'un appareil testé en notant les valeurs extrêmes mesurées (dans notre cas ci-dessus 1,50 et 3,35) et la valeur réelle (2,25) puis en recherchant ces valeurs sur le graphique (ce qui correspond à une directivité guère supérieure à 15 dB). On constatera enfin que pour obtenir des mesures à peu près correctes sans toutefois être exactes, la directivité nécessaire est d'au moins 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. L'investissement nécessaire irait bien au-delà de celui requis pour quelques transceivers réputés.

Toutefois, 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, ne serait-ce que dans votre revue favorite (voir bibliographie).

En ce qui concerne l'intérêt réel d'afficher une valeur illusoire de 1,0 sur le TOS-mètre de service incorporé dans la boîte de couplage (de Marque Franco Japonaise ou autre...), 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!

A suivre...

**Francis FERON, F6AWN**  
c/o "Cercle Samuel Morse"  
BP 20  
F-14480 CREULLY  
E-mail :  
samuel.morse@mail.cpod.fr

## Bibliographie

### Livres :

- The ARRL Handbook, 1995
- The ARRL Antenna Book, 16th ed.

### Articles :

- "Pont de mesure de ROS ZRC", Dr Olaf Ostwald, Actualités Rohde & Schwartz 1993/1
- "De l'émetteur à l'antenne ...", Maurice Limes, F6ELM, Radio-REF, Août/Septembre 1981
- "Possible Errors in VSWR Measurement", Louis D. Breetz, GST, Novembre 1959
- "A Simple and Accurate QRP Directional Wattmeter", Roy Lewallen, GST, Février 1990
- "Precision Reflectometer for 0 to 2300 MHz", H. Tiefenthaler & B. Roessel, VHF Com.
- "Ham Radio Techniques", Bill Orr, W6SAI, Ham Radio, Juin 1982
- "Le Bird 43", Alain Borowik, F1GQG, MEGAHERTZ Magazine N° 160, Juillet 1996
- "Réalisation d'un pont réflectométrique", Jean Matthieu Stricker, F5RCT, MEGAHERTZ Magazine N° 114, Août 1992
- "Réalisation d'un pont réflectométrique", F5RCT et F1CCE, Ondes Courtes Informations N° 199, Août 1997