

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 précises devra consulter des sites ou des ouvrages spécialisés.

1) Ligne de transmission et désadaptation d'impédance

L'utilisation d'une ligne de transmission permet de transporter l'énergie HF sous la forme **d'ondes électromagnétiques** (ex. : émetteur-récepteur radio relié à une antenne par une ligne coaxiale ou bifilaire). La théorie « classique » des lignes de transmission permet de formaliser le fonctionnement de ces dernières à l'aide d'équations. Cette théorie introduit les **concepts d'onde incidente** (ou directe), **d'onde réfléchie** et de **coefficient de réflexion** de la charge. Il y a désadaptation d'impédance quand l'impédance de la charge (antenne pour un émetteur) est **différente** de l'impédance caractéristique de la ligne ; dans ce cas si l'on transmet un signal HF **purement sinusoïdal et d'amplitude constante** (non modulé), on constate que l'amplitude de la tension (ou du courant) HF varie **le long de la ligne**. L'amplitude de la tension (ou du courant) HF présentera « une ondulation périodique » dont les minimums et maximums sont localisés à des distances fixes séparées d'un quart de longueur d'onde¹. D'un point de vu modélisation tout se passe « comme si » il existait une **interférence** entre une onde directe, qui se **propage** dans le sens générateur vers charge, et une onde réfléchie² se propageant en sens inverse. Quand ces deux ondes sont en phase, l'amplitude de la tension résultante est maximale ; en d'autres points de la ligne, l'onde réfléchie sera en opposition de phase avec l'onde directe et l'amplitude résultante sera alors minimale. Nous allons définir deux valeurs d'amplitude, V_{max} et V_{min} , à l'aide des relations suivantes :

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

Par définition 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** (pas de tension réfléchie) et **l'infini** (réflexion totale) .

2) Mesures sur une ligne de transmission HF

On trouve souvent dans une station radioamateur un appareil de mesure 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). Par combinaisons d'une fraction de la tension HF **et** du courant HF (N.B. : 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 valeurs permettra de déterminer **l'amplitude** (on dit aussi le module) du **COEFFICIENT DE RÉFLEXION** de la charge (antenne). En pratique ce coefficient permet d'estimer le niveau de désadaptation entre l'impédance de la charge (antenne) et l'impédance caractéristique de la ligne.

On détermine 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** (*adaptation d'impédance parfaite : absence d'onde réfléchie*) et **1** (*réflexion totale : cas d'une ligne « ouverte » ou en court-circuit*).

Par convention on désigne par ρ (lettre grecque « rhô »)³, le module du coefficient de réflexion :

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

1. Phénomène d'onde stationnaire : l'amplitude du signal HF est à la fois fonction du temps (signal périodique) et de la distance le long de la ligne.

2. En « régime établi » sur la ligne, l'énergie HF active se propage uniquement dans le sens générateur (émetteur) vers charge (antenne). En cas de désadaptation d'impédance, une énergie réactive additionnelle sera « stockée » dans la ligne sans se propager (onde stationnaire). Les concepts de « puissance réfléchie » et de « puissance directe » sont des commodités de mesure et de représentation de la désadaptation d'impédance. Dans tous les cas $P_{active} = P_{directe} - P_{réfléchie}$.

3. Ou bien par la lettre « r » s'il n'y a pas de confusion possible avec d'autres variables.

3) Relation entre ROS et coefficient de réflexion.

On peut déterminer la valeur du ROS à partir du module (ρ) 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 :
$$R.O.S. = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

Cette relation entre ρ et ROS permet d'afficher directement la valeur du ROS* dans les appareils de mesure du type « ROS - mètres ». On peut aussi établir une courbe ou un tableau de correspondances :

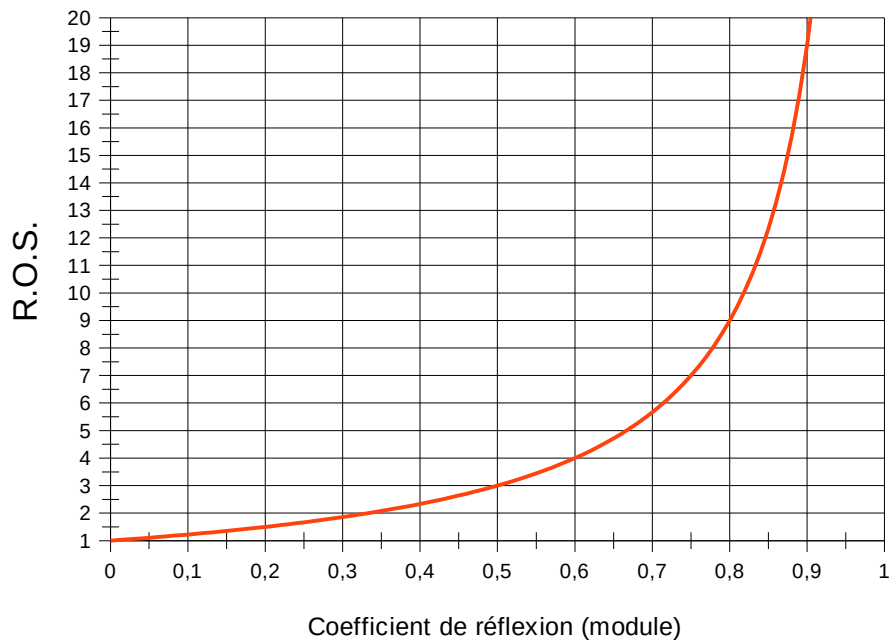


Tableau de correspondance pour quelques valeurs de ρ (module du coefficient de réflexion) et le **ROS** :

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	∞

* En résumé, un « ROS-mètre » mesure principalement une désadaptation d'impédance, ce qui permet de déterminer le module du coefficient de réflexion de la charge et d'afficher ensuite la valeur d'un ROS potentiel sur une ligne de transmission.

4) Onde stationnaire et mesure du ROS

Pour effectuer réellement une mesure de l'amplitude d'une onde stationnaire, il faudrait déplacer une sonde de courant ou de tension **le long de la ligne de transmission**. Ces mesures nécessitent un équipement 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 (N.B. : *bandes VHF, UHF, SHF*) on peut utiliser une ligne 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 Lecher*), mais peu pratiques pour l'exploitation courante d'une station radio(amateur) !

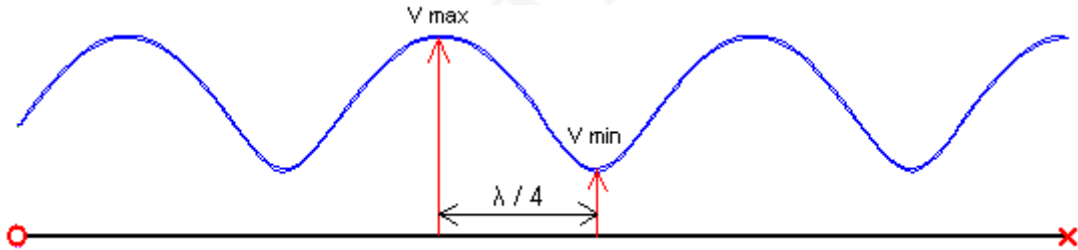


Fig. 1

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** (espacement $\lambda/4$). Pour 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). On peut interpréter ce phénomène comme étant la superposition d'une onde progressive (*puissance active, propagation dans le sens générateur vers charge*) et d'une onde stationnaire (*puissance réactive dans la ligne*). Autre conséquence, **l'impédance le long de la ligne n'est plus constante** et pourra présenter une réactance capacitive ou inductive plus ou moins importante.

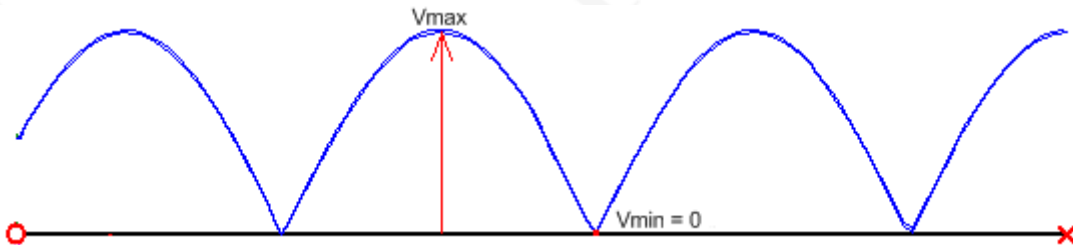


Fig. 2

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 « pur ».

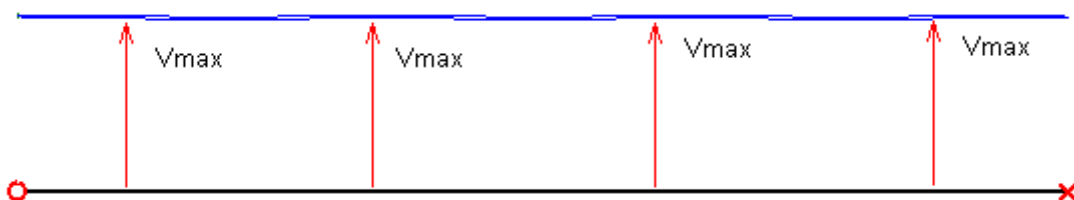


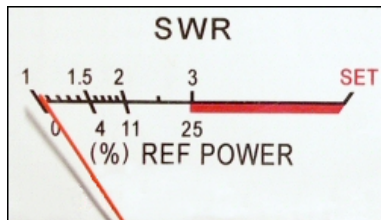
Fig. 3

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 **absence d'onde stationnaire**. On dit alors que la ligne de transmission fonctionne exclusivement en régime d'onde progressive.

(*) La valeur de la tension (ou du courant) HF sera donc à la fois fonction du temps (signal périodique) mais aussi de la distance le long de la ligne.

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 section 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 $\geq \lambda/4$ afin de détecter la position des *minimums* et des *maximums*). Les résultats étaient ensuite reportés « avec crayon et compas » sur un abaque de Smith dans le but de déterminer un coefficient de réflexion et des 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*) est un **argument** θ (*théta, angle de phase*). Par contre le ROS est un nombre réel dont les valeurs sont relativement plus faciles à exploiter (exemple : appareil de mesure du type ROS-mètre).



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

❶ Position **DIR** (*Direct ou FWD : Forward*), puis émission d'une porteuse HF non modulée et réglage, au moyen du potentiomètre, de la tension mesurée sur le repère **SET** en fin d'échelle du galvanomètre.

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

N.B. : L'échelle en (%) REF POWER (puissance réfléchie) correspond à un pourcentage de « puissance directe ».

6) ROS-mètre et précision des mesures

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 (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.

Si la ligne de transmission présente des pertes non négligeables, 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 »

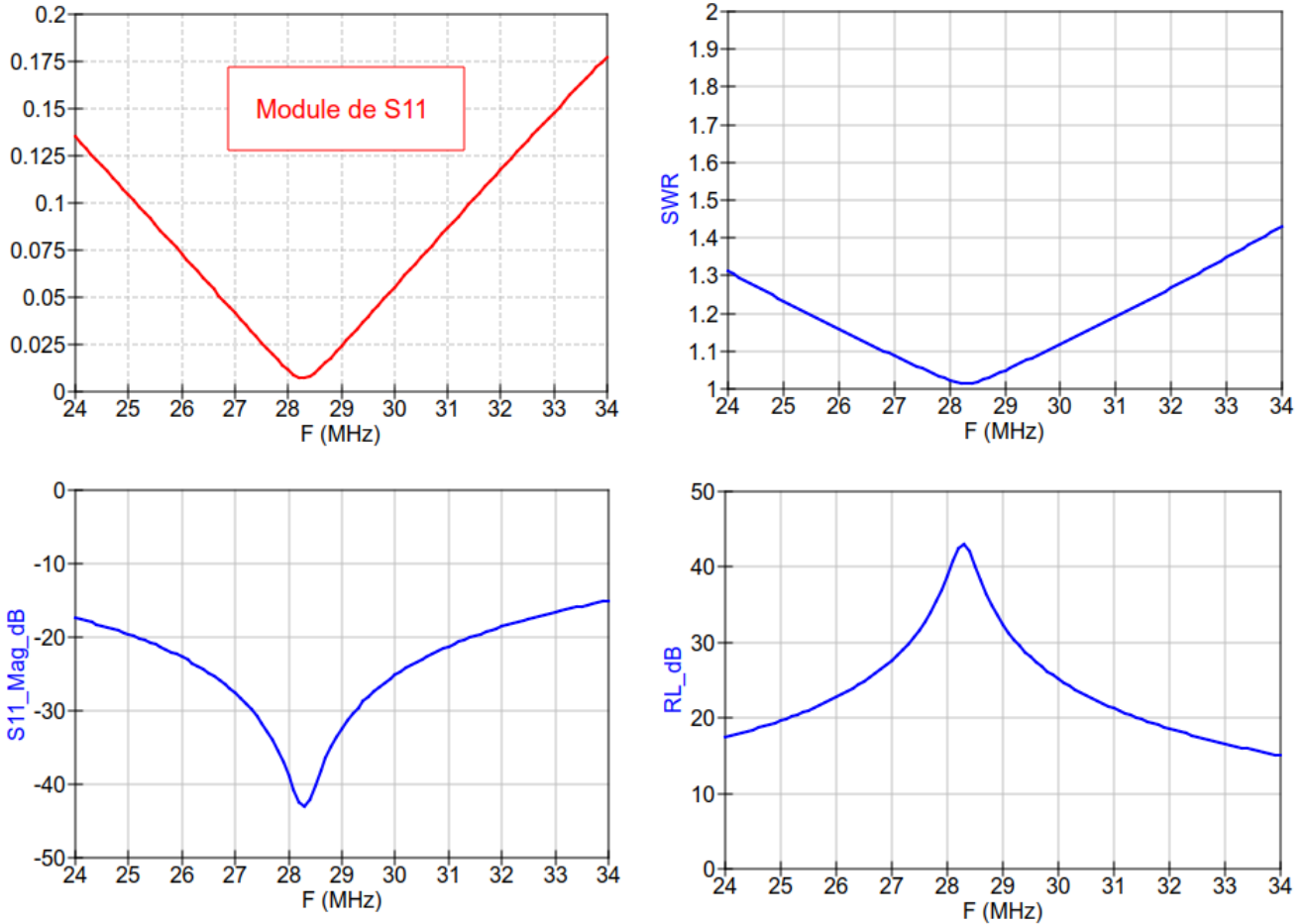
Parmi les appareils de mesures disponibles pour les radioamateurs il existe aussi des « analyseurs d'antennes ». Il s'agit le plus souvent d'un pont de mesure d'impédances que l'on connecte à la place de l'émetteur. L'analyseur comporte un générateur (V)HF associé à un fréquencemètre. Ces appareils sont calibrés pour une valeur d'impédance de référence (ex. : 50 Ω) ; 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) VNA , ROS (SWR) , paramètre S_{11} et décibels

L'utilisation d'un analyseur de réseau vectoriel (*VNA Vector Network Analyser*) est de plus en plus courante chez le radioamateur adepte d'expérimentations techniques. Un VNA permet d'effectuer des mesures du type paramètres S ⁽¹⁾. Suivant le proverbe « qui peut le plus peut le moins », il est possible d'utiliser un VNA pour vérifier un ROS (SWR) sur une plage de fréquences. L'entrée (*port*) du VNA dédiée à l'analyse de S_{11} (coefficient de réflexion complexe) permettra de mesurer le module ⁽²⁾ de S_{11} que l'on notera $|S_{11}|$. Dans le cas d'un circuit passif la valeur de $|S_{11}|$ pourra évoluer entre 0 (absence de réflexion) et 1 (réflexion totale).



Dans les figures ci-dessus, le tracé en rouge illustre un exemple de la variation du module de S_{11} en fonction de la fréquence (amplitude de la réflexion mesurée par le VNA). Le résultat de cette mesure pourra ensuite être affiché (cf. tracés en bleu) sous la forme d'une courbe de **ROS** (SWR), de $|S_{11}|$ (dB) ⁽³⁾ ou de **Return Loss** (dB) ⁽⁴⁾. Pour information quelques formules concernant ces paramètres :

$$SWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

$$|S_{11}|_{(dB)} = 20 \log |S_{11}| = 10 \log \left(\frac{P_{ref}}{P_{dir}} \right)$$

$$RL_{(dB)} = 10 \log \left(\frac{P_{dir}}{P_{ref}} \right) = -20 \log |S_{11}|$$

Remarque : $|S_{11}|_{(dB)} = -RL_{(dB)}$

1. Pour un quadripôle : coefficients de réflexion S_{11} et S_{22} ainsi que les coefficients de transmission S_{21} et S_{12} . Pour un dipôle les mesures se limitent à S_{11} .
2. Si l'on n'utilise pas les paramètres S ce module est plus classiquement noté p . L'affichage du coefficient de réflexion S_{11} sous la forme amplitude (module) et argument (phase), nécessitera l'utilisation d'un diagramme polaire voire d'un abaqué de Smith si l'on souhaite afficher les valeurs d'impédances complexes etc.
3. Fonction « **s11 Mag dB** » dans le menu de certains VNA.
4. « Historiquement » le paramètre RL (*Return Loss*), que l'on peut tenter de traduire par « affaiblissement de réflexion », consiste à exprimer en dB le rapport entre une « puissance directe » et une « puissance réfléchie ». Pour un système passif le résultat du calcul est toujours positif ; plus la valeur en dB est élevée meilleure sera l'adaptation d'impédance. Du fait de leur définition, les paramètres $RL_{(dB)}$ et $|S_{11}|_{(dB)}$ ont des valeurs opposées ce qui occasionne parfois certaines confusions...

9) ROS et exploitation des équipements radio

L'étage amplificateur de puissance HF d'un équipement radioamateur du type émetteur-récepteur (*transceiver*) est généralement conçu pour fonctionner d'une manière optimale¹ sur une charge dont l'impédance - purement résistive - est égale à 50 ohms. Idéalement, l'impédance présentée par l'antenne et l'impédance caractéristique de la ligne (du type câble coaxial) devraient avoir comme valeur 50 ohms.

Un *transceiver* comporte très souvent un ROS-mètre intégré. La mesure et l'indication du niveau de ROS permet de vérifier la présence d'un éventuel problème de désadaptation d'impédance². Dans certains cas, un ROS-mètre intégré permet aussi d'assurer d'une manière automatique la protection des étages de puissance HF³.

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que si l'impédance de charge est différente de l'impédance caractéristique de la ligne, l'amplitude de la tension HF et du courant HF n'est plus constante tout le long de la ligne (phénomène d'onde stationnaire). Tout ceci se traduit par le fait que l'impédance va varier tout le long de cette ligne et qu'en extrémité l'impédance « vue du *transceiver* » pourra être plus ou moins éloignée de 50 ohms et plus ou moins réactive, c'est à dire inductive ou capacitive.

Un autre inconvénient potentiel du fonctionnement en régime d'onde stationnaire est l'apparition de pertes qui s'ajoutent à l'atténuation normale de la ligne⁴. Ces pertes additionnelles sont toutefois à relativiser en fonction de la longueur de la ligne et de la fréquence, plus particulièrement pour les bandes basses décimétriques.

En pratique il est rare qu'une antenne accordée présente exactement une impédance de 50 ohms ou bien que le ROS soit par exemple inférieur à 1,5 sur toute une portion de bande, notamment en ondes décimétriques.

Pour pallier, dans une certaine mesure, tous les inconvénients que nous venons d'évoquer on associe au *transceivers* une « boîte d'accord » interne ou externe. Ces boîtes d'accord manuelles ou automatiques comportent des éléments inductifs et capacitifs ajustables permettant de réaliser une adaptation entre l'impédance « vue en entrée de ligne » et l'impédance souhaitée de 50 ohms. Les circuits utilisés dans les boîtes d'accord sont des réseaux dont la structure peut être en « L » (passe haut ou passe bas), en « Pi », ou en « T ». On peut trouver également des circuits couplés magnétiquement permettant de réaliser à la fois l'adaptation d'impédance et le couplage entre une ligne bifilaire symétrique et la sortie asymétrique (prise d'antenne coaxiale) du *transceiver*.

Il serait faux de penser que le fonctionnement en régime d'onde stationnaire d'une ligne ne présente que des inconvénients du fait des variations d'impédances et d'un ROS relativement élevé. Des tronçons de lignes non chargés par leur impédance caractéristique peuvent jouer le rôle de transformateur d'impédance pour une fréquence donnée. Les exemples les plus connus sont les transformateurs 1/4 ou 1/8 d'onde. Des tronçons de faible longueur (en anglais *stub*) dont une extrémité est ouverte ou court-circuitée se comporteront, toujours pour une fréquence donnée, comme des « constantes localisées » permettant de simuler des inductances ou des capacités.

Pour terminer ces quelques considérations concernant le ROS, nous pouvons citer le cas particulier de la célèbre antenne filaire décimétrique composée d'un simple doublet symétrique, de longueur quelconque⁵ et alimentée par une ligne bifilaire⁶ également de longueur quelconque. Cette configuration d'antenne, appelée *center fed dipole* dans les descriptions rédigées en anglais, permet de réaliser d'une manière économique une antenne multibande notamment pour les bandes basses décimétriques. La ligne d'alimentation bifilaire fonctionnera en régime d'onde stationnaire avec un ROS relativement élevé. Ce mode de fonctionnement ne présentera pas un inconvénient majeur, les pertes dans la ligne bifilaire pouvant être considérées comme faibles ce qui ne serait pas le cas pour un câble coaxial. L'impédance présentée à l'émetteur étant essentiellement variable en fonction de la bande utilisée, une boîte d'accord sera obligatoire afin de réaliser une adaptation vers 50 ohms. Pour les bandes décimétriques l'antenne *center fed* illustre le principe du transfert d'énergie HF active d'un émetteur vers une antenne malgré la présence d'un ROS élevé⁷. Ce fonctionnement en régime d'onde (quasi-)stationnaire est rendu possible du fait des caractéristiques de la ligne bifilaire et de l'utilisation d'une boîte d'accord symétrique / asymétrique qui devra être conçue pour présenter un minimum de pertes.

1. Rendement en puissance, linéarité, maximum de tension ou de courant admissible par les composants actifs et passifs, etc.
2. Éventuellement de s'apercevoir que l'antenne n'est pas connectée (!) ou non opérationnelle pour des raisons diverses...
3. Limitation progressive de la puissance de sortie jusqu'au blocage de l'amplificateur HF en cas de ROS trop important.
4. Mesure d'atténuation exprimée en dB par unité de longueur et effectuée sur charge adaptée (en anglais paramètre *Matched Loss*).
5. Pour un minimum d'efficacité, la longueur totale des brins rayonnants ne doit pas être inférieure à un quart d'onde pour la fréquence la plus basse à exploiter.
6. Ligne bifilaire diélectrique air (impédance de 400 à 800 ohms) ou câble du type « *twin lead* » pouvant être partiellement ajouré (impédance de 200 à 450 ohms) .
7. Ce fonctionnement implique des modulations « à bande étroite » ce qui est le cas pour les transmissions HF radioamateur en ondes décimétriques.

10) Et le TOS ?

Le sigle **TOS** signifie **Taux d'Onde STATIONNAIRE**. A noter qu'il s'agit bien de quantifier l'amplitude d'une onde **STATIONNAIRE** pouvant exister le long d'une ligne. La définition du **TOS** est trop souvent inexacte dans de nombreuses revues ou publications (radioamateurs ou autres). On peut trouver les affirmations suivantes :

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

Cette affirmation est inexacte ; la représentation d'un taux **sous la forme particulière d'un pourcentage n'est pas une obligation**. D'une manière générale un taux consiste à déterminer le rapport (proportion) entre deux grandeurs et il existe, dans de nombreux domaines, des taux exprimés sous la forme de notation décimale ou fractionnaire.

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

Cette définition, erronée, **est la principale source de confusions**. Dans la théorie des lignes de transmission le rapport d'amplitude entre ces deux ondes **qui n'ont rien de stationnaires** et qui, au contraire, se **propagent** en sens opposés, correspond à une notion bien précise : il s'agit du module du **Coefficient de Réflexion** de la charge (antenne).

- « *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 transmise à la charge (antenne). Contrairement à une croyance tenace cette puissance réfléchie, également fictive, n'est pas « dissipée en retour » par l'émetteur (N.B. : cas d'un fonctionnement en régime établi). En pratique la puissance active qui se propage vers la charge est égale à « Pdir. - Pref. ».

Quelques remarques:

- **En réalité les termes Taux et Rapport sont simplement des synonymes.** Les sigles TOS ou ROS font référence **au même phénomène** et sont définis d'une manière strictement identique (**TOS = ROS = SWR**). De ce fait la formule suivante, que l'on rencontre encore très fréquemment, n'a aucun sens :

$$TOS = 100 * \frac{(ROS - 1)}{(ROS + 1)} \quad \leftarrow \text{Faux !}$$

- Exprimer en % un coefficient de réflexion n'est pas interdit. Exemple: $\rho = 0,50$ correspond à une tension réfléchie égale à 50 % de la tension directe mais ce n'est pas un « TOS de 50 % sur la ligne ». Dans ce cas $TOS = 3$ (ou ... 300 % si l'on tient absolument à utiliser les pourcentages !).
- Les radioamateurs anglophones n'ont pas ces soucis de subtilités sémantiques. Ils utilisent uniquement le sigle SWR pour *Standing Wave Ratio*. Il existe aussi (V)SWR pour (*Voltage*) *Standing Wave Ratio* afin de préciser que la mesure fait référence à la tension le long de la ligne. De même (I)SWR indique que l'on utilise les valeurs d'intensité du courant HF afin de déterminer le SWR.
- La notation du type (V)SWR = <Valeur> : 1 est assez fréquente dans les revues ou notices techniques rédigées en anglais. Il s'agit de représenter le « ratio V_{max} / V_{min} » de l'amplitude de l'onde stationnaire sur une ligne de transmission et ceci après normalisation à 1 de la valeur au **dénominateur** (V_{min}). De ce fait une indication telle que, par exemple, « SWR = 1 : 1.5 » sera incorrecte puisque par définition le rapport doit obligatoirement être supérieur ou égal à un (la notation correcte serait SWR = 1.5 : 1 ou plus simplement SWR = 1.5).
- Exprimer le ROS (ou le TOS) à l'aide d'un simple calcul de rapport d'impédances peut être une source de confusions. Cette estimation rapide du ROS, égale à $\max\{ Z_{charge} / Z_c, Z_c / Z_{charge} \}$, avec Z_c impédance caractéristique* de la ligne, ne s'applique **que si l'impédance de la charge est purement résistive**.

* De plus, afin de simplifier les calculs en HF, l'impédance caractéristique Z_c de la ligne est considérée comme étant « purement réelle ».

11) ROS ou TOS ?

Il faut bien reconnaître que la théorie associée aux lignes de transmission n'est pas un sujet simple et que certains auteurs de publications, à des fins louables de vulgarisation, se sont parfois égarés dans des explications inexactes. Pour l'anecdote, en 1967 la notion de TOS avait fait l'objet d'échanges de vues intéressants dans la revue radioamateur RADIO-REF¹.

La définition erronée du Taux d'Onde Stationnaire a été très largement diffusée aux cours de ces dernières décennies et risque de perdurer, hélas, encore longtemps² !

En dehors du petit monde des radioamateurs francophones, le sigle TOS est utilisé dans des ouvrages de référence ou des publications universitaires traitant de la théorie des lignes de transmission avec, bien évidemment, une définition identique à celle du ROS. A noter également que la notion de Taux d'Onde Stationnaire n'est pas limitée qu'aux ondes électromagnétiques, on peut la retrouver dans d'autres domaines de la physique.

L'annexe 1 illustre un calcul de TOS à l'aide d'échelles de conversions associées à un abaque de Smith. Cet exemple montre la correspondance entre l'amplitude d'un coefficient de réflexion (exprimé en tension, courant ou puissance) et le Taux d'Onde Stationnaire.

L'annexe 2 décrit brièvement un TOS-mètre professionnel des années 1960 / 1970.

Pour information en France, depuis l'an 2000 et dans **le domaine particulier des télécommunications**, le sigle ROS est recommandé d'une manière officielle³ le sigle TOS étant déclaré comme proscrit (sans doute afin d'éviter des problèmes d'interprétation).

L'arrêté fixant les conditions d'obtention des certificats d'opérateur des services d'amateur⁴ a été modifié en 2021. Parmi les modifications on notera que, dans l'annexe concernant le programme des épreuves techniques, l'expression « taux d'onde stationnaire » a été remplacée par « rapport d'onde stationnaire ».

Dans un cadre d'initiation technique radioamateur, il faudrait d'une part utiliser la notion d'amplitude du coefficient de réflexion (cf. section 2) et d'autre part, compte tenu du fait que le sigle TOS est de moins en moins utilisé afin d'éviter certaines incohérences dans les définitions, considérer que le TOS est « l'ancienne dénomination » du ROS ; mais ce n'est que mon avis !

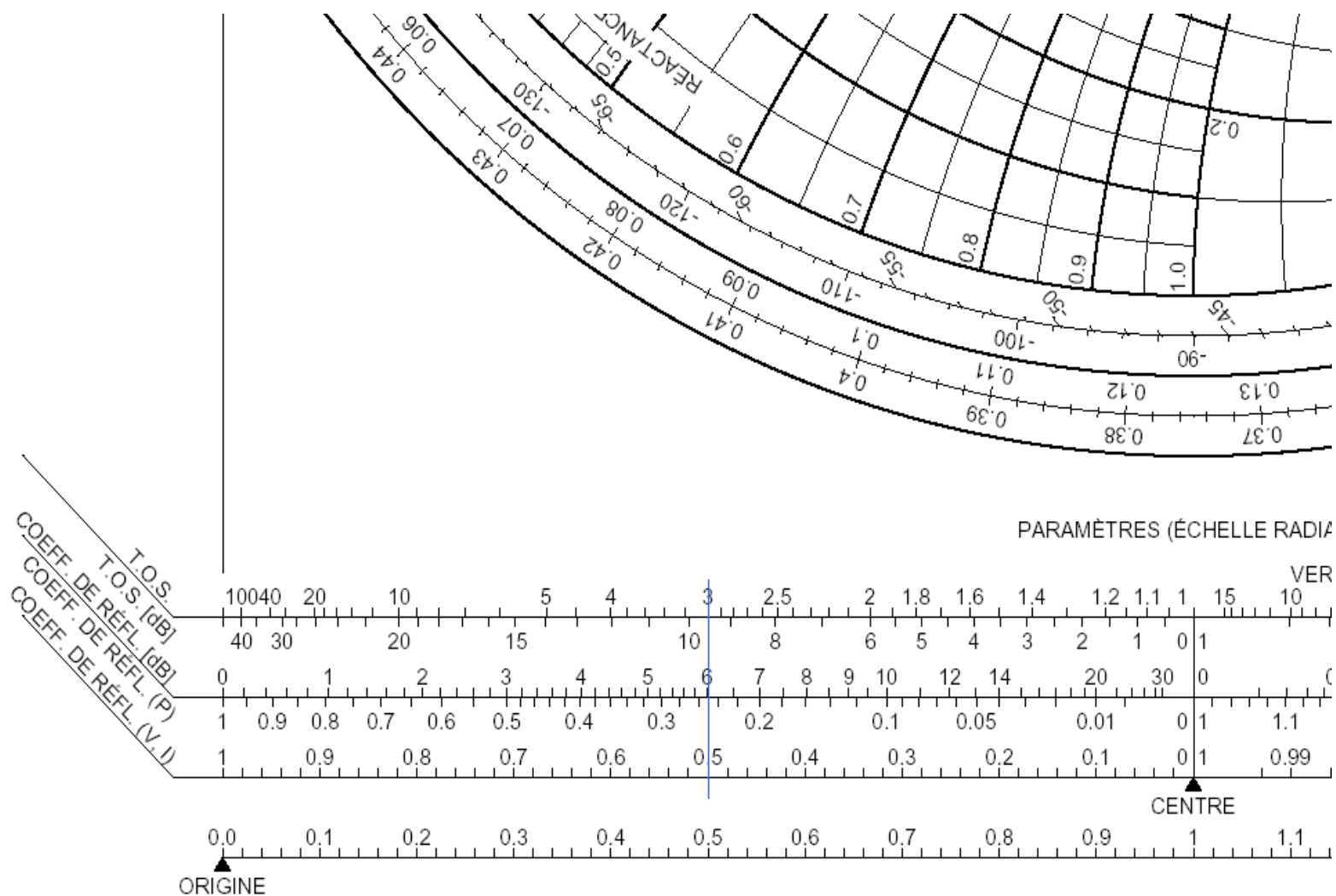
1. RADIO-REF 10-1967 page 675 « Ondes stationnaires et vocabulaire » par Michel NAUD (REF 8689) qui exposait clairement certains concepts liés aux lignes de transmission tout en indiquant qu'il était en désaccord avec les écrits de Ch. GUILBERT F3LG en ce qui concerne la définition du TOS (amalgame avec le coefficient de réflexion) ; réponse « agacée » dans le numéro suivant (11-1967 page 752) de F3LG qui, obnubilé par les pourcentages, persistait à définir d'une manière inexacte la notion de TOS en utilisant des arguments discutables.

2. De nos jours, articles Wikipedia (en français) sans oublier de nombreux cours « en ligne » de préparation à l'examen radioamateur (!) . Vient s'ajouter depuis peu les moteurs de recherche du type « Intelligence Artificielle » pollués par des « sources » contenant des définitions incorrectes.

3. Cf. Annexe 3 ; remerciements à F6AWN pour ses recherches documentaires ;-)

4. JORF <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000401783/2020-10-08/>

Annexe 1



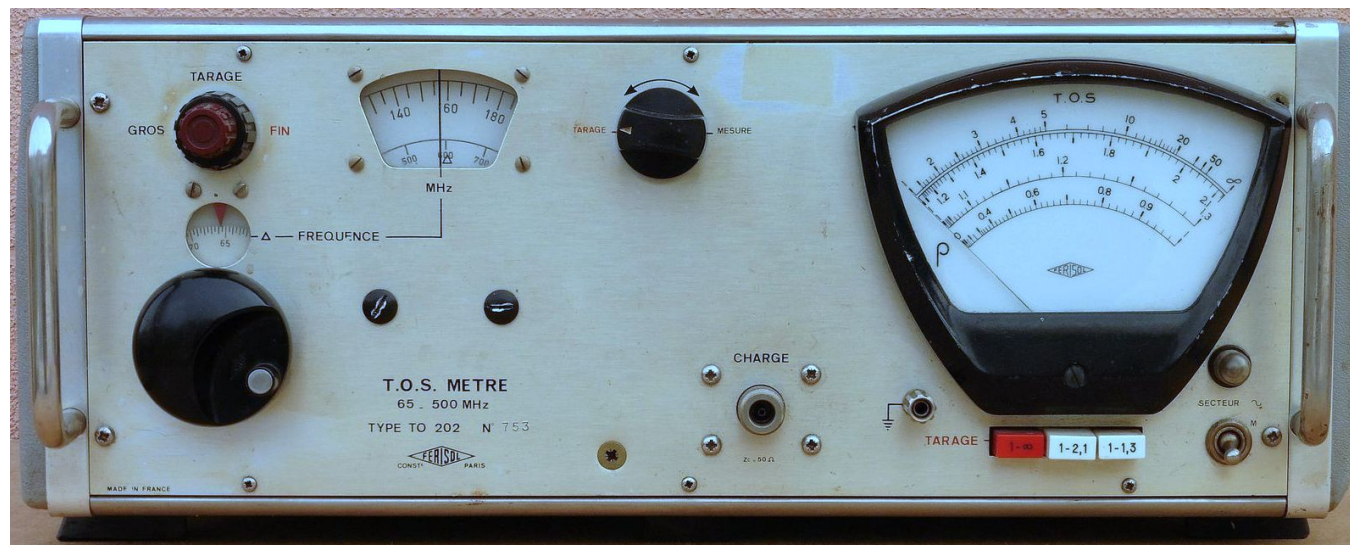
Exemple :

- Coefficient de réflexion (tension ou courant) = **0,5**
- Coefficient de réflexion (puissance) = **0,25**
- **T.O.S** (Taux d'Onde Stationnaire i.e. R.O.S) = **3**

$$\text{TOS [dB]} = 20 * \log(3) = 9,54$$

Annexe 2

Pour les lecteurs intéressés par les appareils de mesures anciens, voici la photo d'un vénérable T.O.S.-mètre « Made In France » de la marque FERISOL et datant des années 1960 / 1970.



T.O.S.-METRE FERISOL Type TO 202 (source : www.crowave.com)

Les notions théoriques de T.O.S. étaient bien évidemment parfaitement maîtrisées à l'époque par ce constructeur d'appareils de mesures professionnels. On peut observer la présence de plusieurs échelles sur l'imposant galvanomètre : l'échelle du bas, graduée de **0** à **1**, concerne le module du coefficient de réflexion (noté ρ). Cette échelle est en correspondance directe avec celle du haut, graduée de **1** à **l'infini**, indiquant un Taux d'Onde Stationnaire.

Pour les faibles valeurs de T.O.S., il existe deux touches supplémentaires (**[TOS 1 - 2,1]** et **[TOS 1 - 1,3]**) permettant d'agir sur le gain d'un amplificateur et d'effectuer des mesures plus précises à l'aide des deux échelles correspondantes du cadran.

Sur les dernières versions de ces appareils, le sigle T.O.S a été remplacé par le sigle R.O.S (face avant et galvanomètre). J'ignore la raison exacte de ce changement et à quelle période il a eu lieu ; il ne s'agissait certainement pas de corriger une erreur grossière mais peut-être que les ingénieurs de chez FERISOL étaient-ils lassés de répondre à des questions telles que : « *pourquoi n'y a t-il pas d'échelle en pourcent ?* » .

Annexe 3

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



f6css.free.fr