

Phénomènes de propagation - Niveau de puissance - Atténuation - Câbles

1. Circuits électriques, circuits électroniques et phénomènes de propagation

En régime harmonique, on estime pouvoir négliger les phénomènes de propagation sur un conducteur, si sa plus grande dimension L ne dépasse pas $\lambda/16$, λ étant la longueur d'onde associée dans le vide.

Déterminer jusqu'à quelle fréquence F_0 , on peut négliger les phénomènes de propagation dans les cas ci-dessous :

- Réseau de distribution de l'énergie électrique au niveau national ($L = 1000$ km)
- Réseau de distribution de l'énergie électrique au niveau régional ($L = 200$ km)
- Réseau téléphonique local ($L = 3$ km)
- Carte imprimée au format "Europe" ($L = 16$ cm, $l = 10$ cm)
- Un circuit intégré en boîtier "Dual in Line" ($L = 1,5$ cm)
- Un circuit intégré : la puce seule ($L = 1,5$ mm).

Donner l'étude sous la forme d'un tableau, avec des unités pratiques pour F_0 et T_p (temps de propagation). Dans chacun des cas, donner le temps de propagation sur L avec $V_\phi = c = 0,8 * 3 * 10^8$ m/s.

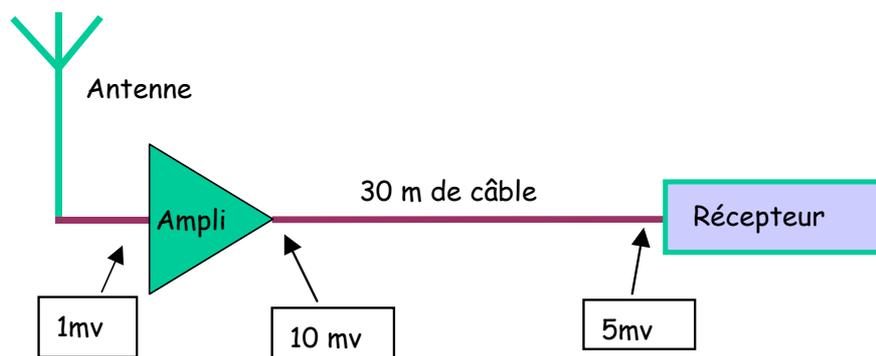
(Remarque : la vitesse de phase sur les câbles n'est pas égale à la vitesse de la lumière dans le vide.)

2. dB, notion de puissance, bilan de puissance

2.1. On souhaite calculer la valeur en dB entre la tension à l'entrée d'un câble et la tension à la sortie du câble. Donner la relation qui permet d'exprimer le rapport des tensions en dB. A.N. : tension d'entrée max 10V, tension de sortie 5 V max.

2.2. La puissance à l'entrée d'un câble est de 1 dBm. La puissance à la sortie du câble est de 0,1 dBm. Donner l'atténuation totale du câble en dB. Sachant que le câble présente une longueur de 1 km, donner l'atténuation en dB par km puis en dB par 100m.

2.3. On considère le système de réception ci-dessous.



2.3.1. Exprimer les tensions en $\text{dB}\mu\text{V}$ puis en dBmV . Dans les deux cas calculer l'atténuation du câble, le gain de l'amplificateur. En déduire l'atténuation du câble en dB/m et en $\text{dB}/100\text{m}$.

	Entrée ampli	Sortie ampli	Entrée récepteur	Gain ampli	Attén. câble
MV	1 mV	10 mV	5 mV		
dB mV					
dB μV					

2.3.2. Sachant que le récepteur présente une impédance de 50Ω , calculer la puissance en dBm et en dBW à l'entrée du récepteur.

	Entrée ampli	Sortie ampli	Entrée récepteur	Gain ampli	Attén. Câble
mV	1 mV	10 mV	5 mV		
W					
dBm					
dBW					

2.3.3. On souhaite choisir le câble dans le tableau ci-dessous. La fréquence de fonctionnement sera de 1 GHz. On regardera ensuite l'atténuation du câble choisi aux fréquences de 100 et 10 MHz.

La tension de 5 mV est la tension minimale acceptable à la réception. Donner l'atténuation maximale du câble en dB puis en dB par 100 m sachant que le câble présente une longueur de 40 m.

Réf.	diamètre (mm)	Zc (Ω)	V ϕ / c0	C (pF/m)	Atténuation à 10 MHz (dB/100m)	Atténuation à 100MHz (dB/100m)	Atténuation à 1000MHz (dB/100m)	Vmax (kV)	
RG6	6,6	75	0,82	48	2,1	6	21	0,3	TV satellite, mousse de PE
RG8-X	11	53	0,82	74,4	2,7	9,3	33,6	0,4	mousse de PE
RG8-U	11	50	0,8	78	1,5	5,1	21	0,4	mousse de PE
RG11A-U	5	75	0,66	100	6	10	21		PE
RG58CU	5	50	0,66	100	5	17	56	2,5	URM76
RG59BU	6,15	75	0,66	70	5	15	46	3,5	
RG62AU	6,15	93	0,86	44	3	9	29		
RG141U	5	50	0,7	87	3,94	12,8	42,65	1,4	PTFE
RG142A	5	70	0,7	87		14,4	50,2	1,4	PTFE
RG174AU	2,54	50	0,66	100	9	27	90	5	PE
RG178	2	50	0,7	100	15	48	150		PTFE
RG179	2,5	75	0,85	70	17,4	26,9	86,3	2	PTFE
RG213U	10,3	50	0,66	100	2	6,8	25	6	
RG214	10,8	50	0,66	96	1,65	6	26	3,7	PE
RG218U	22	50	0,66	101	3	6	16	11	PE
RG223	5,4	50	0,66	96		13	44	1,9	PE
RG405	2,2	50	0,7	105		17	60	5	semi-rigide/PTFE
UR76	5	50	0,66	100	5	16	53	2,6	RG58

3. Choix d'un câble de réception satellite

Dans cet exercice, on se propose de déterminer les paramètres nécessaires au choix d'un câble de réception Télévision Numérique Terrestre (TNT). Ce câble est un câble de type coaxial très répandu dans de nombreuses applications grand public telles que :

- réception radio en bande FM (88 MHz à 108 MHz),
- réception TV analogique et TNT (de 174 MHz à 862 MHz)
- réception par satellite (10,9 GHz à 12,75 GHz mais transposées au niveau du LNB (Low Noise Block) à 950 MHz à 2 GHz dans le récepteur)



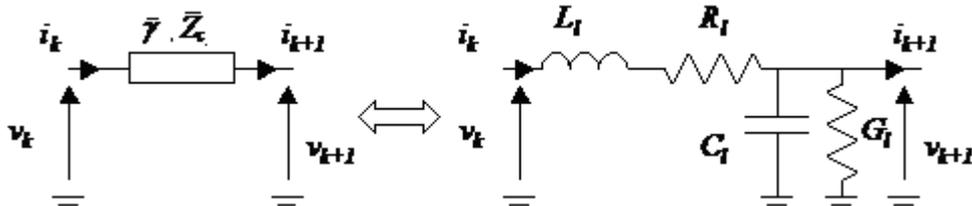
Un câble coaxial peut être défini grâce à ses caractéristiques électriques :

- impédance caractéristique $Z_c (\Omega)$

- coefficient de vélocité V_φ (sans dimension)
- pertes à 10, 100 et 1000 MHz, noté α (en dB pour 100 mètres)
- capacité par mètre C_l (en pF/m)
- puissance admissible ou tension de service maximale (en kV)

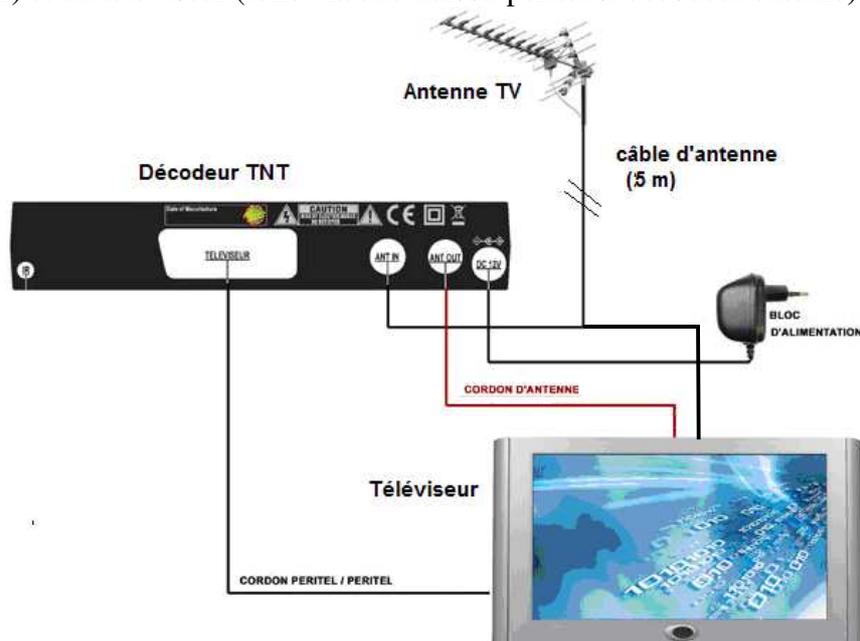
Parmi les caractéristiques électriques on distingue deux groupes de paramètres. L'un d'eux rassemble les paramètres secondaires constitués par Z_c , v_φ et α (avec $\gamma = \alpha + j\beta$ ou $\gamma = \alpha + j\frac{2\pi}{\lambda}$).

Le second groupe rassemble les paramètres primaires R_l , L_l , C_l , G_l issus du modèle des télégraphistes sont les éléments électriques linéiques équivalents à la ligne (ou au câble).



Il est possible de décrire totalement un câble avec l'un de ces jeux de paramètres. Il existe des expressions pour passer de l'un à l'autre.

Le synoptique de la chaîne de réception de la TNT est celui de la figure ci-dessous. Il comprend : une antenne de réception (souvent de type Yagi), un câble coaxial, un décodeur TNT (intégré ou non au téléviseur) et un téléviseur (relié via une liaison péritel si décodeur externe).



- Les caractéristiques du tuner TNT sont :
- Niveau d'entrée RF : -90 dBm à -20 dBm,
 - Impédance RF : 75 Ω ,
 - Décodeur Vidéo : MPEG-4.

3.1. Choisir parmi les câbles coaxiaux listés dans le tableau suivant celui qui offre les meilleures performances.

Réf.	diamètre (mm)	Z_c (Ω)	V_φ / c_0	C (pF/m)	Atténuation à 10 MHz (dB/100m)	Atténuation à 100MHz (dB/100m)	Atténuation à 1000MHz (dB/100m)	Vmax (kV)
RG11A-U	5	75	0,66	100	6	10	21	
RG58CU	5	50	0,66	100	5	17	56	2,5
RG59BU	6,15	75	0,66	70	5	15	46	3,5
RG62AU	6,15	93	0,86	44	3	9	29	
RG179	2,5	75	0,85	70	12	40		
RG213U	10,3	50	0,66	100	2	6,8	25	6

3.2. Déterminer la longueur d'onde à la fréquence minimale 200 MHz. Doit on prendre en compte la propagation pour ce problème ? Justifier votre réponse.

3.3. Lire sur le tableau les paramètres secondaires de la ligne de transmission équivalente sans pertes de ce câble.

3.4. Calculer les paramètres primaires L_l et C_l de la ligne qui sont respectivement : la self linéique et la capacité linéique en supposant la ligne sans perte.

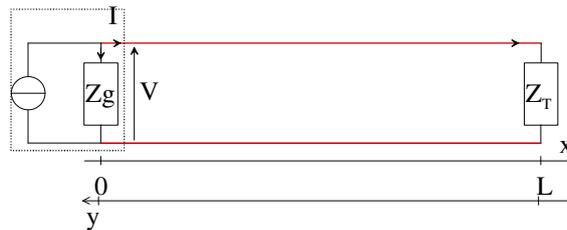
3.5. Les pertes qui restent faibles sont pour moitié conductrices (R_l) et pour moitié diélectriques (G_l). Elles peuvent être déterminées à l'aide de l'expression suivante : $\alpha = \frac{1}{2} \frac{R_l}{Z_c} + \frac{1}{2} G_l Z_c$.

(Attention α doit être converti en Neper/m).
Déterminer la valeur de R_l .

3.6. Si les pertes sont négligeables alors l'impédance caractéristique est obtenue sans perte grâce à l'expression suivante, $\bar{Z}_c = \sqrt{\frac{(R_l + jL_l \omega)}{(G_l + jC_l \omega)}} \approx \sqrt{\frac{L_l}{C_l}}$

Vérifier si R_l reste négligeable devant la partie imaginaire $L_l \omega$ à 200 MHz.

3.7. La réception nécessite une antenne active, c'est-à-dire qui intègre un amplificateur. La sortie de l'amplificateur peut être représentée par un schéma équivalent de Norton avec $Z_g = 75 \Omega$. Un défaut sur le câble (cette ligne sans pertes) court-circuite ($Z_T = 0$) le câble à 2,5 m de l'antenne, l'amplitude crête du courant dans ce court-circuit est de 10 mA.



La longueur d'onde sur le câble est de 1 m. Représenter sur un graphique la tension et le courant à partir du court-circuit sur une longueur de ligne d'au moins une fois la longueur d'onde.

Les questions 3.8 à 3.10 seront traitées après le TD 3

3.8. A l'aide de l'abaque de Smith, déterminer les longueurs pour lesquelles la ligne court-circuitée se comporte comme une inductance et celles pour lesquelles elle présente un caractère capacitif.

3.9. Déterminer également le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) de ce câble court-circuité. Quel serait sa valeur si le câble était connecté à une charge de 75Ω ?

3.10. La distance séparant l'antenne active du décodeur est plus longue que prévue et le câble choisi n'est pas suffisamment long. Un autre câble coaxial de même aspect présente une longueur suffisante. La liaison entre l'antenne et le décodeur est réalisée avec ce nouveau câble, on mesure un Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) égale à 1,5. De plus, on observe un minimum de différence de potentiel à 0,25 m du générateur. Déterminer l'impédance caractéristique de ce câble.

Etude temporelle d'une ligne sans pertes

La figure 1 décrit une liaison filaire de 48m. La ligne est considérée sans pertes, son impédance caractéristique est égale à $Z_C = 100 \Omega$ et la vitesse de propagation des ondes est $v_\phi = 0,8 c$.

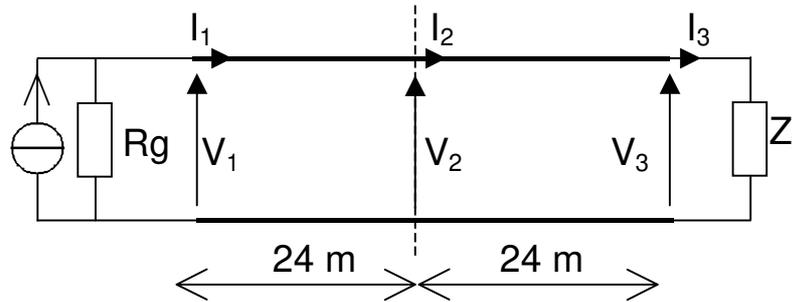


Figure 1

1. Calculs préparatoires

- 1.1. Calculer la vitesse de phase des ondes sur la ligne.
- 1.2. Calculer le temps de propagation sur la ligne.

2. Ligne en circuit ouvert

Coté générateur, on dispose d'une source de courant adaptée ($R_g = 100 \Omega$). Coté récepteur, la ligne est placée en circuit ouvert.

Rappeler l'expression du coefficient de réflexion coté récepteur

Construire à l'aide des chronogrammes ci-joint les tensions $V_1(t)$, $V_2(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants I_{RG} , $I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_3(t)$ dans les deux cas ci-dessous :

a - Le générateur délivre une impulsion de courant de $I_0 = 80 \text{ mA}$ durant 50 ns

b - Le générateur délivre un échelon de courant de $I_0 = 80 \text{ mA}$

Prendre des couleurs différentes pour les tensions et les courants.

Tous les calculs préparatoires et toutes les justifications feront l'objet d'un exposé chiffré.

3. Ligne en court – circuit

Cette fois la même ligne de transmission reliée au même générateur mais elle est court-circuitée coté récepteur.

En déduire les chronogrammes de $V_1(t)$, $V_2(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants I_{RG} , $I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_3(t)$ en régime impulsionnel et dans le cas d'un échelon.

4. Ligne adaptée aux deux extrémités

Dans ce troisième cas la même ligne de transmission est alimentée par le générateur précédent et chargée par une impédance $Z_t = 100 \text{ Ohm}$.

Déterminer les nouveaux chronogrammes de $V_1(t)$, $V_2(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants I_{RG} , $I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_3(t)$ pour les deux régimes de fonctionnement.

5. Ligne chargée mais désadaptée

Dans ce dernier cas, nous considérons que la ligne de transmission (sans pertes) (fig. 1) est attaquée par un générateur d'impédance interne inconnue Z_g et chargée par une impédance de charge Z_t également inconnue.

La mesure des deux chronogrammes $V_1(t)$ et $V_3(t)$ est représentée sur la fig ; 2.

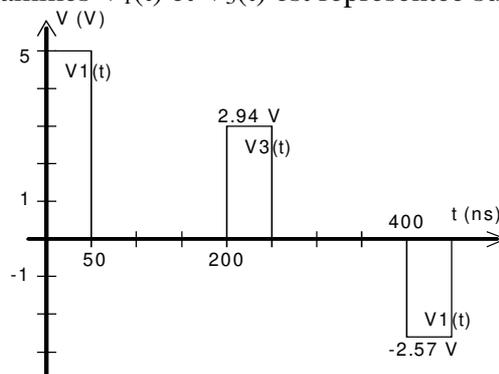


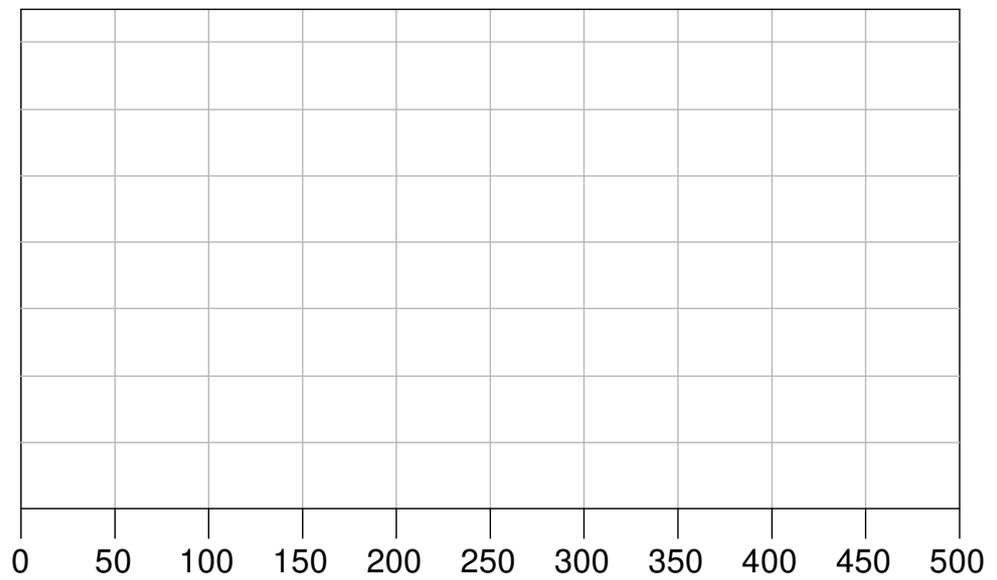
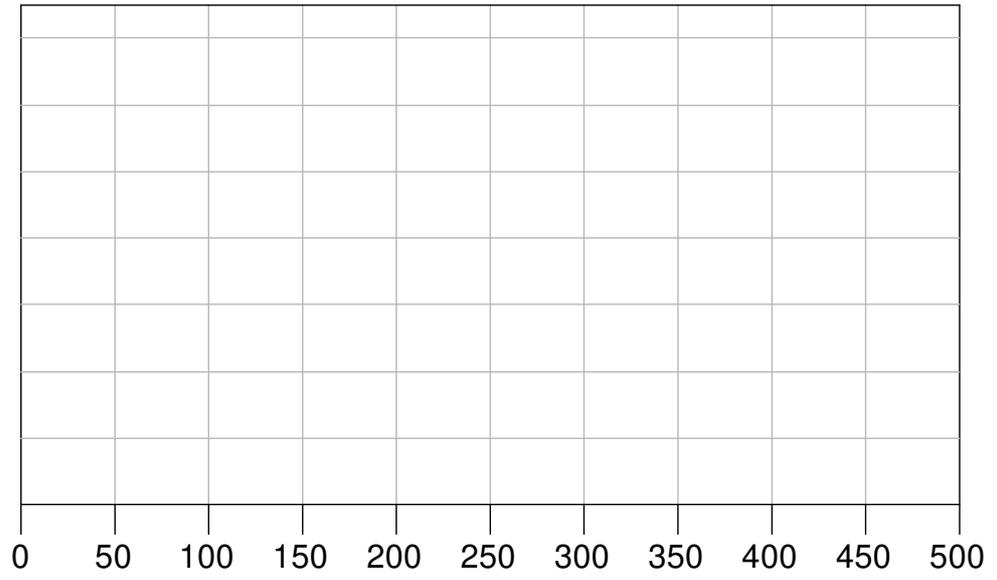
Figure 2

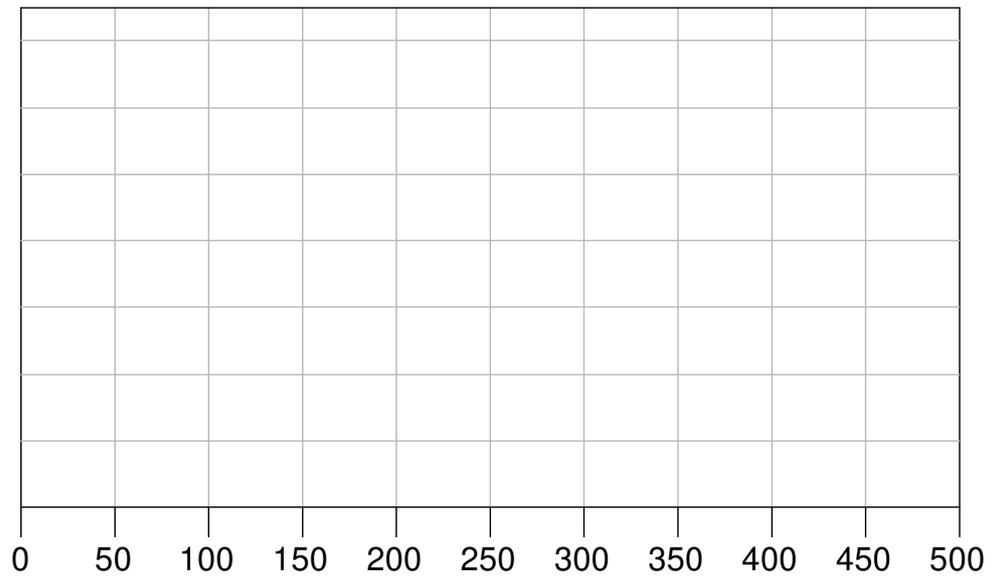
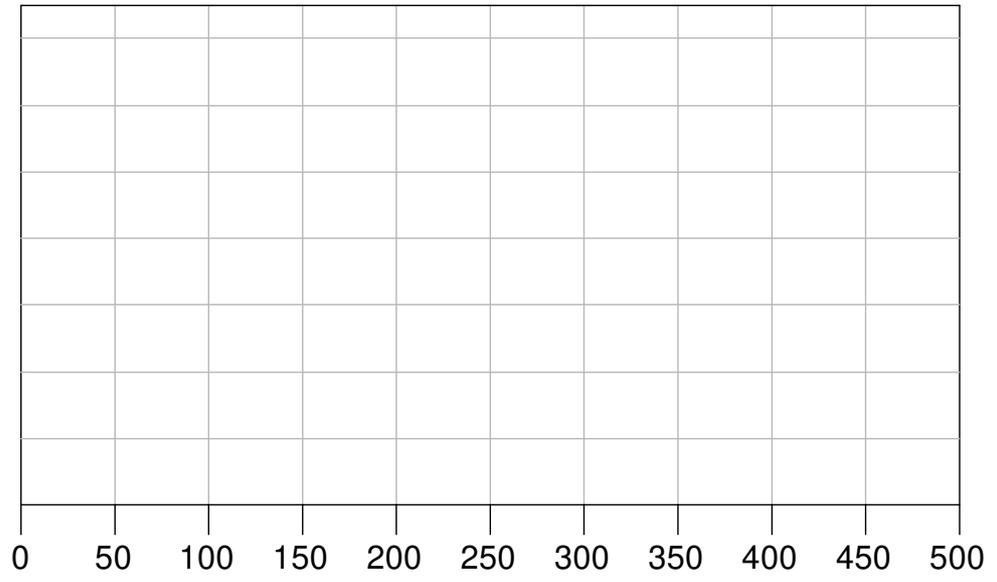
4.1. Pour $0 < t < 250$ ns, en examinant l'onde progressive, déterminer l'impédance Z_t de la charge.

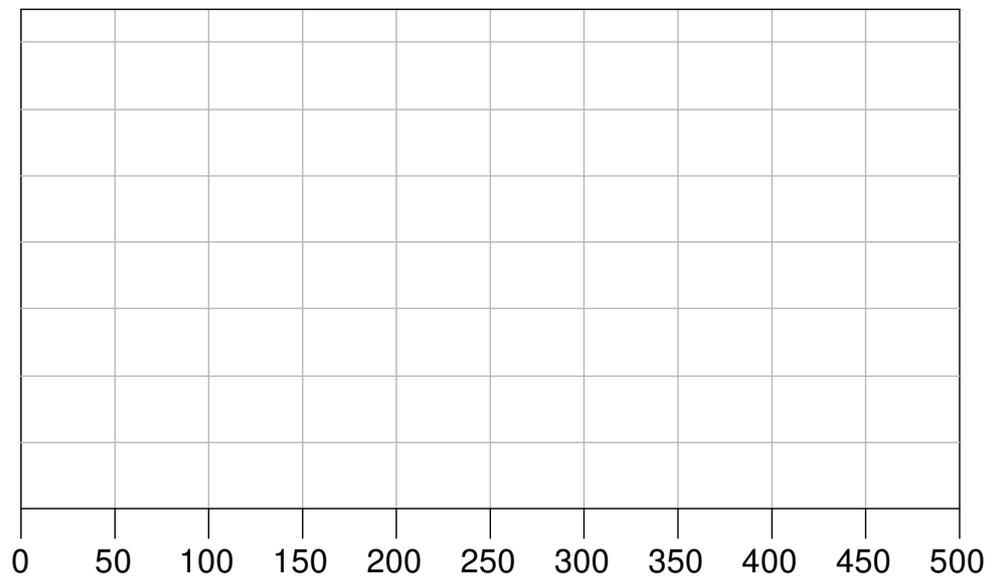
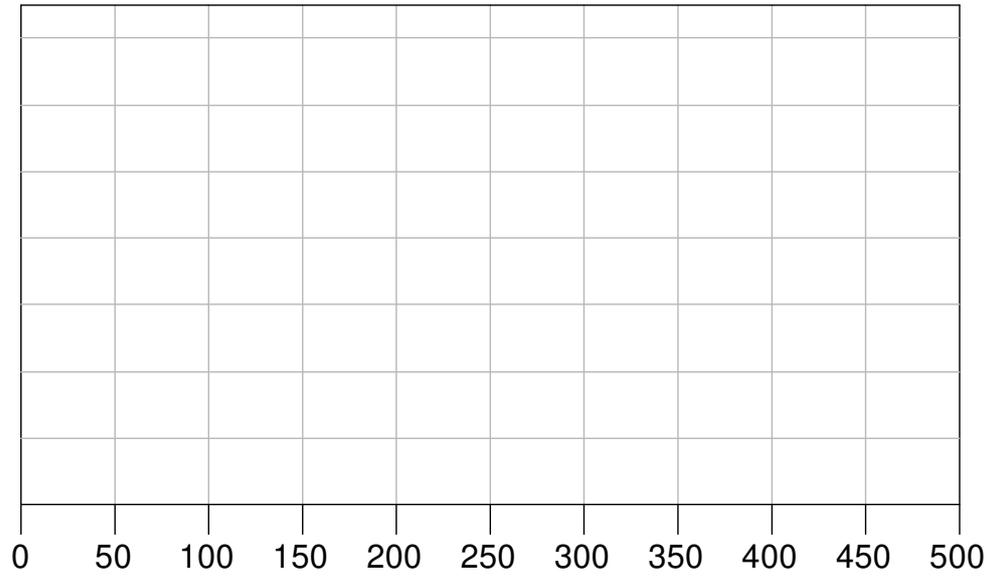
4.2. Pour $200 < t < 450$ ns, en examinant l'onde réfléchie, déterminer la valeur de la résistance R_g du générateur.

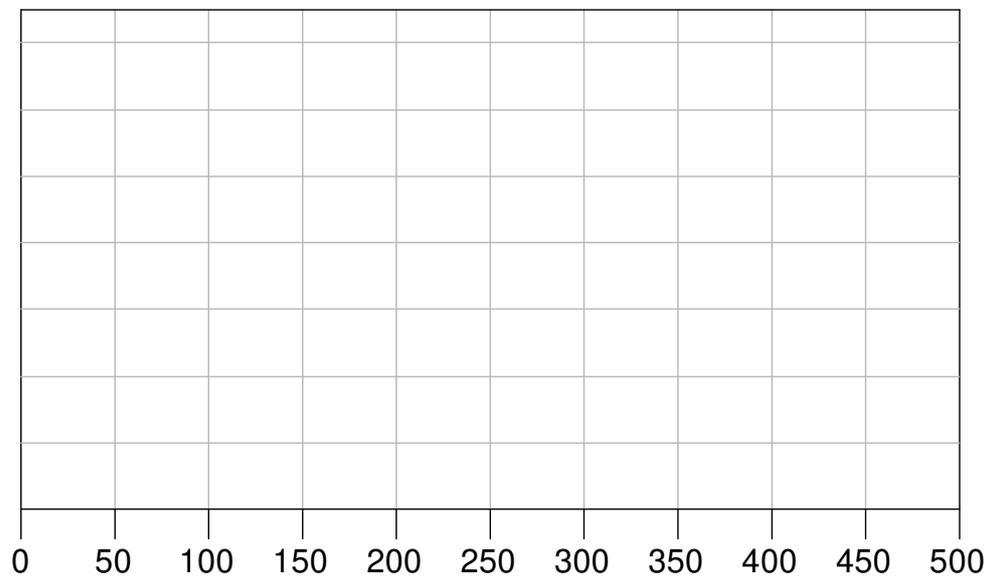
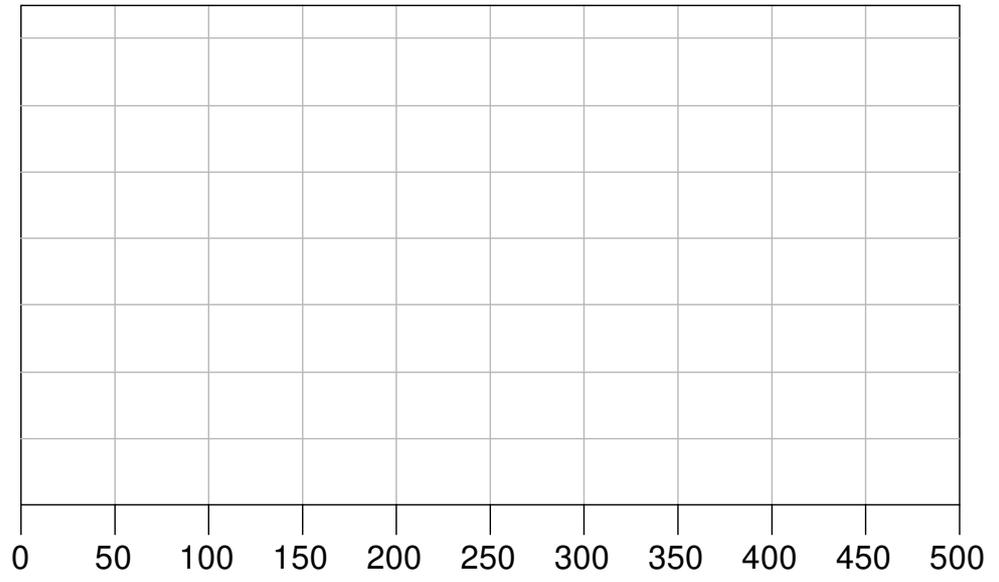
4.3. Pour $0 < t < 50$ ns, déterminer l'amplitude I_0 de l'impulsion de courant délivrée par le générateur.

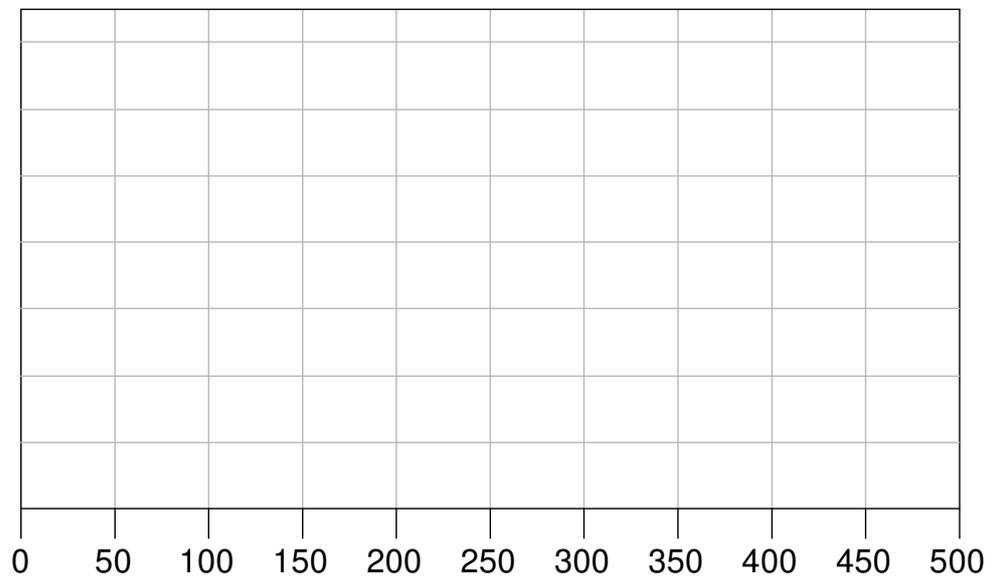
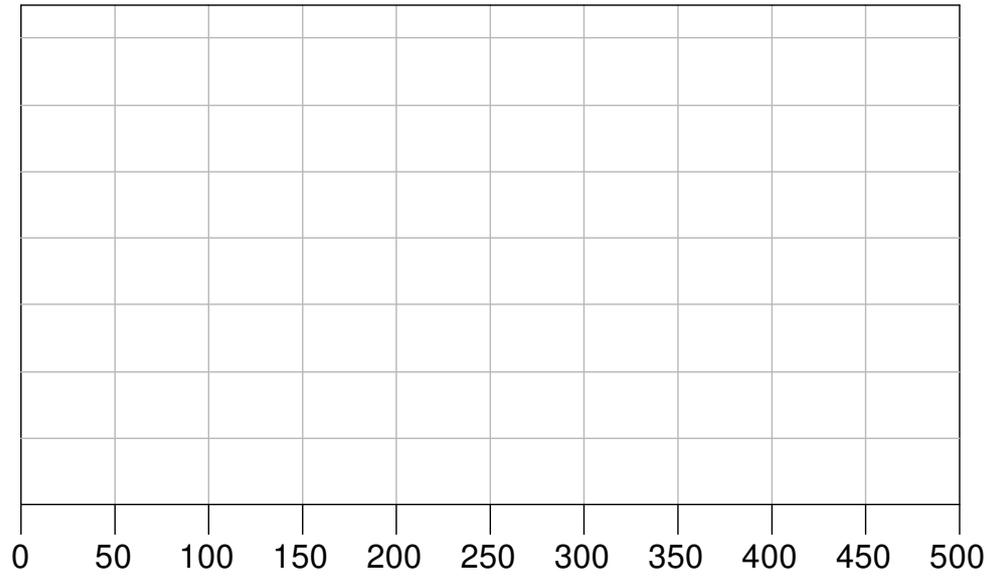
4.5. Procéder à une vérification des résultats, par une reconstruction des signaux $V_1(t)$, $V_2(t)$ au centre de la ligne et $V_3(t)$ pour $0 < t < 450$ ns.

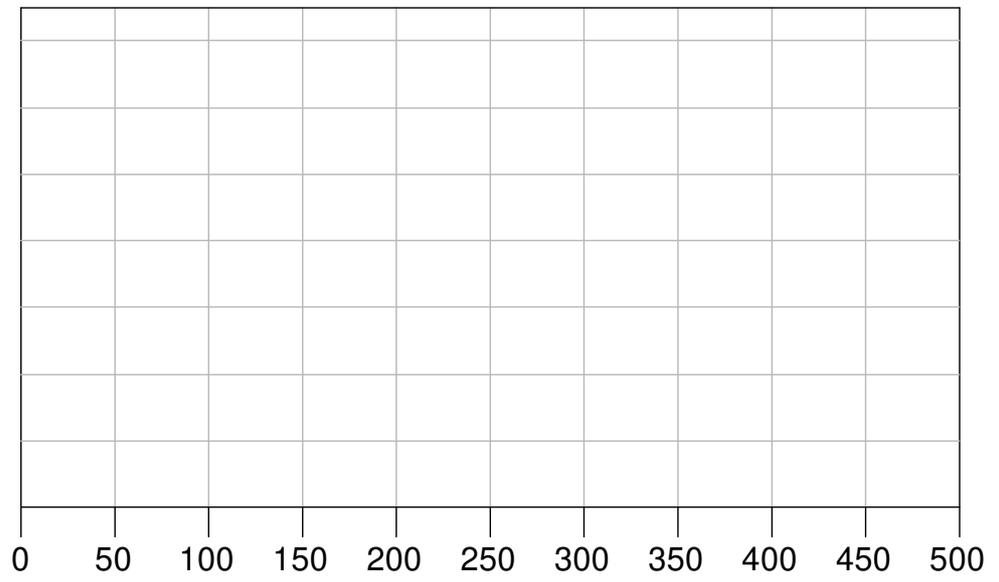
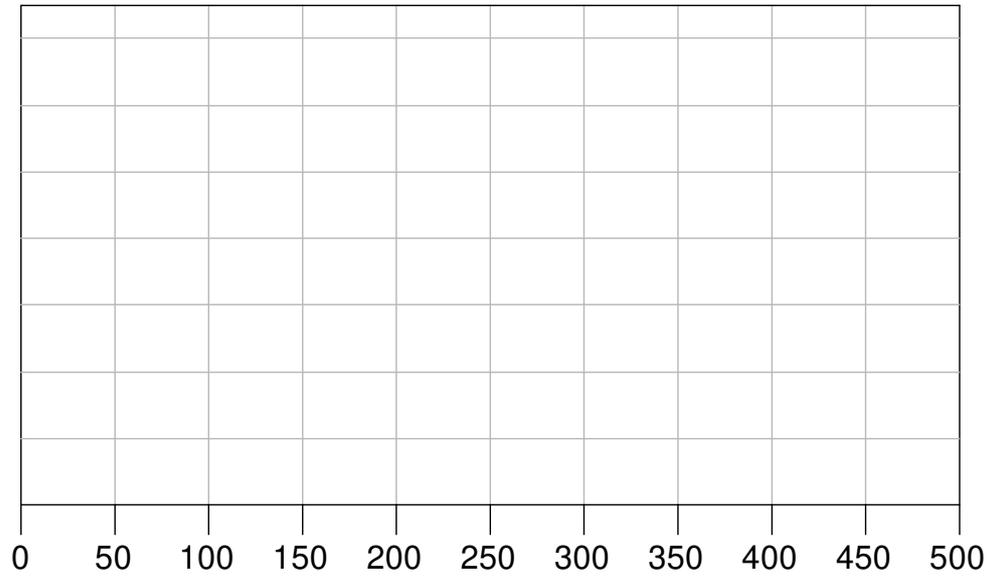












Utilisation de l'abaque de Smith

Rappels (à lire impérativement)

- 1) Sur l'abaque ou le diagramme de Smith sont représentés des coefficients de réflexion.
- 2) L'abaque de Smith est obtenue à partir de la relation existante entre l'impédance en un point quelconque de la ligne désigné par x et le coefficient de réflexion, en ce point x , des ondes se propageant sur la ligne : $Z_x = Z_c \frac{1-\Gamma}{1+\Gamma}$
 Z_c désigne l'impédance caractéristique du câble.
- 3) D'après la relation précédente et pour que l'abaque soit le plus général possible les coefficients de réflexion sont exprimés en fonction de l'impédance normalisée $z_x = Z_x / Z_c = \frac{1-\Gamma}{1+\Gamma}$
- 4) Le rapport d'ondes stationnaire (ROS ou SWR) permet d'avoir un nombre caractérisant la désadaptation de la ligne et de sa charge. Il est calculé à partir de l'amplitude de l'onde stationnaire, qui est la composition entre l'onde incidente et l'onde réfléchi. Sa valeur est obtenue par la relation $\rho = \frac{\text{maximum de la tension en ligne}}{\text{minimum de la tension en ligne}}$, il peut aussi s'exprimer en fonction du coefficient de réflexion sur la charge $\rho = \frac{1+|\Gamma_T|}{1-|\Gamma_T|}$. Les valeurs du ROS sont toujours comprises entre 1 et ∞ , plus il est grand plus la désadaptation est importante.
- 5) Avant de commencer les exercices, il est impératif de lire les indications données sur l'abaque en français et en anglais (inscription dans les disques extérieurs, échelles en bas de l'abaque...).

1. Soit une ligne sans pertes dont l'extrémité est en circuit ouvert et dont l'impédance d'entrée est $-j 1,5$. La longueur d'onde de l'onde sur cette ligne est de 10 cm.

- 1.1.** Quelle est la longueur minimale de la ligne ?
- 1.2.** Quelles sont les autres longueurs possibles ?

2. Soit une ligne de transmission sans pertes, d'impédance caractéristique $Z_c = 200 \Omega$, terminée par une impédance $Z_T = R + j X = 400 - j 300 \Omega$. La longueur de la ligne est $0,36 \lambda$, où λ est la longueur d'onde du signal sur la ligne.

- 2.1.** Calculer l'impédance normalisée de la charge.
- 2.2.** Représenter cette impédance sur l'abaque de Smith.
- 2.3.** En se déplaçant sur l'abaque vers le générateur déterminer l'impédance d'entrée de la ligne.
- 2.4.** Lire le ROS sur l'échelle appropriée de l'abaque.
- 2.5.** Que représente le cercle dont le centre est le centre de l'abaque et qui passe par les deux points représentant les impédances d'entrée et de charge de la ligne ?

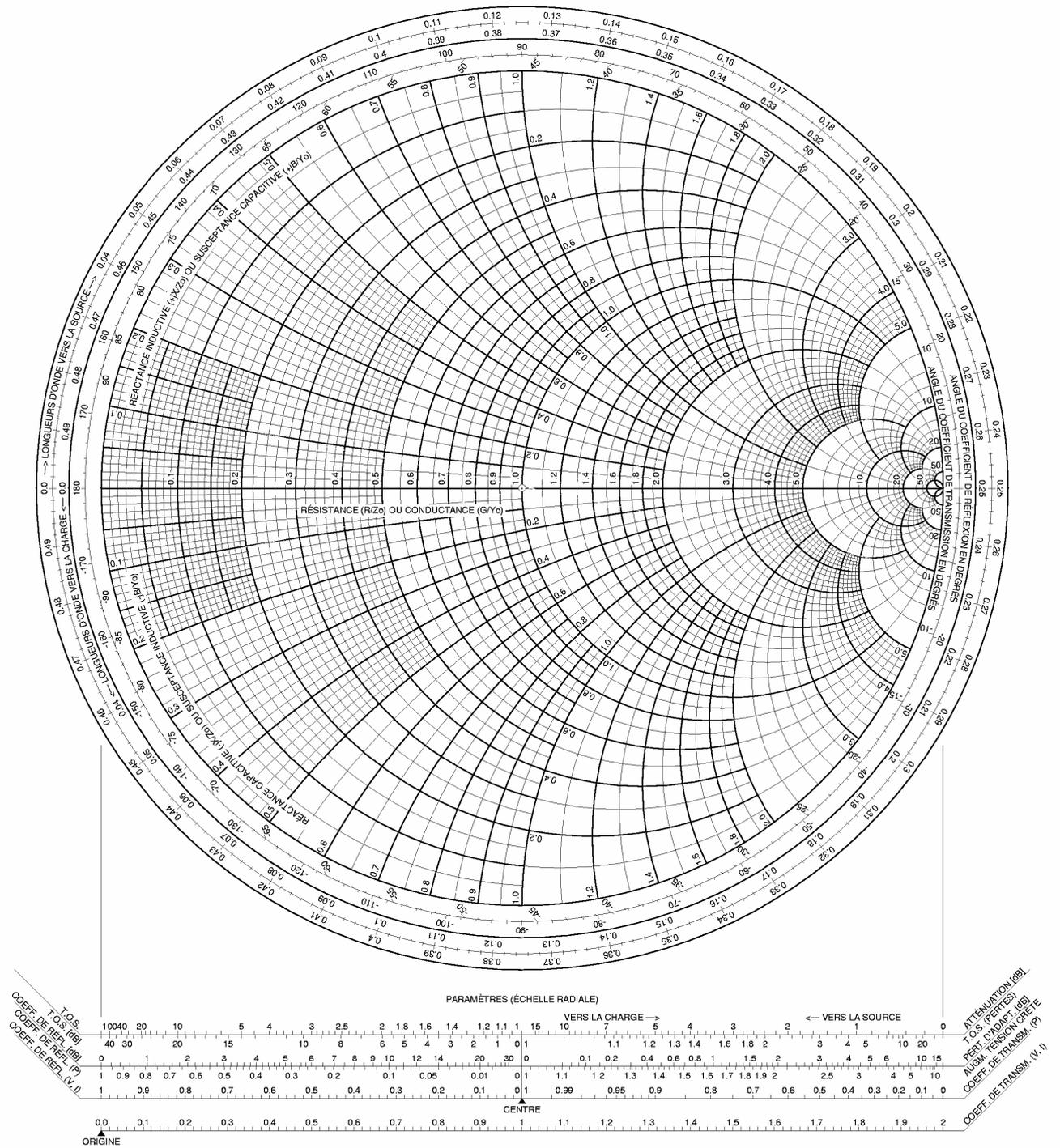
3. Soit une ligne de transmission sans pertes d'impédance caractéristique $Z_c = 50 \Omega$. La longueur de la ligne est de 1 m et le signal qui sera injecté à l'entrée de la ligne présente une fréquence de 950MHz.

- 3.1.** La ligne est chargée à son extrémité par une impédance $Z_T = 50 \Omega$.
 - 3.1.1.** Quel sera le coefficient de réflexion à l'extrémité de la ligne où se trouve la charge ?

- 3.1.2.** Représenter sur l'abaque de Smith la charge Z_T , puis toutes les valeurs d'impédance tout au long de la ligne.
- 3.2.** La ligne est chargée avec un court-circuit.
- 3.2.1.** Quel sera le coefficient de réflexion à l'extrémité de la ligne où se trouve la charge ?
- 3.2.2.** Représenter sur l'abaque de Smith la charge Z_T , puis toutes les valeurs d'impédance tout au long de la ligne.
- 3.2.3.** Où se trouve la valeur d'impédance minimale de la ligne sur l'abaque ?
- 3.3.** La ligne est chargée avec une impédance $Z_T = 100 \Omega$.
- 3.3.1.** Quel sera le coefficient de réflexion à l'extrémité de la ligne où se trouve la charge ?
- 3.3.2.** Représenter sur l'abaque de Smith la charge Z_T , puis toutes les valeurs d'impédance tout au long de la ligne.
- 3.3.3.** Où se trouvent les valeurs d'impédances maximale et minimale de la ligne sur l'abaque ? Lire le ROS sur la règle inférieure et le comparer à Z_{max} .
- 3.3.4.** Avec une sonde (cas de la ligne fendue, voir TP), il est possible de mesurer l'amplitude des ondes de tension dans une ligne spéciale qui a été "ouverte". Une mesure de l'amplitude minimale de la tension a été effectuée avec un analyseur de spectre. Le résultat de la mesure est 10 dBm à la fréquence de 950 MHz. Connaissant le ROS en déduire la valeur de la tension maximale sur la ligne.
- 3.3.5.** A quels points de la ligne cette tension maximale peut elle être observée ? Même question pour la tension minimum.
- 3.3.6.** Si la vitesse de phase des ondes se propageant sur la ligne est c (dans l'air), combien de tours sur l'abaque doit on faire lorsque la ligne est parcourue depuis la charge jusqu'au générateur ?

Abaque de Smith

COORDONNÉES EN IMPÉDANCE OU ADMITTANCE NORMALISÉES



The Complete Smith Chart

Black Magic Design

