

# Comment ça marche ?

## Les lignes HF

### 7 - Pertes et ROS

Par le radio-club F6KRK

*Nous avons vu dans les précédents "comment ça marche" les potentiels, les courants et leurs relations avec le champ électromagnétique, pour aboutir aux notions de constantes linéiques. Puis nous avons abordé les ondes complexes et la notion de ROS. Nous allons maintenant introduire les pertes et voir leur interaction avec le ROS.*

#### Généralisation de la notion de ROS.

Nous avons vu que la définition du ROS impliquait deux mesures à deux endroits particuliers d'une ligne. Puis nous avons étendu la notion de ROS à la mesure en un seul point. Alors le "ROS" mesuré n'est égal au ROS dans la ligne que si celle-ci n'a pas de pertes. De fait, la valeur mesurée correspond à un facteur de désadaptation entre l'impédance que la ligne présente en ce point et son impédance caractéristique  $Z_C$  <sup>(1)</sup>. Si l'on utilise un ROS mètre ayant une impédance nominale  $Z_0$  différente de  $Z_C$ , par exemple égale à l'impédance nominale de charge d'un émetteur, alors on mesure un facteur de désadaptation à l'émetteur. On peut ainsi mesurer un ROS = 1 alors que la ligne est le siège d'ondes stationnaires ou mesurer un ROS > 1 alors que la ligne fonctionne en onde progressive <sup>(2)</sup>. Pour la suite, nous utiliserons le terme de "ROS" dans son sens "facteur de désadaptation".

#### Introduction des pertes

Jusqu'à présent, nous avons considéré des lignes sans pertes pour simplifier les raisonnements et les calculs. Cela n'entraîne que peu d'erreurs pour des lignes courtes ( $L < \lambda$ ), ce qui est généralement le cas, surtout pour les antennes. En réalité, les lignes ont toujours des pertes et cela va non seulement diminuer la puissance transmise à la charge, mais diminuer aussi le ROS ramené par la ligne à son entrée.

Par ailleurs, les équations de propagation vont se compliquer, car il va y avoir introduction des termes "résistance linéique" et "perditance linéique" que nous avons déjà vus, et les sinus et cosinus simples vont se transformer en sinus et cosinus hyperboliques <sup>(3)</sup>.

On rappellera que la résistance linéique augmente comme la racine carrée de la fréquence à cause de l'effet de peau, et que la perditance linéique résultant des pertes dans le diélectrique des câbles coaxiaux, augmente proportionnellement avec la fréquence. Ainsi les pertes dans un câble coaxial à diélectrique plein vont augmenter beaucoup plus vite avec la fréquence qu'avec un diélectrique air. C'est pourquoi, pour les UHF et les bas Hypers, on cherche à "aérer" le diélectrique.

Les pertes sont exprimées par un facteur linéique d'affaiblissement en dB/m, mais le plus souvent on trouve sur les catalogues constructeurs des affaiblissements en dB/100m pour différentes fréquences. Exemples sur la figure 1 pour quelques câbles coaxiaux courants.

Affaiblissement câbles coaxiaux 50Ω, dB/100m							
Type	10 MHz	30 MHz	50 MHz	145 M	435 M	1296 M	2320 M
RG188	12	17	23	32	58	113	165
RG58 CU	4,6	8	11	20	40	90	140
RG213 U	2	3,6	4,3	8,2	15	26	40
H100		2,1	2,8	4,9	8,8	16	23
CF 3/8"		1,6		3,8	6,5	13	16

Figure 1 : Pertes dans les câbles coaxiaux

Noter que les pertes dans les lignes bifilaires HF n'y figurent pas. En effet, celles-ci n'ont pas de perdite (car diélectrique air) <sup>(4)</sup> et la résistance des fils n'a qu'une faible action sur les pertes du fait de leur haute impédance (courants faibles).

## Pertes et ROS

Commençons par étendre aux lignes la notion de quadripôle électrique passif. Pour une fréquence  $F_0$  donnée, celui-ci est caractérisé par les principaux paramètres suivants :

- impédance de charge nominale à sa sortie  $Z_{c(nom)}$
- fonction de transfert nominale (rapport de transformation  $n$  pour  $Z_c=Z_{c(nom)}$ )
- impédance image nominale à son entrée  $Z_{i(nom)}$ . Elle est obtenue par l'application de la fonction de transfert à l'impédance de charge nominale.
- facteur de pertes (dB)

Pour une ligne avec  $Z_0=Z_c$ , le rapport de transformation est de 1. Il peut être différent pour un transformateur, une boîte d'accord, ou un atténuateur non symétrique.

Insérons entre la sortie et la charge un ROS mètre  $Z_0 = Z_{c(nom)}$ , il caractérisera une désadaptation de la charge. Insérons un autre ROS mètre avec  $Z_0' = Z_{i(nom)}$  entre l'entrée et la source. Il caractérisera la désadaptation en entrée. Nous avons sur la figure 2 les courbes qui relient les désadaptations (exprimées en ROS) en fonction des pertes du quadripôle.

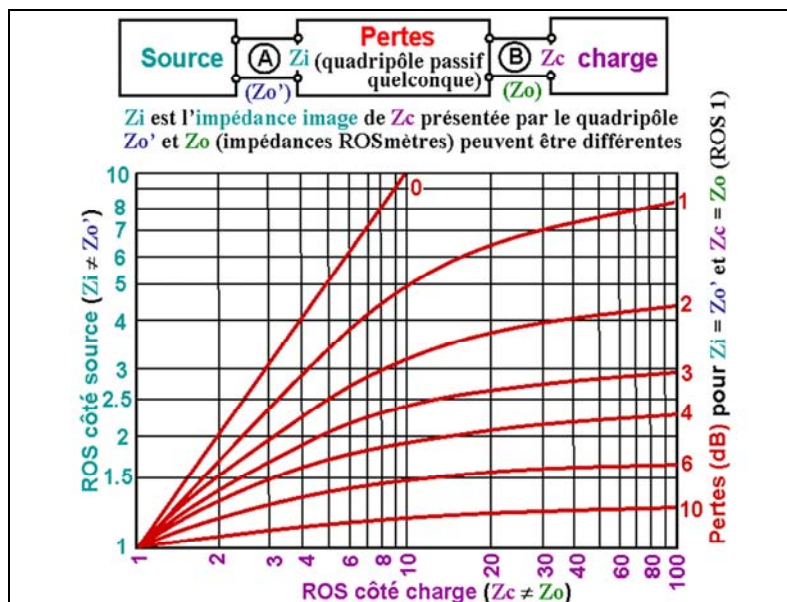


Figure 2 : Effets des pertes sur le ROS

Ce graphe est valable aussi bien pour une ligne, un atténuateur, un transformateur, un circuit d'accord ou un circuit d'adaptation. On remarquera qu'avec seulement 3 dB de pertes, un ROS de 10 est ramené à 2,5. On voit que le ROS est "masqué" par un quadripôle atténuateur et par une ligne en particulier.

## ROS et pertes

Dans une ligne à fils parallèles (échelle à grenouille) il n'y a que des pertes par conduction. Celles-ci sont d'autant plus grandes que la surface des conducteurs est faible (donc leur diamètre aussi) et le courant important. En présence de ROS, les pertes augmentent proportionnellement à l'augmentation du courant moyen, pour une même puissance transmise. Une ligne à air de  $600 \Omega$  (faible courant) bien construite a peu de pertes en HF et supporte un ROS élevé.

Dans une ligne coaxiale, il y a à la fois des pertes par conduction liées au courant et des pertes diélectriques liées à la tension. C'est pourquoi les pertes dans un câble coaxial sont, à longueurs égales, beaucoup plus élevées qu'avec une ligne à fils parallèles. En présence de ROS le courant moyen et la tension moyenne augmentent dans la même proportion et les pertes également. Pour un câble coaxial de 30 m, nous avons sur la figure 3 les courbes d'augmentation des pertes en fonction du ROS à partir des pertes pour ROS=1.

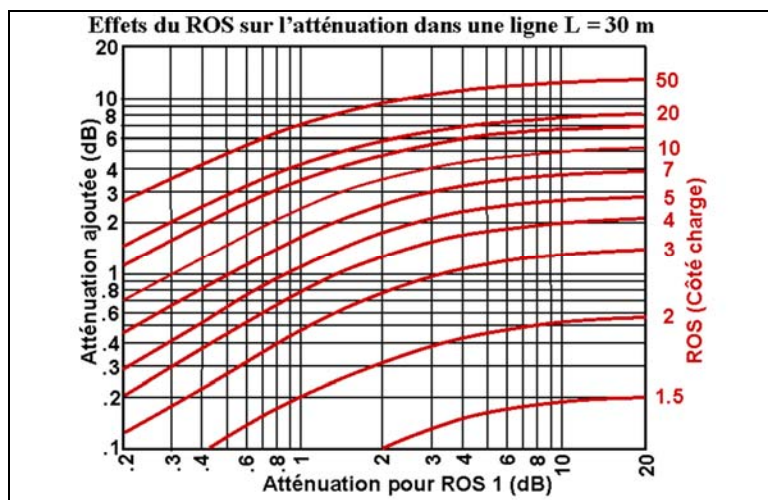


Figure 3 : ROS et atténuation ajoutée

Nous voyons qu'en partant d'une perte de 3 dB pour un ROS de 1, quand celui-ci est égal à 7 au niveau de la charge, les pertes augmentent de 3 dB, soit 6 dB en tout. Par ailleurs le ROS "vu" à l'entrée de la ligne est ramené de 7 à 2,2 (cf. fig. 2).

La figure 4 montre l'évolution de la tension le long d'une ligne coaxiale de 80 m, genre RG58, pour une fréquence de 25 MHz, avec ROS = 100 côté charge ( $R_c=5000\Omega$ ).

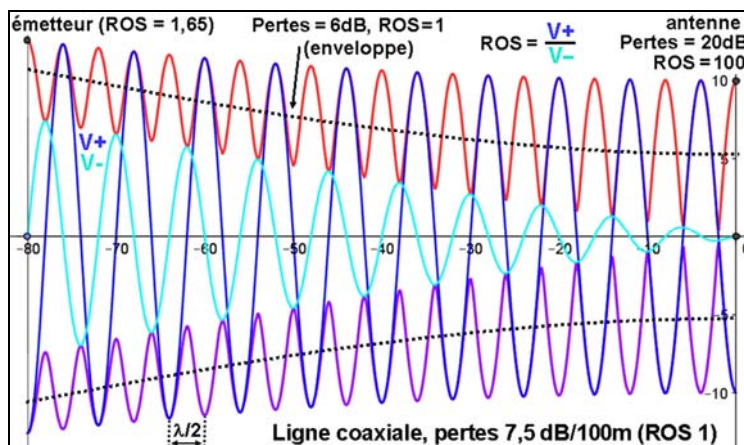


Figure 4 : Pertes et ROS dans une ligne

Noter qu'ici  $V+$  et  $V-$  sont des "photographies" du signal prises à deux instants de la période pour lesquels elles sont constamment en phase avec  $I-$  et  $I+$ .

Avec une ligne aussi longue (pour l'exemple), le ROS "vu" à son entrée est ramené de 100 à 1,65<sup>(5)</sup>. Ceci pourrait nous faire croire qu'en ayant un ROS bien inférieur à 3 dans notre coaxial, nous n'avons pas à subir beaucoup de pertes. Erreur ! **C'est le ROS côté charge qui compte**, et en général nous mesurons le ROS côté émetteur. Donc, méfiance !

### Annexe : Normalisation des câbles coaxiaux.

Un câble coaxial est destiné à transporter une énergie de la source vers la charge. Pour une certaine puissance<sup>(6)</sup>, le meilleur câble sera celui qui pourra le faire avec un minimum de pertes comparées à son encombrement, son poids et son coût.

Pour une puissance donnée, les pertes par conduction sont proportionnelles au courant et inversement proportionnelles aux surfaces en regard. On trouve ainsi une impédance optimale de 77  $\Omega$ , correspondant à un rapport D/d de 3,6 (diélectrique air). Avec un diélectrique solide, cette impédance optimale a tendance à baisser.

La "capacité de puissance" d'un câble sera limitée par l'échauffement du diélectrique et sa tension de rupture. On obtient un maximum pour une impédance de 30  $\Omega$ , correspondant à un rapport D/d de 1,65 (diélectrique air). En ne tenant compte que de la tension de rupture, on trouve un rapport de 2,718 pour l'air ( $Z_0=60\Omega$ ). Nous avons sur la figure 5 les variations approximatives de ces paramètres en fonction du rapport D/d dans l'air.

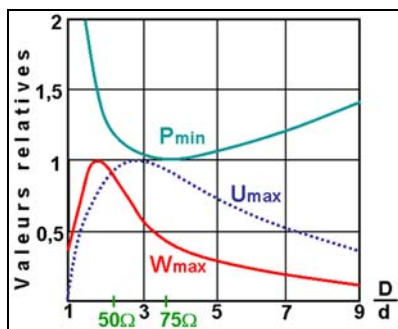


Figure 5 : Paramètres des coaxiaux

La normalisation des câbles coaxiaux s'est faite à partir des fabrications les plus courantes à l'époque. Pour les faibles puissances, l'impédance de 75  $\Omega$  avait sans doute été choisie car valeur intermédiaire entre 77  $\Omega$  (pertes mini) et 73  $\Omega$ , l'impédance d'un doublet en espace libre (VHF et UHF).

Pour les fortes puissances qui se rencontrent en HF, l'impédance de 50  $\Omega$  résultait sans doute d'un compromis entre puissance et pertes. La réduction à 50  $\Omega$  permet aussi de monter plus haut en fréquence (Hypers). Il existe d'autres impédances usitées pour des cas spécifiques.

La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@orange.fr".

Notes :

- 1) *En bonne logique on devrait définir un facteur de désadaptation égal à ROS - 1.*
- 2) *Nous verrons des cas concrets quand on parlera des lignes comme moyens d'adaptation.*
- 3) *Revoir le "Comment ça marche" sur les lignes "4 - Constantes linéiques".*
- 4) *Nous aurions pu introduire les lignes "ruban"  $300\Omega$  si nous avions eu leurs caractéristiques.*
- 5) *Quand on monte en fréquence, nous avons les mêmes pertes pour des longueurs beaucoup plus courtes. C'est pourquoi le ROS avec des antennes VHF et UHF semble généralement "excellent", d'où la satisfaction du constructeur amateur.*
- 6) *Si la charge est désadaptée, il faut prendre une marge de sécurité égale à la puissance consommée par la charge, multipliée par le ROS.*