

ROS , TOS , SWR , Coefficient de réflexion ?

Introduction

Le but de ces quelques pages est de tenter d'aborder des **notions de base** concernant la vérification du fonctionnement d'une ligne de transmission HF (adaptation d'impédance, onde stationnaire) et ceci dans le cadre d'activités **radioamateur**.

N.B.: - On considérera pour la suite que les lignes de transmission ne comportent pas de pertes.

- Le lecteur à la recherche de démonstrations mathématiques pointues sera prié de consulter des sites ou des ouvrages spécialisés.

1) Ligne de transmission et ondes stationnaires

L'utilisation d'une ligne de transmission (câble coaxial , ligne bifilaire) permet de transporter l'énergie HF sous la forme d'ondes électromagnétiques (exemple : émetteur radio relié à une antenne). La théorie classique des lignes de transmission fonctionnant « en régime harmonique » (c.à.d. signal sinusoïdal pur) permet de modéliser mathématiquement le fonctionnement d'une ligne en introduisant les concepts de propagation d'onde incidente (ou directe), d'onde réfléchie, et de coefficient de réflexion de la charge. Quand **l'impédance de l'antenne** (charge) est **différente** de **l'impédance caractéristique** de la ligne, on dit qu'il y a désadaptation d'impédance. Dans ce cas l'amplitude de la tension (ou du courant) HF ne sera plus constante le long de la ligne de transmission. L'amplitude de la tension (ou du courant) présentera alors une ondulation périodique dont les minimums et maximums sont séparés d'un 1/4 d'onde (*). En certains points de la ligne l'onde directe et l'onde réfléchie seront **en phase** ; l'amplitude résultante de la tension est maximale (V_{max}) . En d'autres points de la ligne, l'onde réfléchie sera en **opposition de phase** avec l'onde directe ; l'amplitude résultante sera minimale (V_{min}) Nous obtenons les deux relations suivantes :

$$\begin{aligned}V_{max} &= V_{directe} + V_{réfléchie} \\V_{min} &= V_{directe} - V_{réfléchie}\end{aligned}$$

Le rapport d'onde stationnaire (ROS) est égal au rapport entre la tension V_{max} et la tension V_{min} :

$$R.O.S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{directe} + V_{réfléchie}}{V_{directe} - V_{réfléchie}}$$

La valeur du ROS évoluera entre **1** et **l'infini** (∞) .

2) Mesures sur une ligne de transmission en HF

On trouve souvent dans une station radioamateur un appareil couramment appelé **ROS-mètre** ou **TOS-mètre** (SWR-meter en anglais). Cet appareil, intercalé entre la sortie de l'émetteur et l'arrivée du câble coaxial d'antenne, comporte un « coupleur directif » calibré pour une impédance définie (généralement 50 ohms). En combinant une fraction de la tension et du courant HF (converti en tension), le ROS-mètre mesure une amplitude de tension que l'on associe à une « onde **directe** » et une amplitude de tension que l'on associe à une « onde **réfléchie** ». La connaissance de ces deux tensions permet de déterminer l'amplitude (on dit aussi le module) du **COEFFICIENT DE RÉFLEXION** en un point particulier de la ligne.

On obtient le module du coefficient de réflexion en divisant l'amplitude de « l'onde réfléchie » par l'amplitude de « l'onde directe ». Le résultat pourra évoluer entre **0** (*absence d'onde réfléchie : adaptation d'impédance ligne-charge parfaite*) et **1** (*réflexion totale : cas d'une ligne « ouverte » ou en court circuit*).

Par convention on note le module du coefficient de réflexion par la lettre grecque ρ (rhô).

$$\rho = \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}}$$

(*) *Remarques : la présence d'ondes stationnaires, dans des limites raisonnables, n'empêche pas le transfert de puissance entre un émetteur et une charge (antenne) à condition que la ligne présente peu de pertes à la fréquence considérée. La désadaptation d'impédance ligne - antenne (charge) peut aussi affecter la précision des mesures de la puissance transmise (cas d'utilisation d'appareils de mesure radioamateur du style « ROS-mètre / Wattmètre combinés »), mais tout ceci n'est pas l'objet de ce document d'initiation.*

3) Relation entre ROS et coefficient de réflexion.

On peut exprimer la valeur du ROS en fonction de ρ (module du coefficient de réflexion) :

$$R.O.S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{directe} + V_{réfléchie}}{V_{directe} - V_{réfléchie}} = \frac{1 + \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}}}{1 - \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}}}$$

comme $\rho = \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}}$ nous obtenons

$$R.O.S = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

Dans les appareils de mesure du type « ROS - mètre », cette relation permet d'afficher directement la valeur de ROS. On peut aussi établir des courbes ou des tableaux de correspondances :

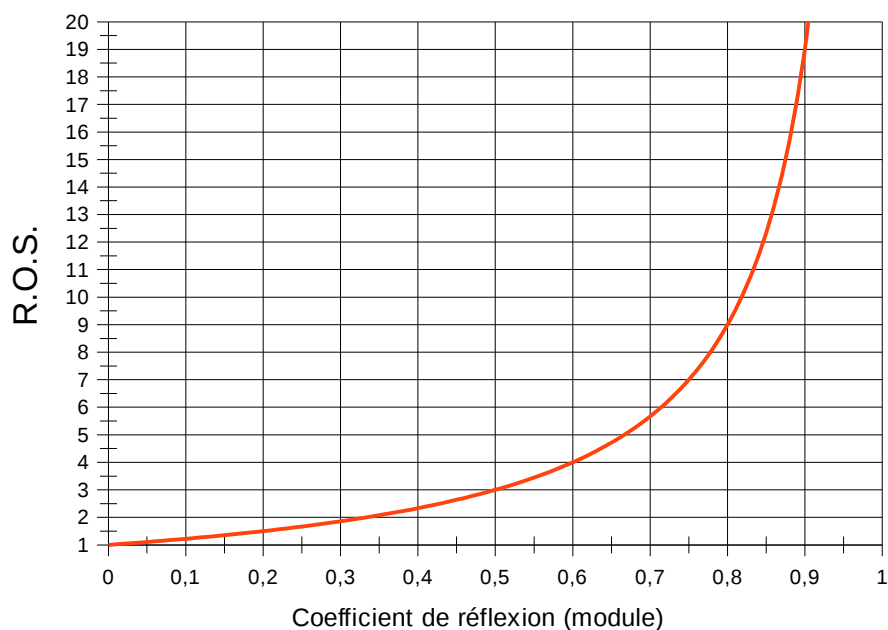


Tableau de correspondance pour quelques valeurs de ρ (module du coefficient de réflexion) et le **ROS** :

ρ	ROS
0	1
0,05	1,11
0,10	1,22
0,15	1,35
0,20	1,50
0,25	1,67
0,30	1,86
0,35	2,08
0,40	2,33
0,45	2,64
0,50	3
1	∞

4) Onde stationnaire et évaluation du ROS

Pour effectuer **réellement** une mesure d'onde stationnaire, il faut **déplacer une sonde de courant ou de tension le long de la ligne de transmission**. Ces mesures nécessitent un équipement très spécifique. Dans le cas d'une ligne bifilaire on peut envisager d'utiliser, par exemple, des contacts glissants et un voltmètre HF à haute impédance. Pour les lignes coaxiales on peut utiliser une ligne coaxiale rigide fendue (diélectrique air) comportant une sonde détectrice montée sur un chariot coulissant. Ces manipulations sont très intéressantes en laboratoire, souvent à des fins didactiques (*exemple : ligne de Lescher*), mais peu pratiques pour l'exploitation courante d'une station radio(amateur) !

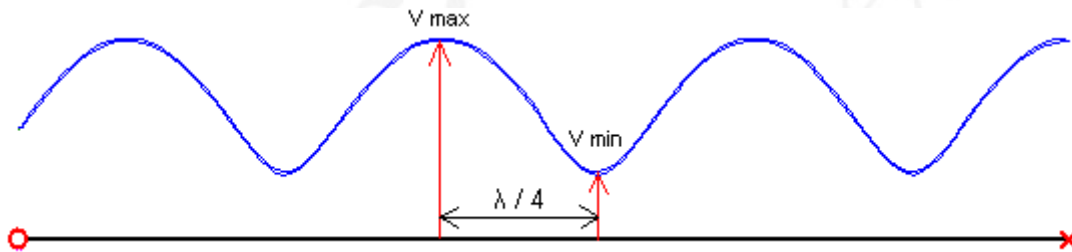


Fig. 1

La figure 1 illustre le cas d'un **relevé d'amplitude** de tension HF effectué **le long d'une ligne de transmission**. Le générateur HF est symbolisé par le petit cercle et la charge par la croix. La valeur de l'impédance de charge étant ici différente de l'impédance caractéristique de la ligne, on constate une « **ondulation** » de l'amplitude de la tension HF. Ce tracé des **variations d'amplitudes** représente un phénomène appelé **onde stationnaire** (*dans ce cas précis onde quasi stationnaire et contrairement aux apparences le tracé n'est pas sinusoïdal*). Du fait de l'aspect **stationnaire** du phénomène, on retrouve des minimums et des maximums à des **emplacements fixes** (tous les $\lambda/4$). L'espacement entre deux minimums (ou maximums) est égal à une $\frac{1}{2}$ **longueur d'onde**. Dans le cas d'une ligne **sans pertes**, un simple relevé d'amplitude permet de déterminer le **Rapport d'Onde Stationnaire (ROS = $V_{max} / V_{min} = 3$** dans le cas de la fig. 1). La puissance transportée dans la ligne étant **constante**, un maximum de tension correspond à un minimum de courant (et inversement). Comme les valeurs de tension et de courant varient, on en déduit que l'impédance présentée en chaque point de la ligne ne sera plus constante.

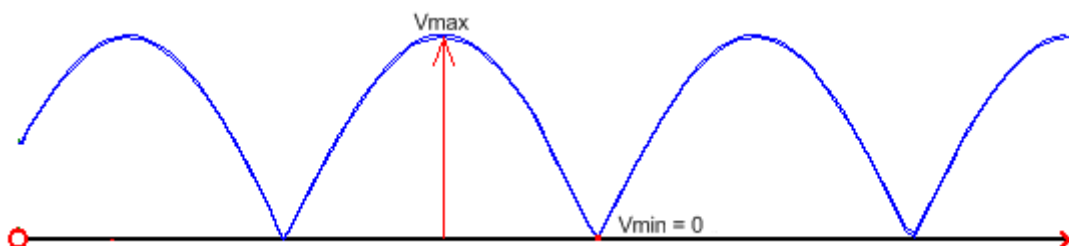


Fig. 2

La figure 2 correspond à une ligne « ouverte » (charge déconnectée). La « réflexion » en extrémité de ligne est **totale**. Le module du coefficient de réflexion est égal à **1** puisque $V_{réfléchi} = V_{directe}$. Comme $V_{min} = V_{directe} - V_{réfléchi} = 0$, le ROS présentera alors une valeur **infinie** (division par 0). La ligne fonctionne en régime d'onde stationnaire.

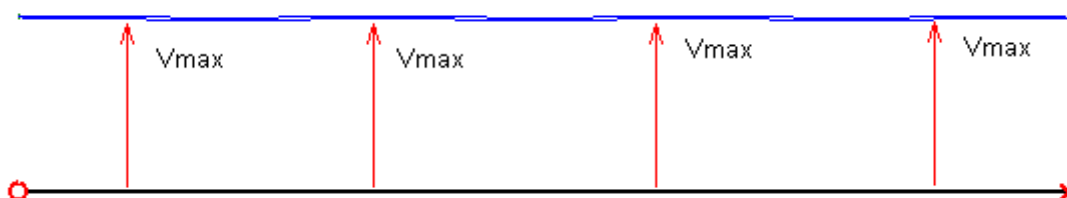
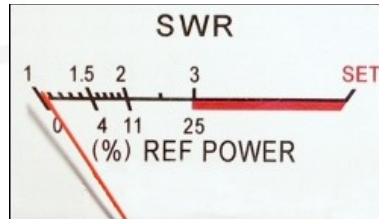


Fig. 3

La figure 3 montre un ROS pratiquement égal à 1. **L'amplitude de la tension (ou du courant) HF est constante tout le long de la ligne ($V_{max} = V_{min}$)**. Il n'y a pas d'onde réfléchi (impédance de charge = impédance caractéristique de la ligne ($V_{réfléchi} = 0$, $\rho = 0$) et donc **pas de création d'une onde stationnaire**. On dit alors que la ligne de transmission fonctionne exclusivement en régime d'ondes progressives.

5) ROS ou coefficient de réflexion ?

Nous savons qu'il est beaucoup plus simple de mesurer l'**amplitude** (ρ) du **coefficient de réflexion** en un point donné à l'aide d'un réflectomètre et d'en déduire **ensuite** une valeur correspondante du ROS (cf § 3). Alors pourquoi les appareils de mesures indiquent le **ROS** et non pas la valeur « ρ » ? Il y a d'abord une raison historique à l'utilisation du ROS qui provient de l'époque où les mesures consistaient à relever manuellement l'amplitude de l'onde stationnaire le long d'une ligne (*de longueur \geq à $\lambda/4$ afin de détecter la position des min. et max de valeurs*) et à reporter ensuite les résultats avec crayon et compas sur un abaque de Smith afin de déterminer le coefficient de réflexion et les valeurs d'impédances. Ce coefficient de réflexion, symbolisé par la lettre grecque Γ (gamma), est formellement un nombre complexe pouvant être défini par un **module** ρ (*amplitude*) et un **argument** θ (*thêta, angle de phase*). Par contre le ROS est un nombre réel dont les valeurs sont plus faciles à exploiter en pratique (exemples: 1,1...1,5 ... 2).



Sur les modèles simples de ROS-mètre une mesure s'effectue en deux temps:

❶ position **DIR** (ou FWD) puis émission d'une porteuse HF non modulée et calibration « en fond d'échelle » (**SET**).

❷ retour en position **REF** (mesure de la tension réfléchie) et lecture directe du **ROS** sur l'échelle graduée (SWR).

NB : L'échelle en % « puissance réfléchie » correspond à un pourcentage de « puissance directe » (*et ce n'est pas un « taux d'onde stationnaire exprimé en % » !*).

6) Précision des mesures du coefficient de réflexion

La précision des mesures est liée à la caractéristique de directivité du coupleur directif utilisé dans le ROS-mètre. Il ne faut pas que la mesure de l'amplitude de l'onde réfléchie soit perturbée par le niveau d'amplitude de l'onde directe. On considère qu'une directivité d'au moins 40 dB est nécessaire (*N.B. difficile à obtenir en pratique !*) si l'on ne souhaite pas mesurer des valeurs trop fantaisistes. Par exemple pour un ROS = 3 et une directivité de 30 dB, les indications pourront varier entre 2,7 et 3,35 en fonction de l'emplacement de l'appareil de mesure sur la ligne.

De plus comme les lignes de transmission présentent des pertes, l'amplitude de la tension directe et de la tension réfléchie va varier en fonction de la longueur (le ROS n'est alors plus constant). Une mesure "en début de ligne" indiquera une valeur de « ρ » plus faible que la valeur réellement présente au niveau de l'antenne (charge).

7) « Analyseurs d'antennes »

Parmi les appareils de mesures disponibles pour les radioamateurs il existe aussi des « analyseurs d'antennes ». Il s'agit le plus souvent d'un générateur V(HF) associé à un pont de mesure d'impédance plus ou moins sophistiqué. Ces appareils sont calibrés pour une valeur d'impédance caractéristique de ligne et ils mesurent généralement le module du coefficient de réflexion (ρ) et l'impédance (Z). Après conversion analogique-numérique, un micro-contrôleur permet de déterminer par calcul la valeur du ROS (SWR) ainsi que l'impédance sous la forme « résistance **R** et réactance **X** » (entre autres ...).



Source :VK5JST

8) Et le TOS ?

Le sigle **TOS** signifie **Taux d'Onde Stationnaire**. Tout comme le ROS il s'agit bien de quantifier la variation de l'amplitude d'une onde **STATIONNAIRE** le long d'une ligne (c.à.d. V_{\max} / V_{\min}). La définition du **TOS** génère une certaine confusion, et c'est un euphémisme, dans la littérature radioamateur (voire cibiste). On peut lire souvent les affirmations suivantes:

- « **Le TOS est le rapport (en %) entre l'amplitude de l'onde Réfléchi(e) et l'amplitude de l'onde Directe** »

Cette définition, qui est erronée, est la principale source de confusions. Dans la théorie des lignes de transmission ce rapport correspond à une notion bien précise: il s'agit de l'amplitude (module) d'un **Coefficient de Réflexion**.

- « **C'est un taux , donc il s'agit obligatoirement d'un pourcentage ...** »

Hé bien non. Par définition un taux consiste à déterminer le rapport (proportion) entre deux quantités et l'expression d'un taux sous la forme particulière d'un pourcentage **n'est pas une obligation**.

- « **Ce TOS-mètre comporte une échelle graduée de 0 à 100 % indiquant le taux d'onde stationnaire** »

L'échelle en % (**REFlected Power**) présente sur certains appareils, indique le pourcentage d'une puissance directe fictive « non absorbée » par la charge (antenne). Contrairement à une croyance tenace cette puissance réfléchi(e) fictive n'est pas absorbée « en retour » par l'émetteur. En pratique la puissance active réellement délivrée à la charge est égale à « Pdir. - Pref. ».

- « **Le TOS est le rapport (en %) entre la « puissance Réfléchi(e) » et la « puissance Directe. »** »

Ce rapport de puissances correspond à un Coefficient de Réflexion. Il s'agit du module du coefficient de réflexion élevé au carré ($\rho^2 = \text{Pref} / \text{Pdir}$).

Les sigles TOS et ROS ont la même signification.
Les termes Taux et Rapport sont simplement synonymes : TOS = ROS (= SWR)

Quelques remarques:

- Exprimer en % un coefficient de réflexion n'est pas interdit. Exemple: $\rho = 0,50$ correspond à 50 % de **tension (ou de courant) réfléchi(e)**, et non pas à un « TOS de 50 % » sur la ligne (TOS=3). La notation du type « TOS = n:1 » indique simplement un rapport dans lequel V_{\min} (cf. §4) est normalisée à « 1 ».
- Cette définition erronée du TOS, due à une **confusion avec le coefficient de réflexion** se « propage » depuis des décennies dans les revues amateurs et plus récemment sur «le web» [1] .
- Les radioamateurs anglophones n'ont pas ces soucis de sémantique. Ils utilisent uniquement le sigle **SWR** pour *Standing Wave Ratio*. Il existe aussi **VSWR** pour *Voltage Standing Wave Ratio* afin de préciser que la mesure fait référence à la tension le long de la ligne (et **ISWR** pour une mesure avec le courant).

Il faut bien reconnaître que la théorie associée au fonctionnement des lignes de transmissions n'est pas un sujet simple. Au cours du temps, la notion de TOS est devenue « imprécise » chez les radioamateurs (et parfois chez certains professionnels). Pour éviter toutes ambiguïtés il faudrait utiliser exclusivement le sigle **ROS**. Idem pour les appareils de mesures : remplacer « TOS-mètre » par « **ROS-mètre** ».

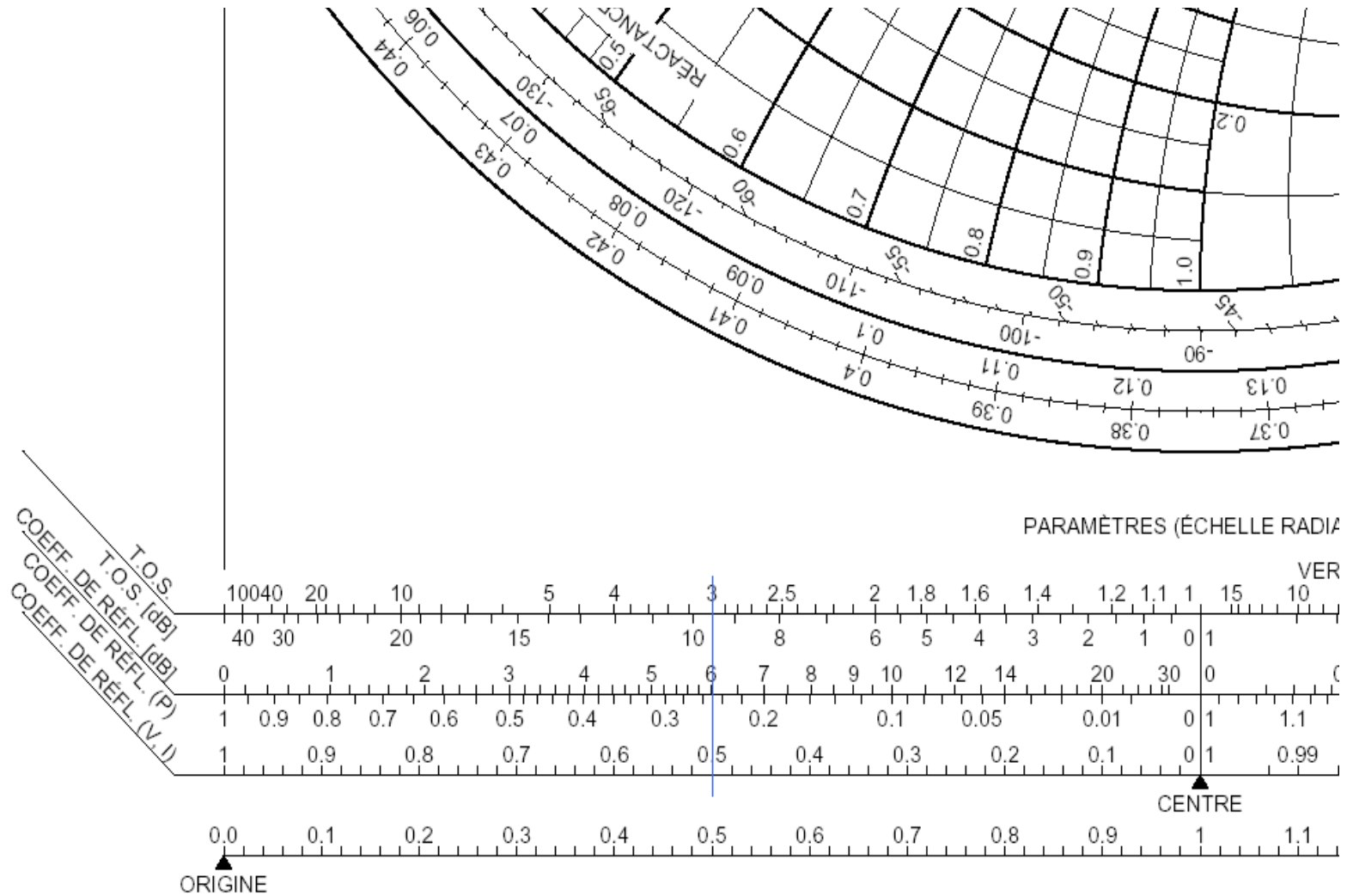
Les mauvaises habitudes étant prises, la définition erronée du TOS risque de perdurer encore longtemps. Pour information, en France, l'abréviation ROS est la seule qui est recommandée d'une manière officielle [2] , le sigle TOS étant déclaré comme proscrit (*sans doute afin d'éviter des problèmes d'interprétation*). On trouve encore le sigle TOS dans des ouvrages de référence ou des publications universitaires avec, bien évidemment, une définition qui est équivalente à celle du ROS.

Vous trouverez dans l'annexe 1 un exemple de calcul de TOS (ROS) utilisant les échelles de correspondances d'un abaque de Smith (*Abaque permettant la détermination des impédances et admittances le long d'une ligne de transmission*). Cet exemple montre la correspondance entre l'amplitude d'un coefficient de réflexion (en tension, courant ou puissance) et le Taux d'Onde Stationnaire.

[1] Livres et articles de F3LG , « définitions Wikipedia » , cours de préparation à l'examen radioamateur de la C.N.F.R.A (Commission Nationale de la Formation Radioamateur) du REF.

[2] Cf. Annexe 2 de ce document – tous mes remerciements à F6AWN pour ses recherches :-)

Annexe 1



- T.O.S (Taux d'onde stationnaire i.e. R.O.S) = **3** (9,54 dB)
- Coefficient de réflexion (tension ou courant) = **0,5**
- Coefficient de réflexion (puissance) = **0,25** (6 dB)

Annexe 2

Termes techniques recommandés et publiés dans le Journal Officiel de la République Française.

rapport d'onde stationnaire

Journal officiel du 22/09/2000

Abréviation : ROS

Domaine : TÉLÉCOMMUNICATIONS

Définition : Rapport caractérisant une onde électromagnétique dans un milieu comportant une onde stationnaire.

Note : 1. Le rapport d'onde stationnaire est le rapport d'un maximum à un minimum adjacent d'une composante particulière du champ électromagnétique, ou d'une grandeur telle que le courant ou la tension. 2. Le terme « taux d'onde stationnaire » est à proscrire.

Équivalent étranger : standing wave ratio (en), SWR (en), voltage standing wave ratio (en), VSWR (en)

Source : Arrêté du 27 avril 1982

Cette définition est disponible sur le site suivant :

<http://www.culture.fr/franceterme> (rechercher le sigle SWR) .