

Ondes progressives- Ondes stationnaires

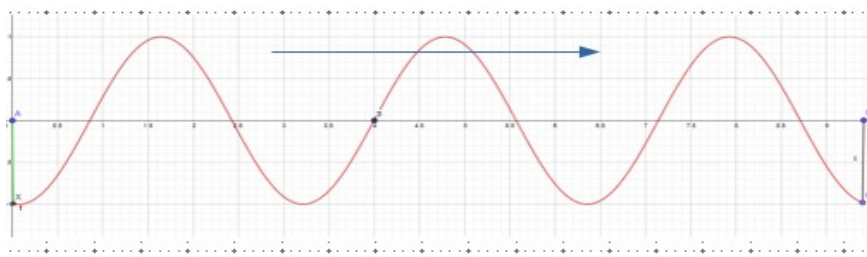
ROS - TOS



1°) Ondes progressives

Un émetteur est relié à une charge (une antenne parfaitement accordée, une résistance purement résistive) par une ligne de transmission **supposée sans pertes**.

Si l'émetteur, la ligne et la charge **ont la même impédance**, la ligne est le siège d'**ondes progressives**, toute la puissance émise par l'émetteur est transmise à la charge qui la dissipe sous forme d'ondes électromagnétiques si c'est une antenne ou sous forme de chaleur dans une résistance

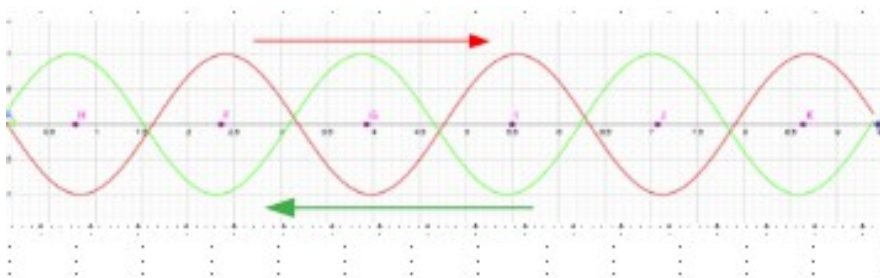


L'onde incidente se propage dans le sens de la flèche de l'émetteur vers la charge. C'est une onde progressive.

2°) Désadaptation

Si l'impédance de la charge n'est pas égale à celle de la ligne, toute la puissance n'est pas transmise.

a) La ligne est ouverte.



Toute la puissance est réfléchiée par la charge.

Sur la ligne se propagent deux ondes dans le sens contraire.

L'onde incidente se déplace (en rouge) de A vers B, l'onde réfléchiée (en vert) se déplace de B vers A.

On note U_d la tension maximum de l'onde directe et U_r la tension maximum de l'onde réfléchiée, dans ce cas (ligne ouverte): $U_d = U_r$

On définit le coefficient de réflexion noté k de la façon suivante :

$$k = \frac{U_r}{U_d}$$

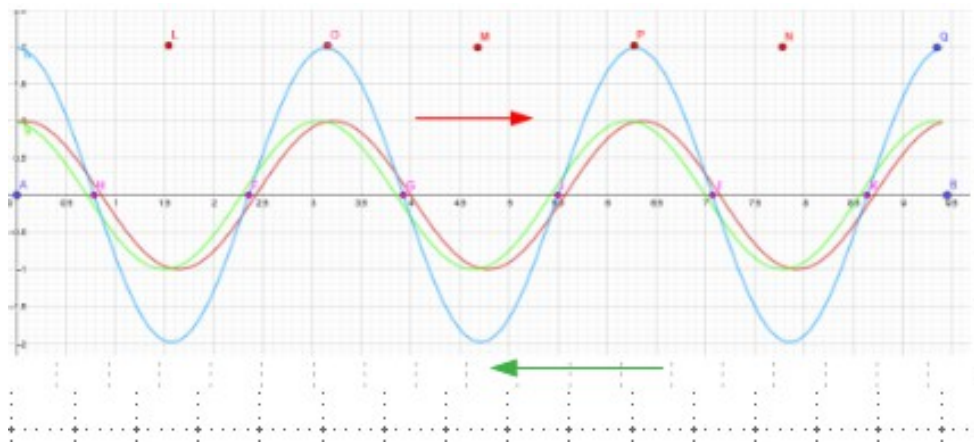
On définit le T.O.S (taux d'ondes stationnaires) comme le produit de 100 par k .
Il s'exprime en %.

$$\text{T.O.S} = 100 \times k$$

Si $U_r = U_d$ alors $k = 1$ et T.O.S = 100 %

S'il y a bonne adaptation, $U_r = 0$ donc $k = 0$ et T.O.S = 0 %

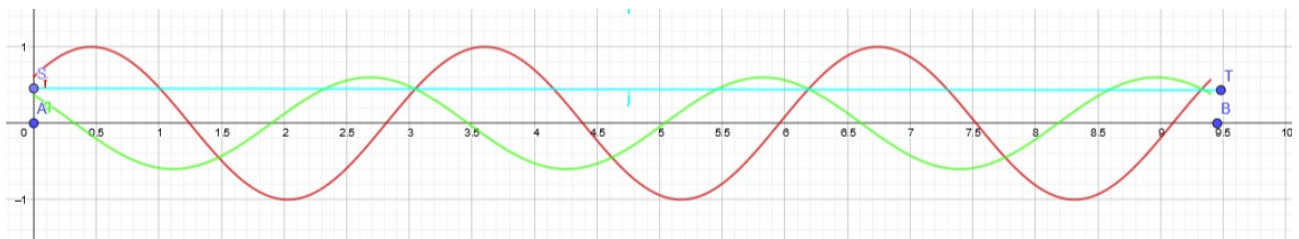
Que se passe-t-il ?



En tout point de la ligne, les deux ondes incidente (directe) et réfléchie s'ajoutent pour former **une onde stationnaire (en bleu)**

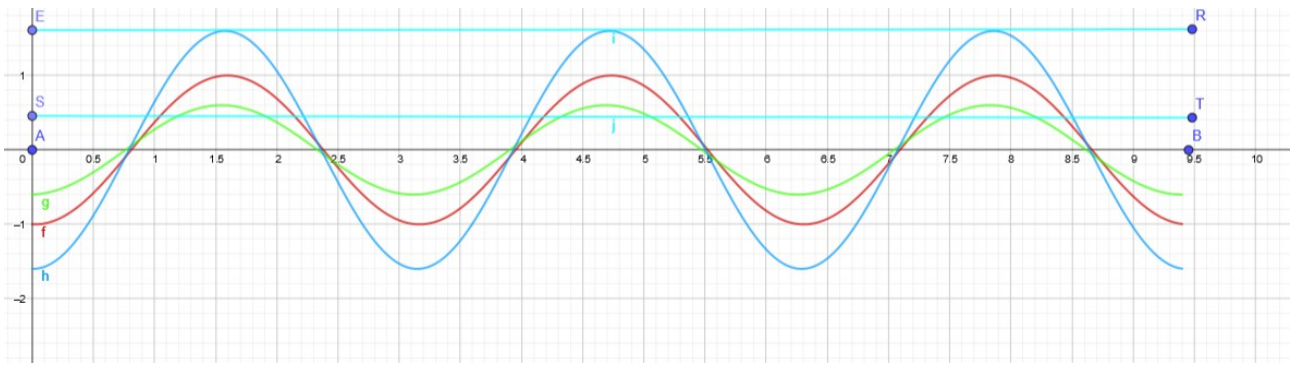
Les ventres (tension maximum $U_{\max}$) et les nœuds (tension minimum, $U_{\min}$, ici 0V) sont fixes sur la ligne.

b) la ligne est fermée sur une impédance différente de la charge

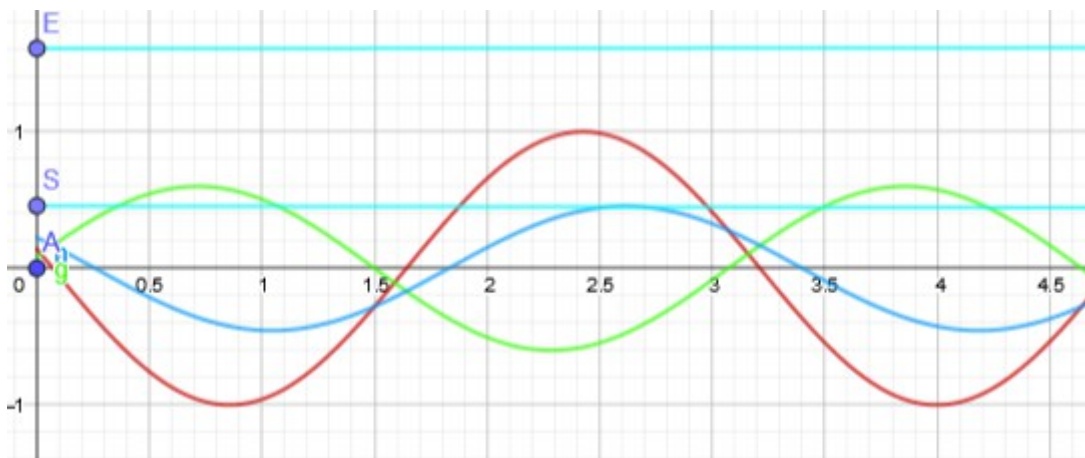


La tension maximum de l'onde directe U_d (en rouge) est supérieure à la tension maximum de l'onde réfléchie U_r .

Le coefficient de réflexion k est toujours inférieur ou égal à 1 donc le T.O.S est toujours inférieur ou égal à 100 %



L'onde incidente (rouge) et l'onde réfléchie (vert) s'ajoutent pour former l'onde bleue, dont la tension maximum U_{max} se situe sur la ligne ER et la tension minimum U_{min} se situe sur la ligne ST (V_{min} est différente de 0)



U_{min} n'est pas égale à 0

3°) Le rapport d'ondes stationnaires ROS (ou SWR)

Le R.O.S se définit de la façon suivante :

a) en fonction des tensions ou intensités maximum ou minimum

$$ROS = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

b) en fonction des impédances

Z_c : impédance de la charge

Z_l : impédance de la ligne

$$ROS = \frac{Z_c}{Z_l} \text{ ou } ROS = \frac{Z_l}{Z_c}$$

Le R.O.S est plus grand que 1, il faut placer la plus grande impédance au numérateur

c) en fonction des tensions directes et réfléchies

Ur : tension réfléchie

Ud : tension directe

$$\text{R.O.S} = \frac{Ud + Ur}{Ud - Ur}$$

d) en fonction des puissances directes et réfléchies

$$\text{R.O.S} = \frac{\sqrt{Pd} + \sqrt{Pr}}{\sqrt{Pd} - \sqrt{Pr}}$$

e) mesure du R.O.S

Le R.O.S se mesure avec un **Rosmètre** (ou réflectomètre) qui s'intercale entre l'émetteur et l'antenne. Si le coaxial n'a pas de pertes (coaxial idéal), le R.O.S est constant tout le long de la ligne de transmission.

f) Influence du R.O.S

Si le R.O.S est constant le long d'une ligne sans perte, il n'en est pas de même avec une ligne avec pertes, ce qui est toujours le cas. La présence d'ondes stationnaires augmente les pertes, et provoque des surtensions et surintensités qui peuvent être destructrices.

ROS	Puissance absorbée par la charge en %	P réfléchi en %
1	100	0
1,1	99,8	0,2
1,2	99,2	0,8
1,3	98,3	1,7
1,4	97,2	2,8
1,5	96	4
1,6	94,7	5,3
1,7	93,3	6,7
1,8	91,8	8,2
1,9	90,4	9,6
2	88,9	11,1
2,5	81,6	18,4
3	75	25
3,5	69,1	30,9
4	64	36
5	55,6	44,4
6	49	51
7	43,7	56,2

Le tableau ci-contre montre par exemple qu'un R.O.S de 1,5 sur une puissance de 100W, 96W sont absorbés par la charge et 4W sont réfléchis.

Par contre, pour un R.O.S de 3, seulement 75W seront émis pour 25W réfléchis. Ces 25W sont absorbés en partie par l'émetteur, ce qui provoque une échauffement anormal de l'amplificateur. Sur les appareils modernes, un dispositif diminue automatiquement la puissance émise.

f) Influence du R.O.S

Pour faire simple et éviter les calculs fastidieux, il suffit de retenir ce tableau

ROS	Puissance réfléchie en % par rapport à la puissance émise
1	0
2	11
3	25
4	36
5	44

Exemple : Le ROS est 3, la puissance émise est 250W, la puissance réfléchie est

$250 \times 25/100 = 62,5$ et la puissance absorbée par l'antenne est : $250 - 62,5 = 187,5W$

4°) Retour sur le coefficient de réflexion k

Rappel : le coefficient de réflexion k est le rapport de la tension réfléchie U_r par la tension directe U_d

$$k = \frac{U_r}{U_d} = \frac{ROS-1}{ROS+1}$$

Rappel : T.O.S = $100 \times k$

On peut ainsi calculer la puissance réfléchie connaissant la puissance directe

$$P_r = P_d \times k^2$$

La puissance transformée par l'antenne en ondes électromagnétiques (P_a) est la différence entre la puissance directe P_d et la puissance réfléchie P_r

$$P_a = P_d - P_r$$

Les puissances directes et réfléchies se mesurent avec un **wattmètre directif** (wattmètre bird par exemple).

5°) Exemples corrigés

1) Une ligne de 50 ohms alimente une charge d'impédance 150 ohms. La puissance directe mesurée est 200W

- a) Calculer le R.O.S
- b) Quel est le coefficient de réflexion ?
- c) Quel est le T.O.S ?
- d) Quelle est la puissance réfléchie ?
- e) Quelle est la puissance émise :

2) Vrai ou faux

- a) pour un bon transfert de puissance le T.O.S doit être le plus proche de zéro possible
- b) une antenne d'impédance 75 ohms est branchée à l'extrémité d'un câble d'impédance 50 ohms. Le R.O.S est 0,33
- c) une antenne d'impédance 50 ohms est branchée à l'extrémité d'un câble d'impédance 33 ohms. Le R.O.S est 1,5
- d) La puissance émise par un émetteur est 16W, la puissance réfléchie est 2W, la puissance transformée par l'antenne en ondes électromagnétiques est 32W.
- e) La puissance émise par un émetteur est 16W, la puissance réfléchie est 1W, le R.O.S est 1,66
- f) La puissance émise par un émetteur est 50W, le R.O.S est 2, la puissance réfléchie est 5,5W environ
- g) La puissance émise par un émetteur est 50W, le R.O.S est 2, le T.O.S est 0,33
- h) Une antenne d'impédance 50 ohms est reliée à un câble d'impédance 50 ohms, le T.O.S est 0 %

Corrections

- 1) a) $R.O.S = 150/50 = 3$
b) $k = (ROS - 1) / (ROS + 1) = (3 - 1) / 3 + 1 = 0,5$
c) $TOS = 100k = 50 \%$
d) $Pr = Pd \times k^2 = 200 \times 0,25 = 50W$
e) $Pe = Pd - Pr = 200 - 50 = 150W$
- 2) a) Vrai, le T.O.S est le rapport entre la tension max réfléchiée et la tension max directe (ou émise). Ce taux doit être le plus faible possible.
b) Faux, le ROS se calcule en divisant la plus grande impédance par la plus petite donc $R.O.S = 75/50 = 1,5$
c) Vrai, le R.O.S se calcule en divisant la plus grande impédance par la plus petite donc $R.O.S = 50/33 = 1,5$
d) faux, la puissance émise par l'antenne P_a est égale à $P_d - P_r = 14W$
e) vrai

$$R.O.S = \frac{\sqrt{Pd} + \sqrt{Pr}}{\sqrt{Pd} - \sqrt{Pr}}$$

$$R.O.S = (4 + 1) / (4 - 1) = 5/3 = 1,66$$

f) Vrai

On sait que Pr (puissance réfléchiée) = $Pd \times k^2$

Il faut donc connaître le coefficient de réflexion $k = (ROS-1)/(ROS+1)$

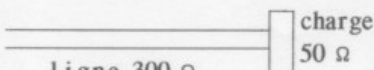
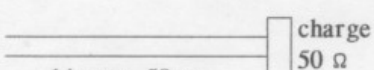
$k = 1/3 = 0,33$ donc $k^2 = 0,11$ environ donc $Pr = 50 \times 0,11 = 5,5W$

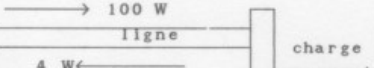
g) Faux

Le R.O.S est 2 donc $k = (ROS-1)/(ROS+1) = 0,33$

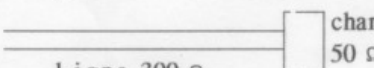
Le T.O.S est donc de $100 \times k = 33 \%$

h) Vrai, il y a bonne adaptation, le R.O.S est 1 donc le T.O.S est $(ROS-1)/(ROS+1) = 0/2 = 0$ donc T.O.S = 0 %

1. R.O.S ?	2. R.O.S ?
 ligne 300 Ω La charge est purement résistive	 ligne 50 Ω La charge est purement résistive
A. 0,6 B. 6 C. 1,5 D. 4	A. 1 B. 100 % C. 2 D. 4

3. R.O.S ?	4. Coefficient de réflexion ?
Puissance directe $\rightarrow$ 100 W  4 W $\leftarrow$ Puissance réfléchie La charge est purement résistive	La charge est purement résistive Ligne : impédance 50 Ω Charge : 100 Ω
A. 2,1 B. 1,5 C. 3,2 D. 2,3	A. 0,66 B. 100 % C. 2 D. 0,3

5. R.O.S ?	6. R.O.S ?
La tension maximum mesurée sur une ligne de transmission est $U_{MAX} = 141$ V La tension minimale est $U_{MIN} = 94$ V	Sur une ligne de transmission La tension directe est $U_D = 100$ V La tension réfléchie $U_R = 10$ V
A. 3 B. 50 % C. 1,5 D. 0,66	A. 9 B. 1,2 C. 0,1 D. 2

7. T.O.S ?	8. Puissance émise ?
 ligne 300 Ω La charge est purement résistive	Puissance directe : 200 W Puissance réfléchie : 30 W
A. 0,66 B. 50 % C. 200 % D. 71 %	A. 230 W B. 150 W C. 170 W D. 50 W

9. Puissance réfléchie ?	10. R.O.S
Puissance directe: 250 W impédance ligne : 300 Ω impédance charge: 100 Ω charge résistive	Sur une ligne sans perte et bien adaptée, le R.O.S à l'entrée de la ligne est par rapport au ROS à l'entrée de l'antenne
A. 200 W B. 70 W C. 62,5 W D. 5 W	A. le même B. inférieur C. supérieur D. le double

Préparation à la licence Radioamateur. Questionnaire n° 18. F6FTC