
LELEC1930 - Introduction aux télécommunications

Séance 1 - Lignes de transmissions

Prof. : Jérôme Louveaux

Assist. : Jérôme Eertmans

Rappel

Une ligne de transmission peut être modélisée comme sur la [figure 1](#), dont les paramètres sont décrits dans le [tableau 1](#). Grâce à ce modèle, il est possible de calculer l'impédance de la ligne, Z_0 , et l'exposant de propagation, γ ,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}, \quad (1) \quad \gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}, \quad (2)$$

avec ω la pulsation en rad s^{-1} . **Attention** à bien travailler en complexe, car Z_0 et γ peuvent être complexes. La partie réelle de γ , notée α , est la constante d'atténuation et la partie imaginaire, notée β , est la constante de phase. Finalement, la vitesse de propagation de l'onde, v_p , aussi appelée vitesse de phase, peut s'obtenir :

$$v_p = \frac{\omega}{\beta}. \quad (3)$$

La constante d'atténuation, α , permet de lier la tension d'entrée $V(z, t)$ avec la tension à la sortie $V(z + dz, t)$, après une distance dz donc :

$$|V(z + dz, t)| = e^{-\alpha dz} |V(z, t)|. \quad (4)$$

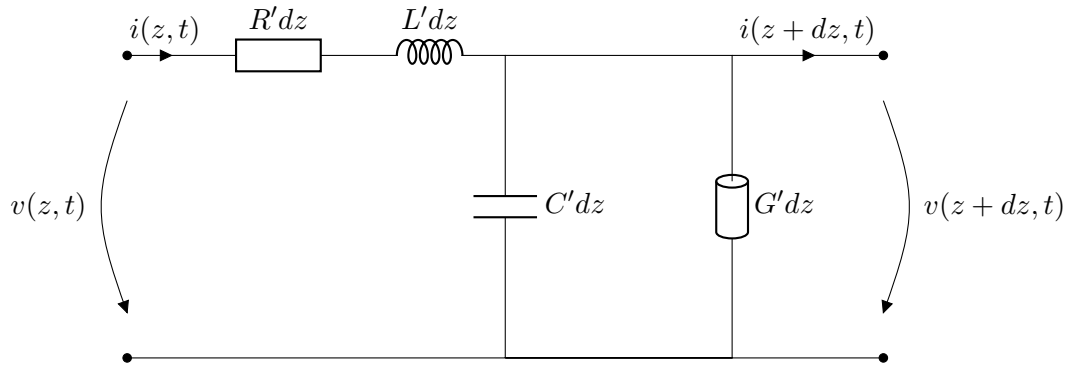


FIGURE 1 – Ligne de transmission.

Description	Symbole	Unités
Résistance linéique	R'	$\Omega \text{ m}^{-1}$
Conductance linéique	G'	S m^{-1}
Inductance linéique	L'	H m^{-1}
Capacité linéique	C'	F m^{-1}

TABLE 1 – Paramètres du modèle de ligne de transmission.

En télécommunications, les pertes par câble ne sont pas les seules pertes à prendre en compte (figure 2). La puissance du signal reçu à l'antenne réceptrice (RX) est une fonction de la puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP en anglais) et de l'affaiblissement de propagation (path loss). L'EIRP se calcule de la manière suivante :

$$EIRP|_{\text{dB m}} = P_t|_{\text{dB m}} + G_t|_{\text{dB}} - L_c|_{\text{dB}}, \quad (5)$$

où P_t est la puissance transmise par l'émetteur, G_t est le gain de l'antenne émettrice et L_c sont les pertes liées au câble reliant l'émetteur et l'antenne.

Ensuite, l'affaiblissement de propagation dans un cas d'espace vide (free space), c.-à-d. sans obstacle, s'obtient comme suit :

$$L_{FS}|_{\text{dB}} \approx 32.4 + 20 \log(f|_{\text{MHz}}) + 20 \log(D|_{\text{km}}), \quad (6)$$

avec f la fréquence (en MHz) et D la distance inter-antennes (en km).

De là, on peut finalement calculer le niveau de puissance reçu à l'antenne réceptrice (RSL) :

$$RSL|_{\text{dB m}} = EIRP|_{\text{dB m}} + G_r|_{\text{dB}} - L_{FS}|_{\text{dB}}, \quad (7)$$

avec G_r le gain de l'antenne réceptrice.

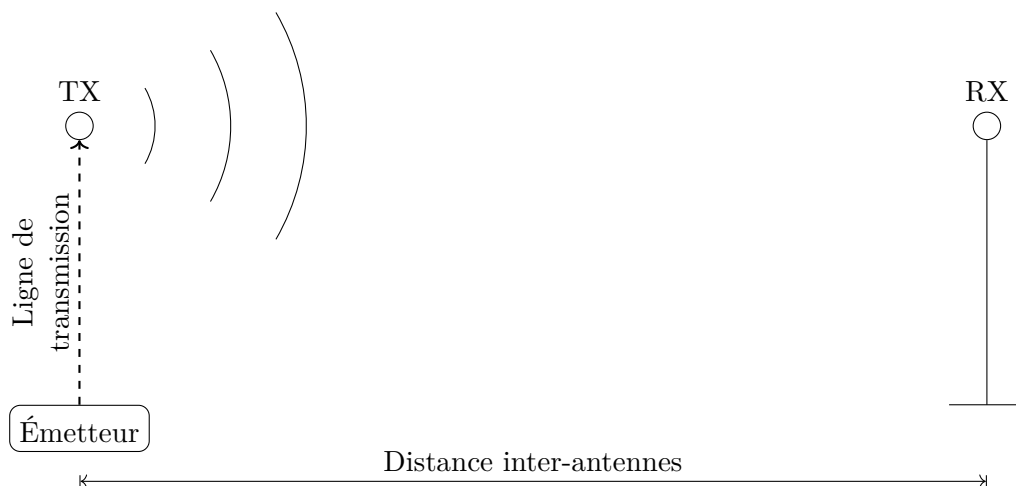


FIGURE 2 – Calcul de pertes lors de télécommunications.

Exercices

Exercice 1 : Câble vidéo

Considérez un câble coaxial RG218U, fréquemment utilisé pour la transmission vidéo dans les ultra hautes fréquences (UHF). Les valeurs des paramètres primaires sont données dans le **tableau 2**. La conductance G est supposée négligeable.

Symbole	Valeur
R'	$0.368 \Omega \text{ m}^{-1}$
L'	250 nH m^{-1}
C'	102.4 pF m^{-1}

TABLE 2 – Paramètres du modèle de ligne de transmission.

1. Calculez l'impédance caractéristique du câble, la constance d'atténuation et la vitesse de phase pour un signal à 100 MHz.
2. En supposant une puissance à l'entrée de $66 \mu\text{W}$, déterminez la longueur maximum de câble pour que la puissance à la sortie soit au moins égale à $0.42 \mu\text{W}$.

Réponse à l'exercice 1 :

Une simple application des formules du rappel permet de répondre aux questions :

1. (a) $Z_0 = 49.41 - 0.06j$, $|Z_0| = 49.41 \Omega$
 (b) $\alpha = 0.0037 \text{ m}^{-1}$
 (c) $v_p = 197\,642\,218 \text{ m s}^{-1}$
2. Comme la puissance est proportionnelle au carré de la tension (loi d'Ohm), on peut écrire :

$$\frac{0.42 \mu\text{W}}{66 \mu\text{W}} = \frac{|V(z + dz, t)|^2}{|V(z, t)|^2} = e^{-2\alpha dz}. \quad (8)$$

Ensuite, en isolant la longueur de câble dz :

$$dz = \frac{1}{-2\alpha} \ln \left(\frac{0.42 \mu\text{W}}{66 \mu\text{W}} \right) = \frac{1}{2\alpha} \ln \left(\frac{66 \mu\text{W}}{0.42 \mu\text{W}} \right) = 679 \text{ m}. \quad (9)$$

Exercice 2 : Adaptation d'impédance

En pratique, on souhaite souvent avoir une impédance de ligne bien précise afin que les câbles utilisés puissent être compatibles avec un maximum d'appareils différents. Ici, on souhaite avoir une impédance de ligne $|Z_0| = 50 \Omega$.

1. Dans un premier temps, calculez la fréquence qui permettrait d'atteindre l'impédance voulue.
2. Dans un second temps, on va plutôt changer la résistance linéique du câble^a. Calculez la valeur de résistance linéique G' qu'il faudrait utiliser pour avoir l'impédance recherchée.

3. Est-il possible de rajouter une conductance linéique afin d'augmenter l'impédance de ligne ?

a. En pratique, on ne peut pas changer la composition du câble à notre guise. On va donc plutôt rajouter une résistance en fin de ligne pour compenser la différence entre l'impédance réelle et celle voulue.

Réponse à l'exercice 2 :

En prenant le module de l'équation 1 et en mettant tout au carré, on obtient :

$$50^2 = \left| \frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'} \right|^2. \quad (10)$$

Ensuite, on peut résoudre (analytiquement, avec la calculatrice ou via Python) l'équation pour trouver $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ou R' :

$$2500 = \frac{\sqrt{R'^2 + \omega^2 L'^2}}{\sqrt{G'^2 + \omega^2 C'^2}} \Rightarrow 2500^2 = \frac{R'^2 + \omega^2 L'^2}{G'^2 + \omega^2 C'^2}. \quad (11)$$

1. On obtient environ 1.06 MHz comme fréquence nécessaire pour avoir une impédance de 50 Ω.
2. On calcule qu'il faudrait augmenter la résistance linéique du câble à 34.76 Ω m⁻¹.
3. Non, rajouter l'effet de la conductance linéique ne peut que réduire l'impédance de ligne.

Exercice 3 : Lien radio

Considérez le lien radio illustré sur la figure 3, avec les données suivantes :

1. L'émetteur travaille à une fréquence de 1 GHz.
2. L'émetteur et son antenne sont séparés par un câble coaxial RG9 de 15 m. L'atténuation de ce dernier est d'environ 0.23 dB m⁻¹.
3. La distance entre l'antenne émettrice (TX) et l'antenne réceptrice (RX) est de 8 km.
4. L'antenne TX possède un gain de 17 dB et une perte due à la connexion câblée de 1.5 dB.
5. L'antenne RX possède un gain de 2 dB et une sensibilité à -75 dBm.

Calculez la puissance minimale requise à l'émetteur pour que le signal soit bien reçu.

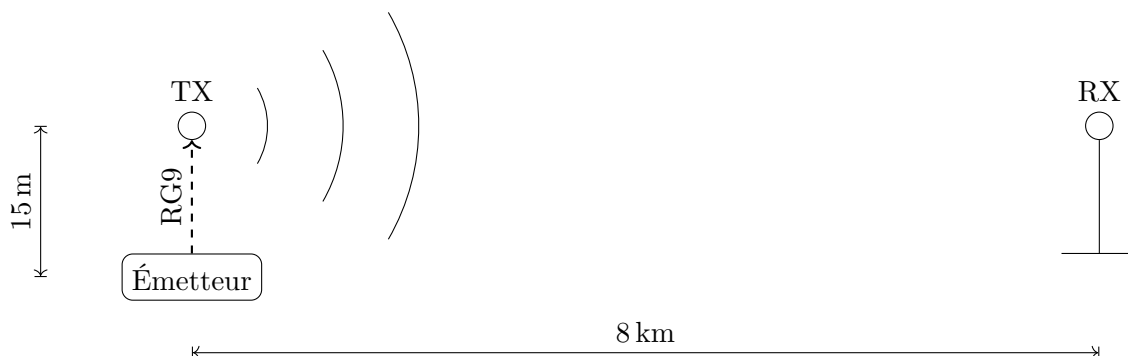


FIGURE 3 – Lien radio.

Réponse à l'exercice 3 :

En reprenant ce qui est donné dans le rappel, on peut d'abord calculer l'EIRP :

$$EIRP|_{\text{dB m}} = P_t|_{\text{dB m}} + 17 - L_c|_{\text{dB}} \quad (12)$$

avec $L_c = 1.5 + 15 \cdot 0.23 = 4.95 \text{ dB}$.

Ensuite, l'affaiblissement de propagation peut se calculer :

$$L_{FS}|_{\text{dB}} \approx 32.4 + 20 \log(1000) + 20 \log(8) = 110.5 \text{ dB}, \quad (13)$$

Pour finir, on peut trouver la puissance minimale à l'émission afin d'obtenir un signal supérieur ou égal à -75 dB m à l'antenne réceptrice :

$$-75 \leq P_t|_{\text{dB m}} + 17 - 4.95 + 2 - 110.5 \quad (14)$$

On trouve $P_t \geq 21.4 \text{ dB m}$.