

RESEAUX ET TELECOMMUNICATIONS BUT 2

Livret de TD

Module R 306

HF

	Formulaire
TD 1	Phénomènes de propagation - Atténuation - Câbles
TD 2	Etude temporelle d'une ligne sans pertes
TD 3	Utilisation de l'abaque de Smith

Formulaire

Symboles des unités : [A] Ampère, [V] Volt, [H] Henry, [F] Farad, [m] mètre, [s] seconde, [Ω] Ohm,

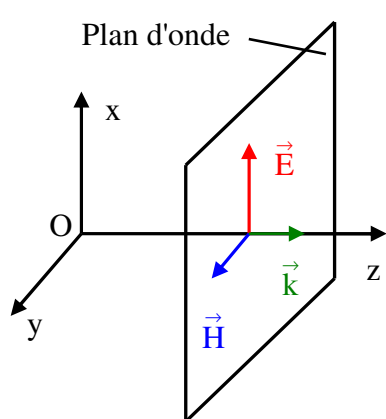
Préfixes unités : péta (P) 10^{15} , téra (T) 10^{12} , giga (G) 10^9 , méga (M) 10^6 , kilo (k) 10^3 ,
 milli (m) 10^{-3} , micro (μ) 10^{-6} , nano (n) 10^{-9} , pico (p) 10^{-12} , femto (f) 10^{-15} .
 (Attention K= kelvin !!!)

Perméabilité du vide ou de l'air (μ) : $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ H/m

Permittivité du vide ou de l'air (epsilon) : $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi 10^{-9}}$ F/m

Vitesse des ondes électromagnétiques : $v = \sqrt{\frac{1}{\epsilon\mu}}$ m/s

Vitesse des ondes dans l'air ou le vide : $c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0\mu_0}} = 2,99792458 10^8 \approx 3 10^8$ m/s



Onde électromagnétique

Le champ électrique $\vec{E}$ en V/m

Le champ magnétique $\vec{H}$ en A/m

Le vecteur d'onde $\vec{k} = \frac{\omega}{v}$ et

le nombre d'onde $|\vec{k}| = \frac{\omega}{v}$ en rad/s

Impédance d'onde de l'air $Z_{air} = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} = 120 \pi = 377 \Omega$

Période temporelle : $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$ en s

Période spatiale (lambda) : $\lambda = v T = \frac{v}{f} = \frac{v}{\frac{\omega}{2\pi}} = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\omega}{v}} = \frac{2\pi}{k}$ en m

Epaisseur de peau dans un métal : $\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu\sigma\pi f}}$ avec σ conductivité du métal

alpha	bêta	gamma	delta	epsilon	zêta	êta	thêta	iota	kappa	lambda	mu	nu	ksi/xi	omicron	pi	rhô	sigma	tau	upsilon	phi	khi/chi	psi	oméga
α	β	γ	δ	ϵ	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	$\omicron$	π	ρ	σ	τ	υ	ϕ/φ	χ	ψ	ω
A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ	M	N	Ξ	O	Π	P	Σ	T	Y	Φ	X	Ψ	Ω

Phénomènes de propagation - 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 :

1. Réseau de distribution de l'énergie électrique au niveau national ($L = 1000$ km)
2. Réseau téléphonique local ($L = 3$ km)
3. Réseau téléphonique local ($L = 500$ m)
4. Carte imprimée au format "Europe" ($L = 16$ cm)
5. 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 :

$$V_\phi = 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

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

2. 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)

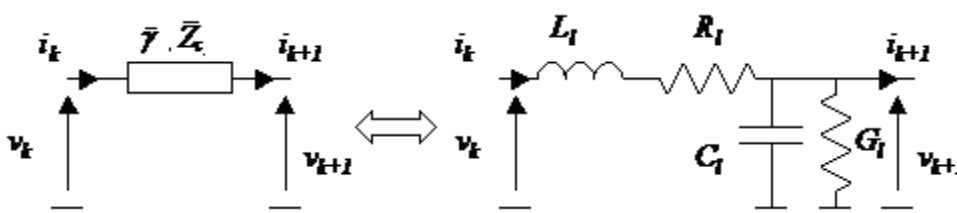


Un câble coaxial peut être défini grâce à ses caractéristiques électriques :

- impédance caractéristique Z_c (Ω)
- 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)

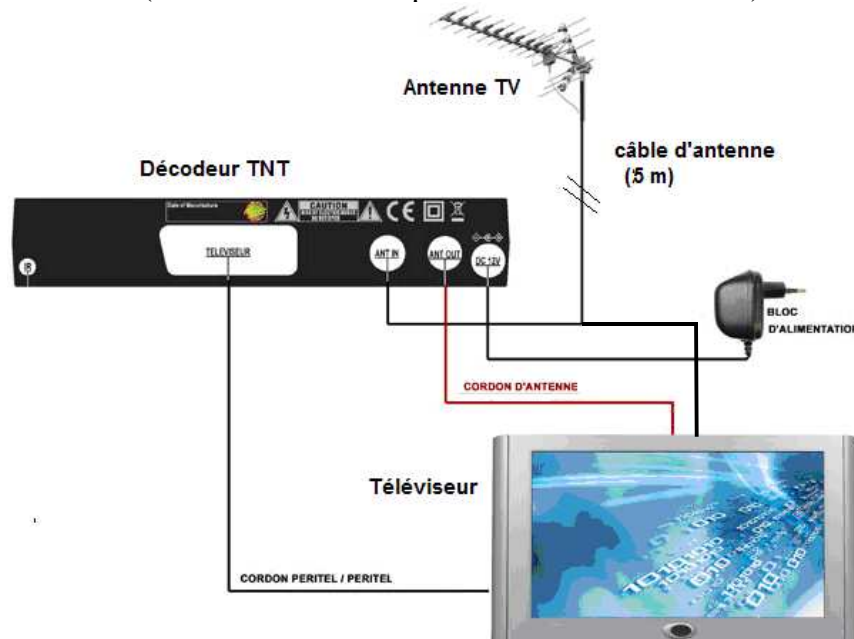
Parmi les caractéristiques électriques on distingue deux groupes de paramètres. L'un d'eux rassemble les paramètres secondaires constitués par Z_c , v_ϕ et α (avec $\gamma = \alpha + j\beta$ ou $\gamma = \alpha + j\frac{2\pi}{\lambda}$).

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.

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

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)	
FT100	6,6						21		TV satellite
RG8-U	11	53	0,66	87					
RG8-U	11	50	0,80	78					mousse de PE
RG11A-U	5	75	0,66	100	6	10	21		
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	0,70	87				1,4	PTFE
RG142A	5	70	0,70	87				1,4	PTFE
RG174AU	2,54	50	0,66	100	3	9	29		
RG178	2				15	48			
RG179	2,5	75	0,85	70	12	40			
RG213U	10,3	50	0,66	100	2	6,8	25	6	
RG214	10,8						26		
RG218U		50		100	3	6	13		
RG223	5,4						44		
RG405		50				17	60		semi-rigide
KX4	10,3	50	0,66	100					
UR76	5	50	0,66	100	5	16	53	2,6	RG58

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

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

2.4. 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.

2.5. 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).

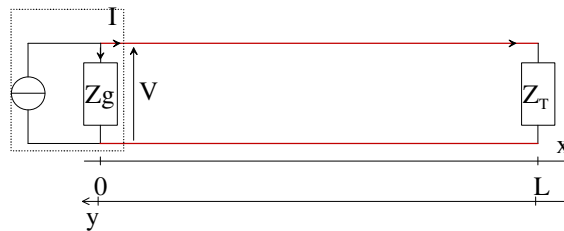
Déterminer la valeur de R_l .

2.6. 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.

2.7. 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.

	L	L [m]	F ₀ [Hz]	F ₀	Réponse	tp (s)	tp
1							
2							
3							
4							
5							

Etude temporelle d'une ligne sans pertes

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

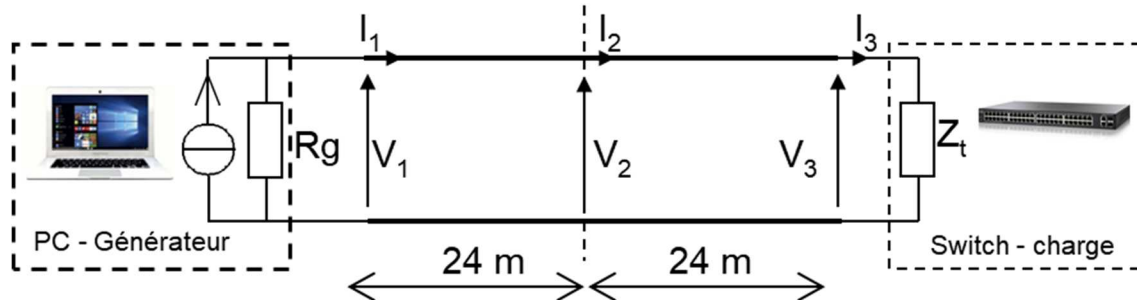


Figure 1

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.
- 1.3. Rappeler l'expression du coefficient de réflexion au niveau de la charge (switch sur la fig. 1).

2. Ligne en circuit ouvert

Coté générateur (PC sur la fig. 1), on dispose d'une source de courant adaptée ($R_g = 100 \Omega$). Coté charge, la ligne est placée en circuit ouvert.

Construire à l'aide des chronogrammes ci-joint les tensions $V_1(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants, $I_1(t)$, $I_3(t)$ lorsque le générateur délivre une impulsion de courant de $I_0 = 40 \text{ mA}$ durant 50 ns .

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 $V_1(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants $I_1(t)$, $I_3(t)$ en régime impulsionnel : $I_0 = 40 \text{ mA}$ durant 50 ns .

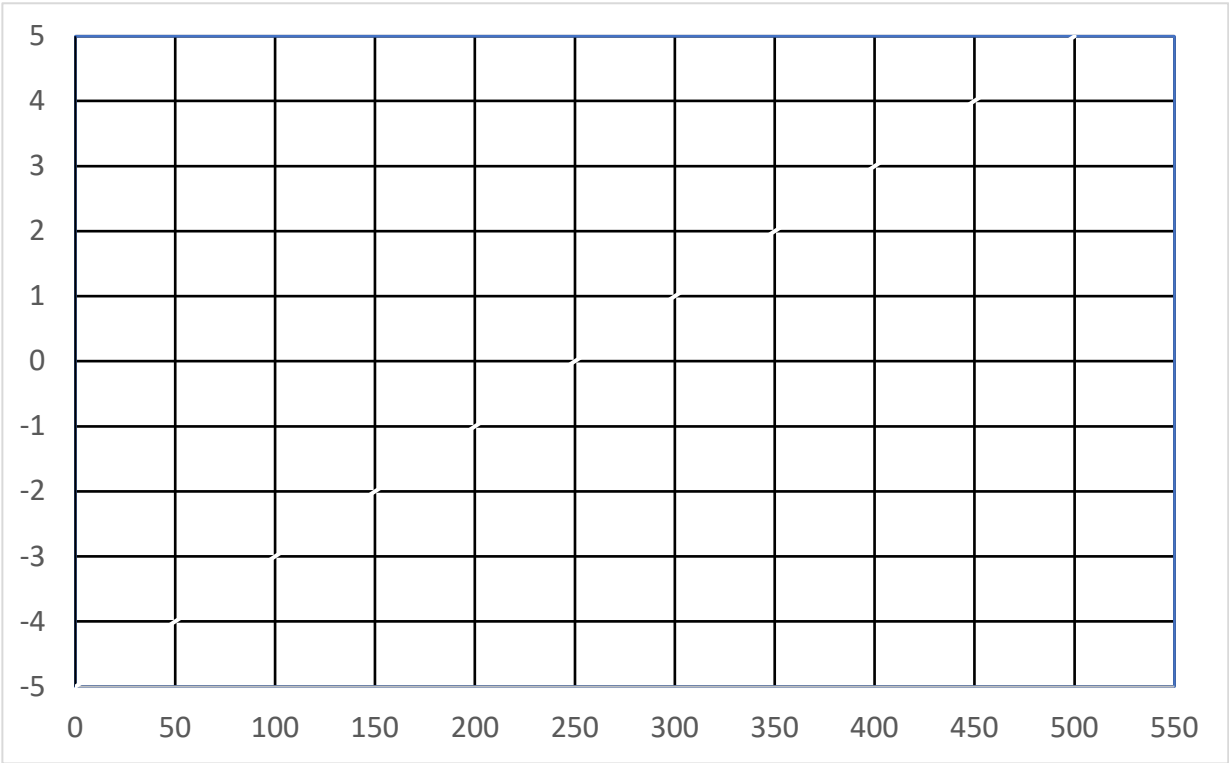
4. Ligne adaptée aux deux extrémités

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

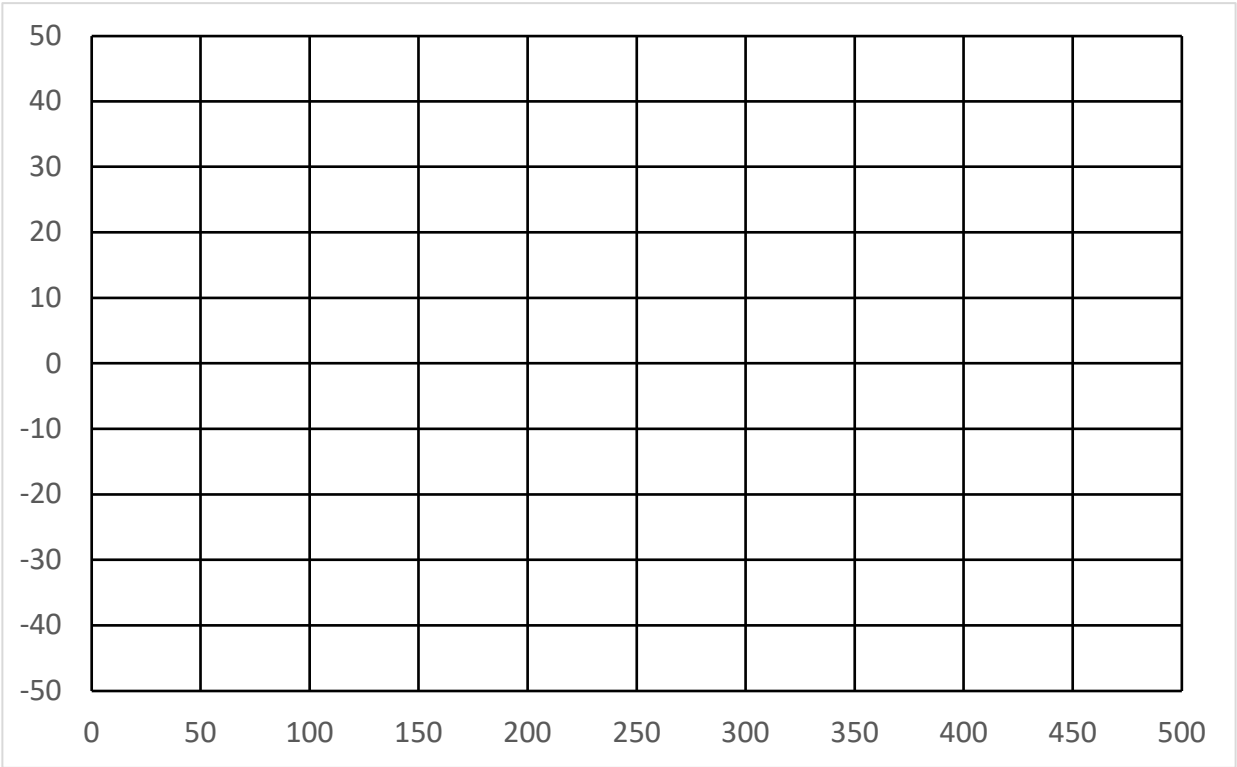
Déterminer les nouveaux chronogrammes de $V_1(t)$, $V_3(t)$ ainsi que les courants $I_1(t)$, $I_3(t)$ en régime impulsionnel : $I_0 = 40 \text{ mA}$ durant 50 ns .

Ligne en circuit ouvert

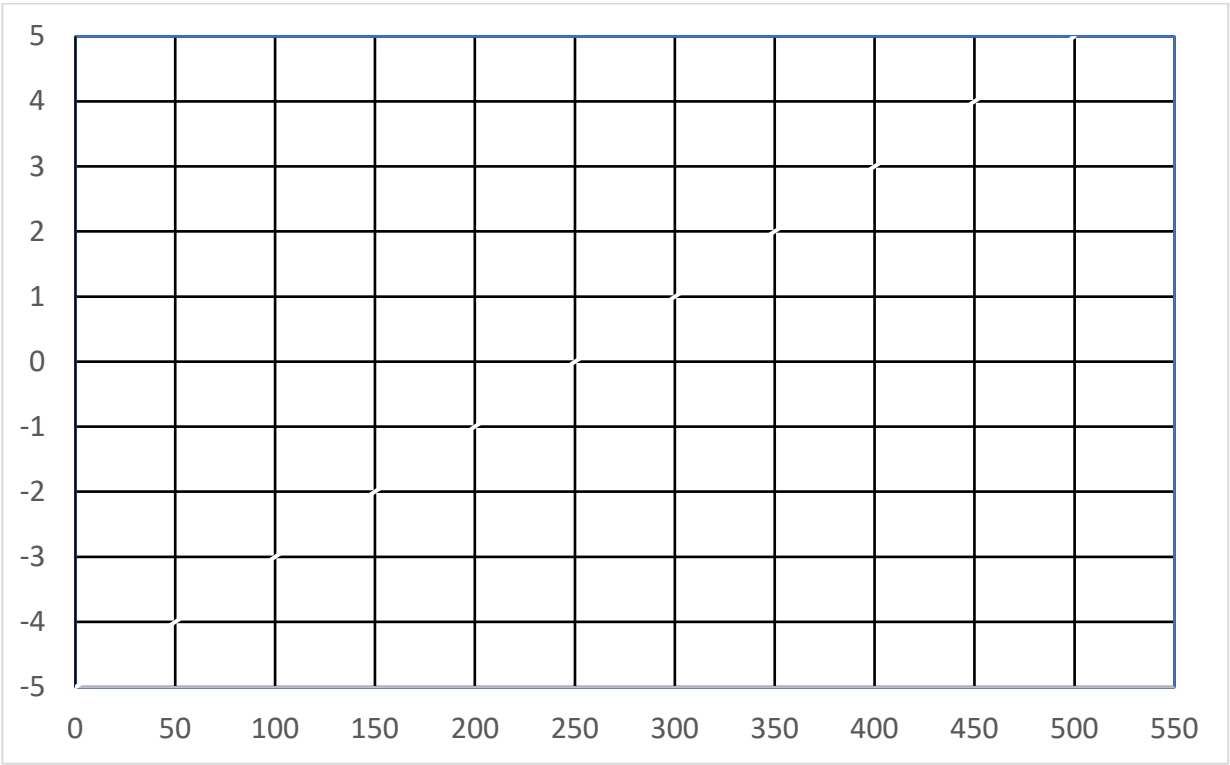
V1



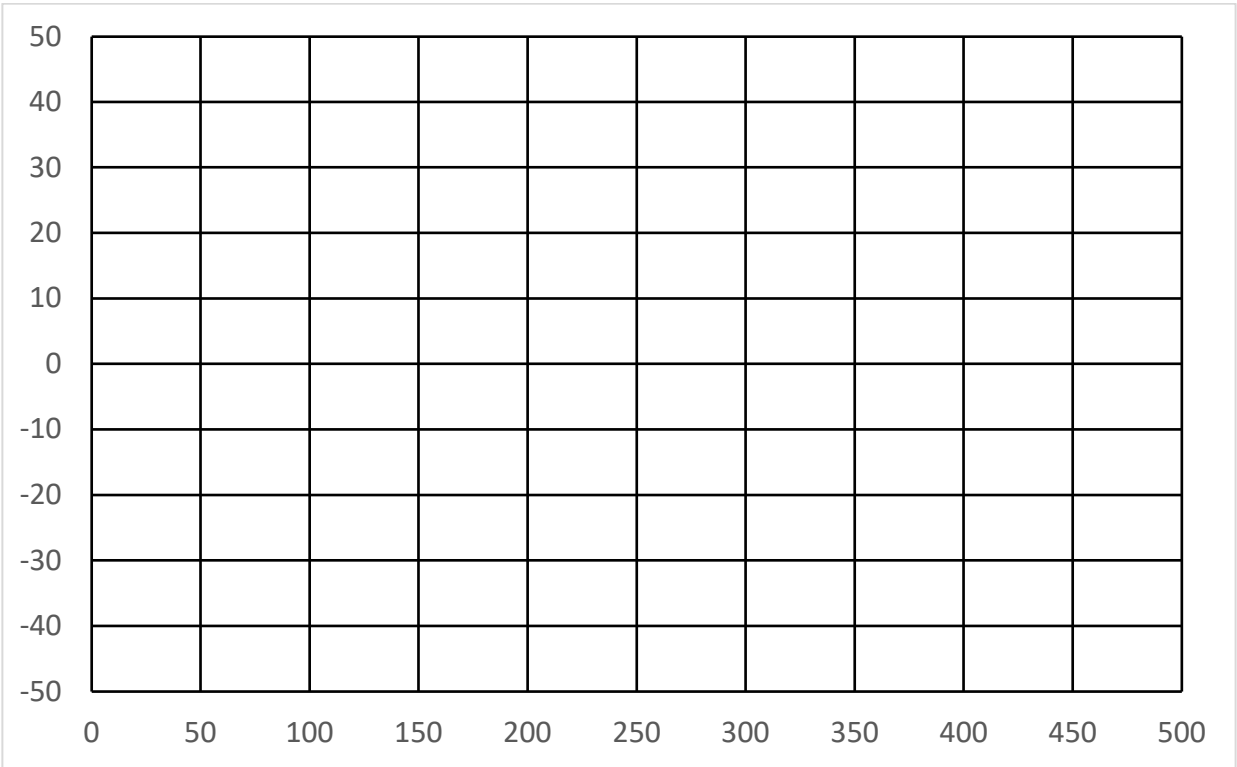
I1



V3

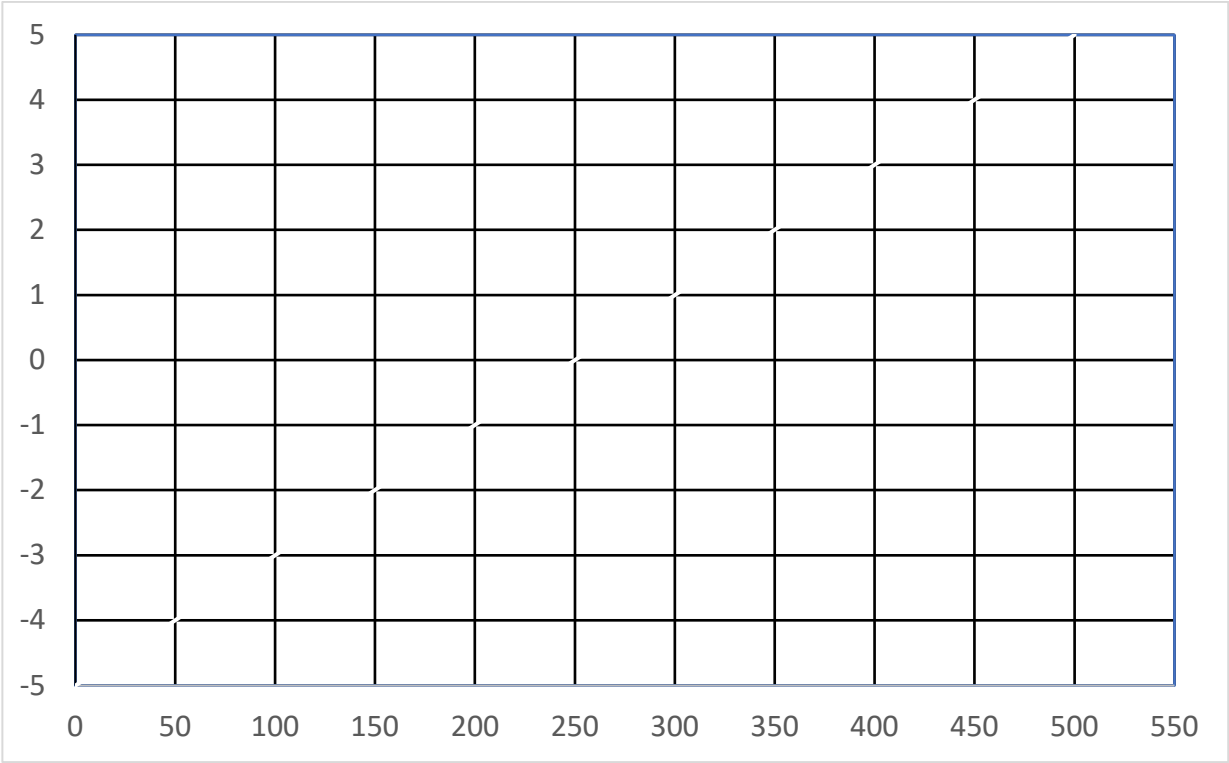


I3

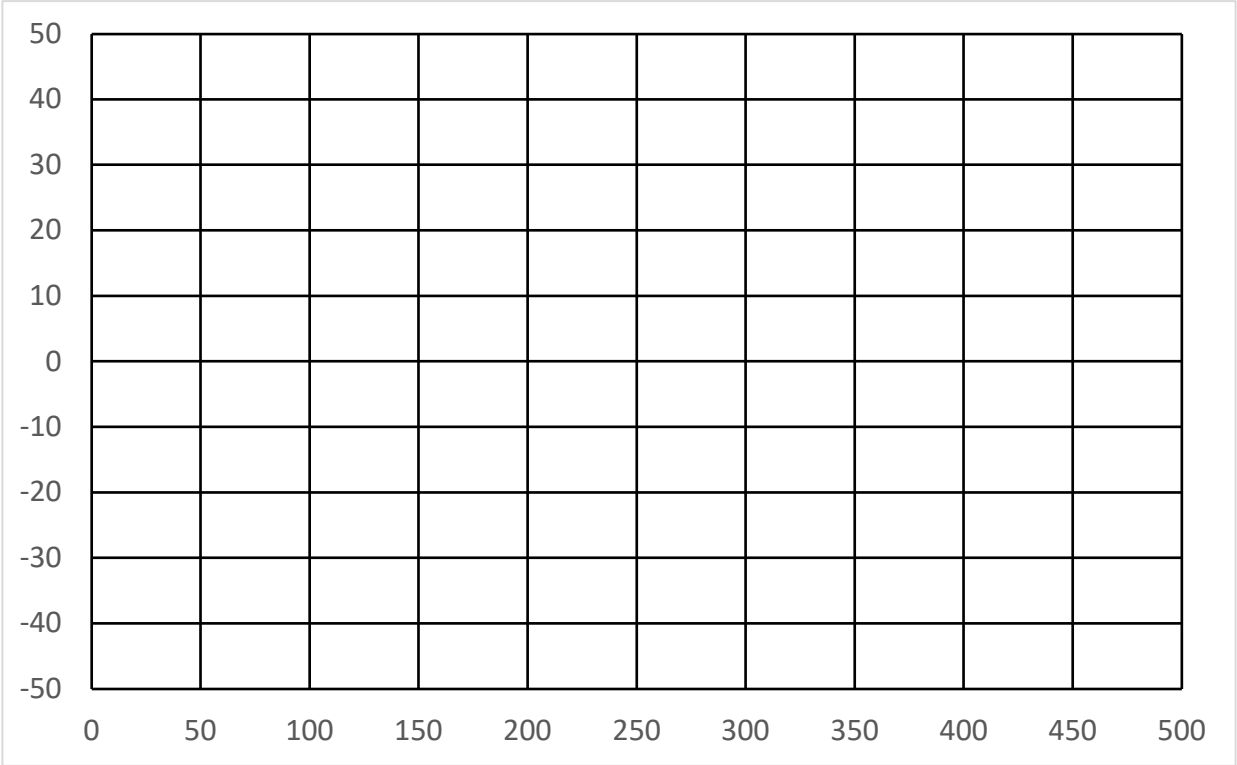


Ligne en court-circuit

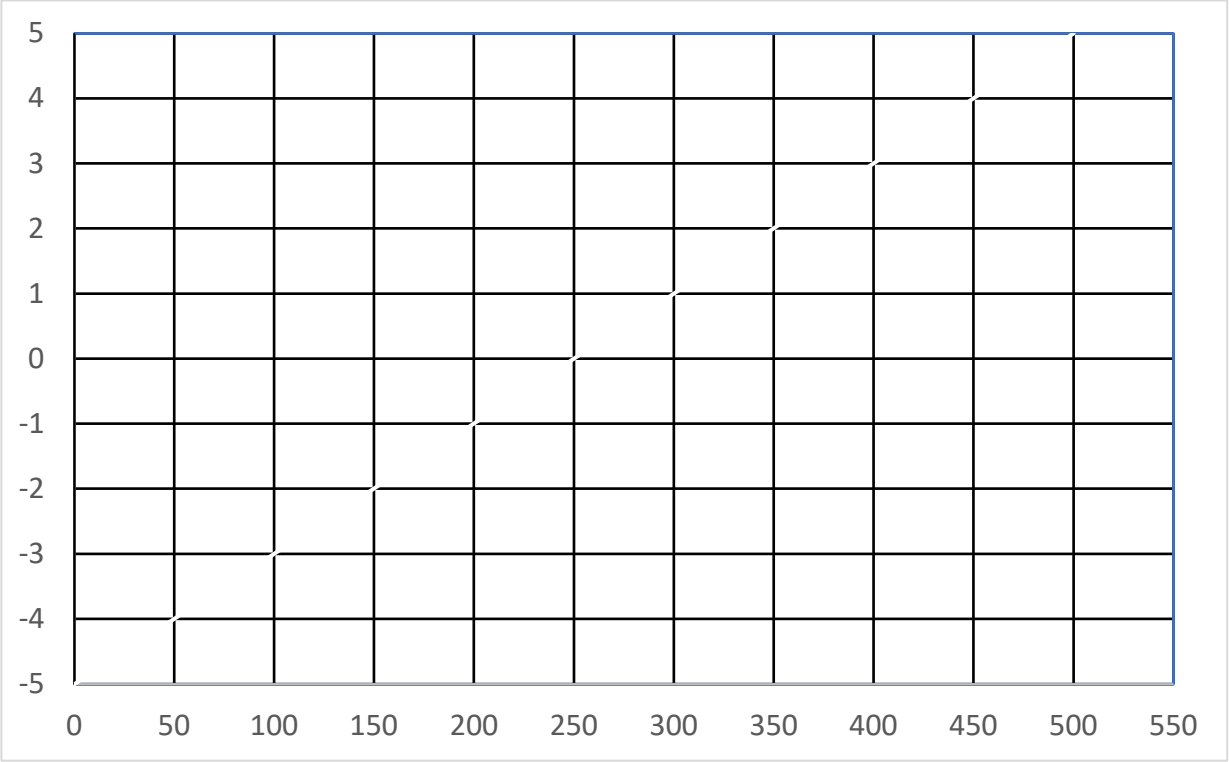
V1



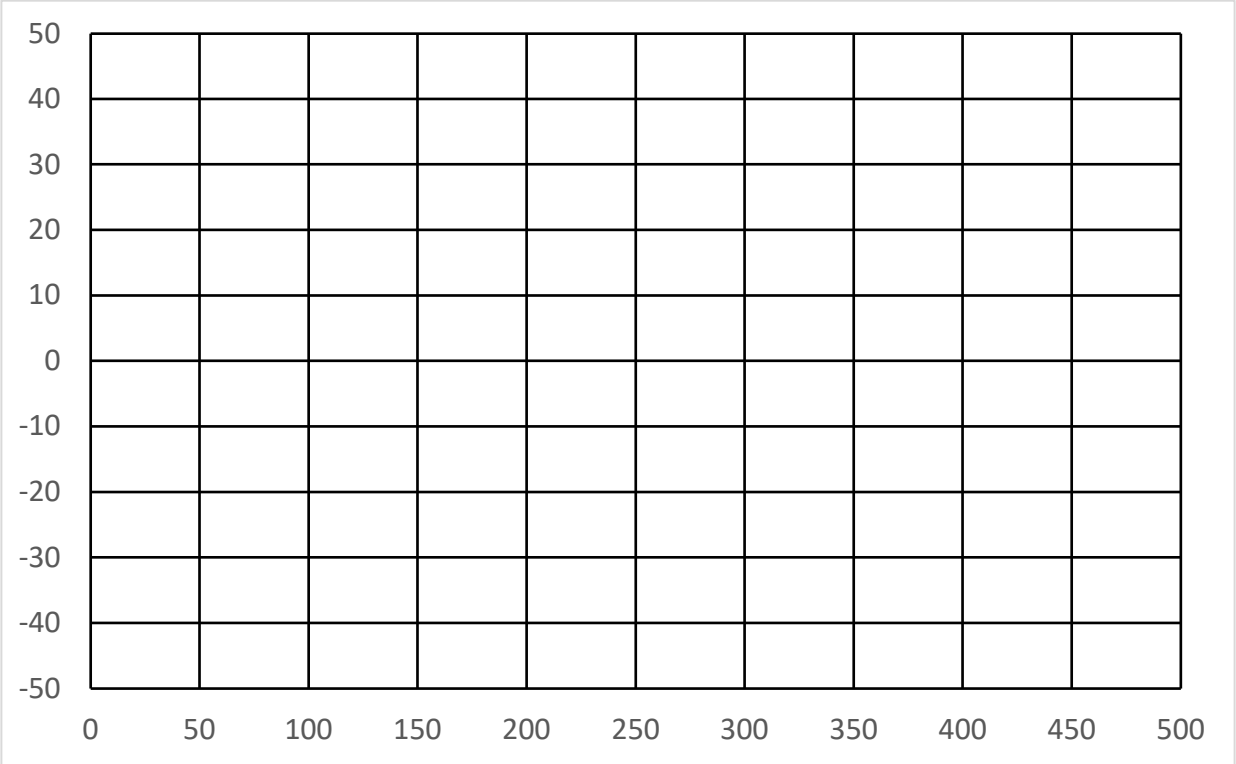
I1



V3

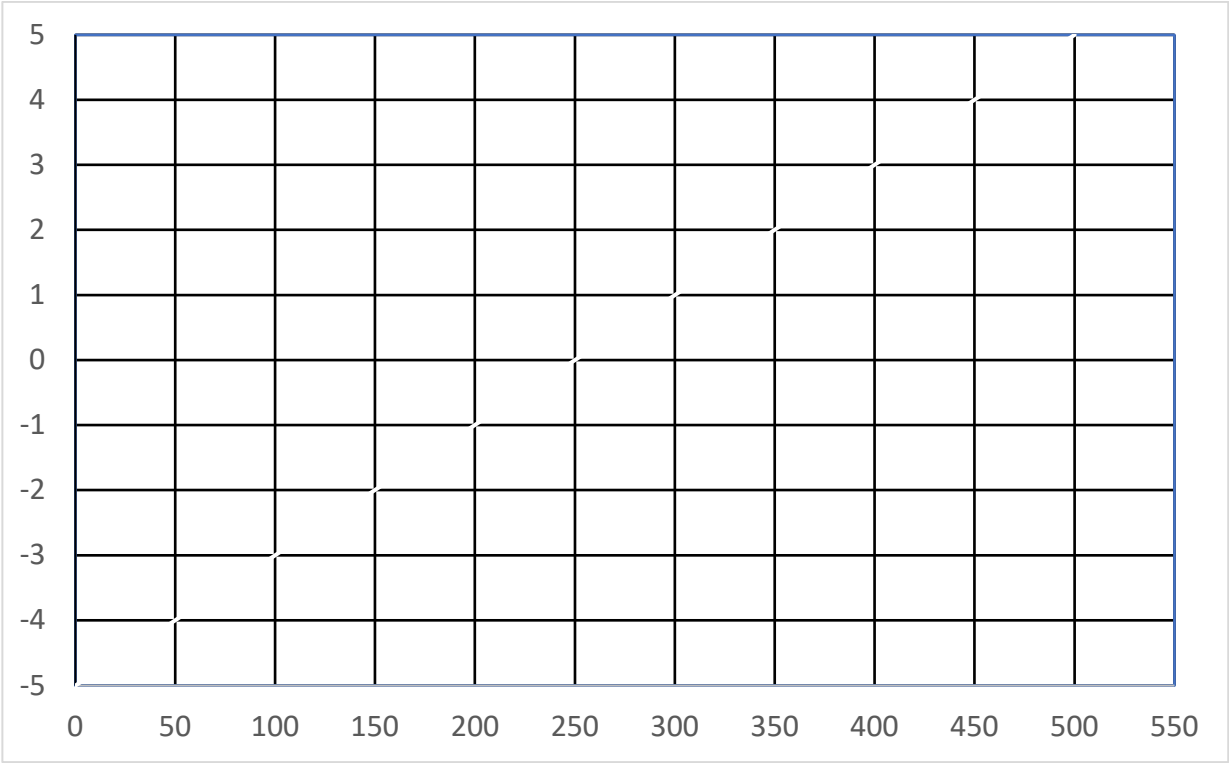


I3

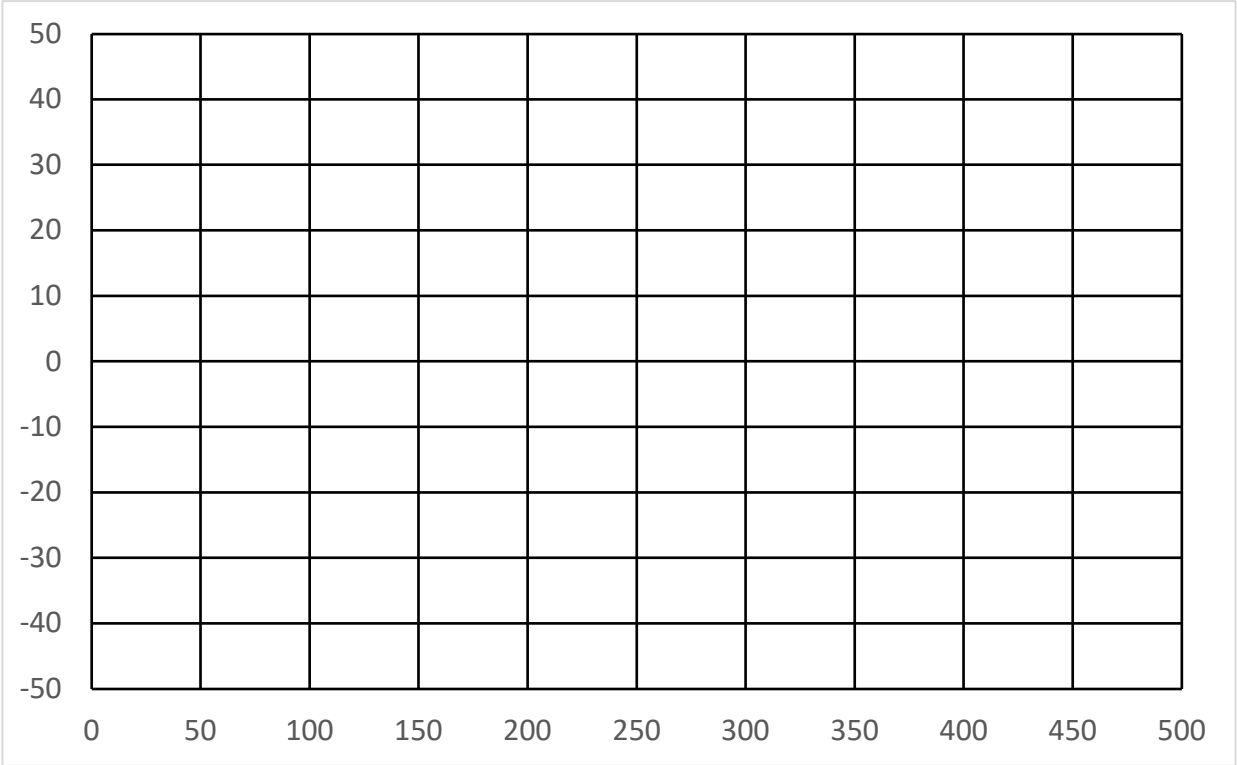


Ligne adaptée

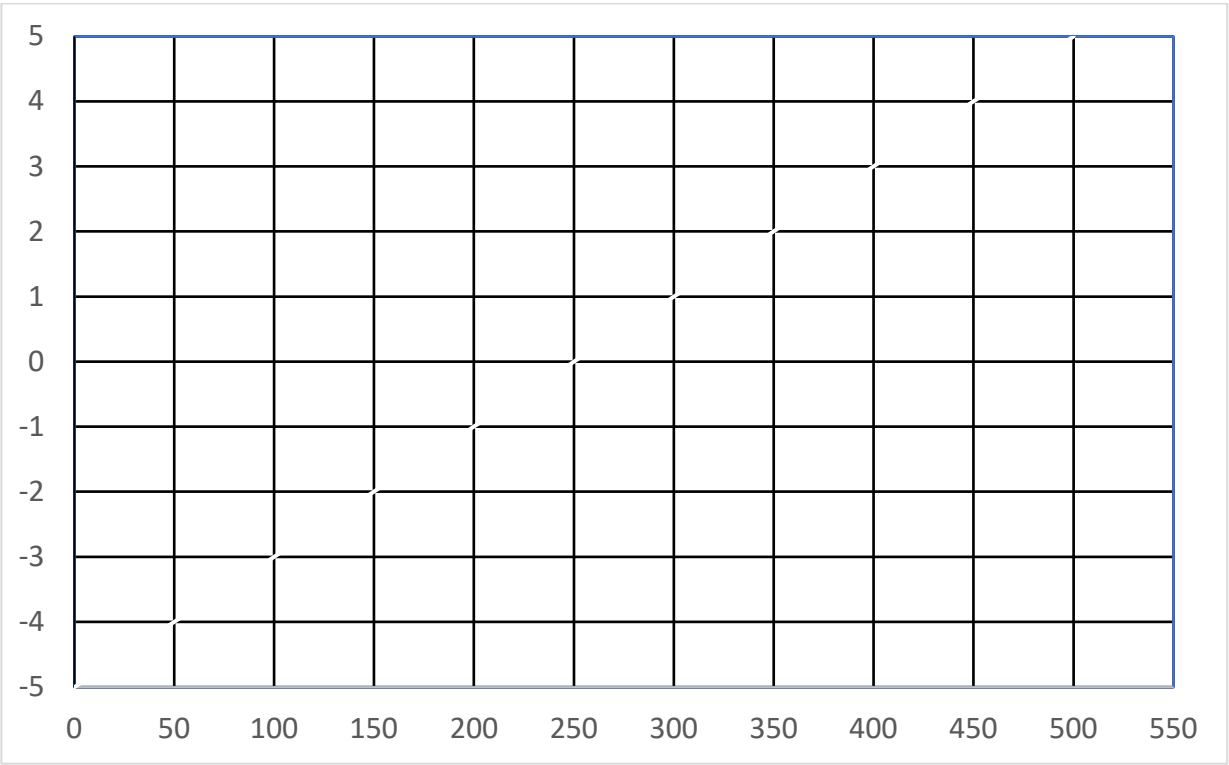
V1



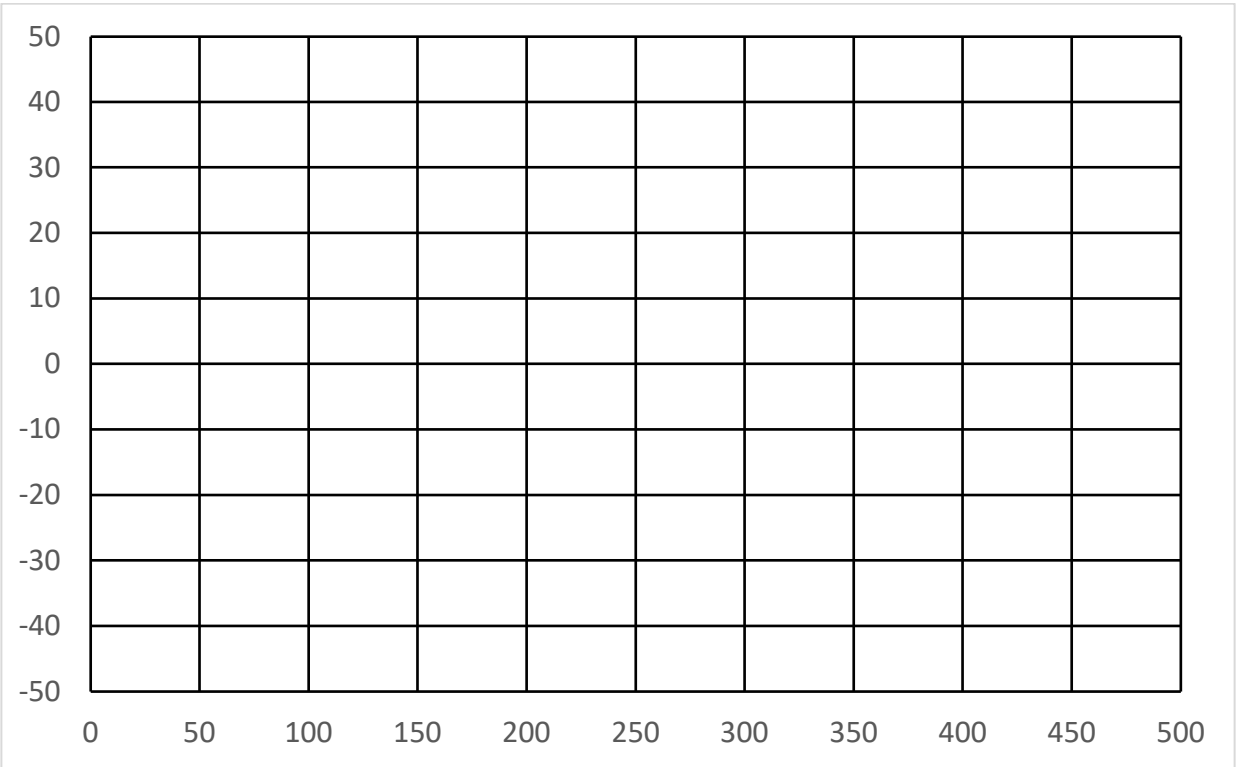
I1



V3



I3



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 (lettre minuscule) $z_x = Z_x / Z_c = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$
- 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 réfléchie. 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 $Z_c = 50 \Omega$. 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 normalisée 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 normalisée 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 $z_{\min}$ 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 normalisée 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 (SWR) sur la règle inférieure et le comparer à $z_{\max}$.

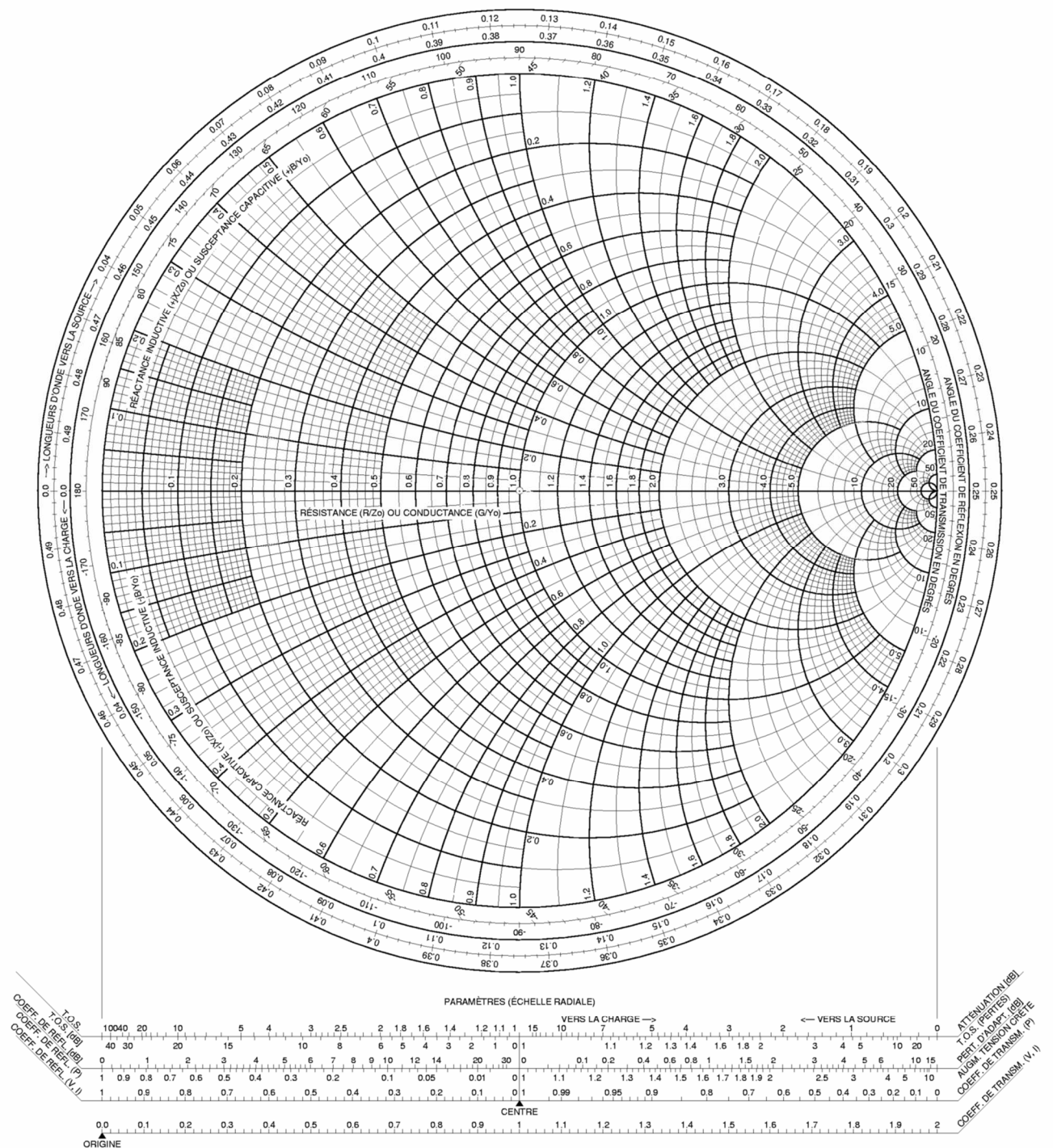
3.3.4. Avec une sonde (cas de la ligne fendue, voir TP), il est possible de mesurer l'amplitude des ondes de tension dans une ligne spéciale qui a été "ouverte". Une mesure de l'amplitude minimale de la tension a été effectuée avec un analyseur de spectre. Le résultat de la mesure est 10 dBm à la fréquence de 950 MHz. Connaissant le ROS (SWR) 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



Black Magic Design

