

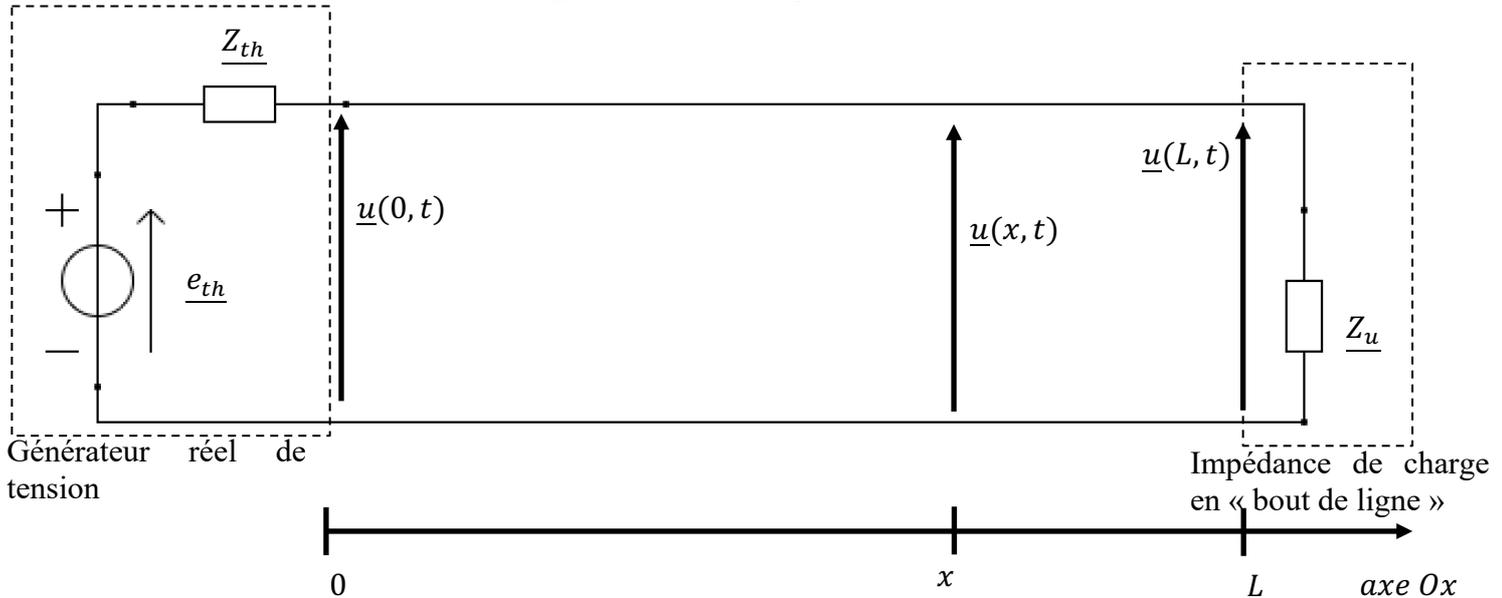
Chapitre 12 - Transmission guidée d'un signal : paire torsadée et câble coaxial

Activités et applications

❖ Approximation des régimes quasi-stationnaires : domaine de validité en régime sinusoïdal forcé

L'approximation des régimes quasi-stationnaires consiste à dire que, la tension aux bornes d'un guide d'onde est la même en tout point de ce guide d'onde.

On étudie la ligne de transmission de longueur L dans le dispositif suivant :



e_{th} : tension à vide du générateur

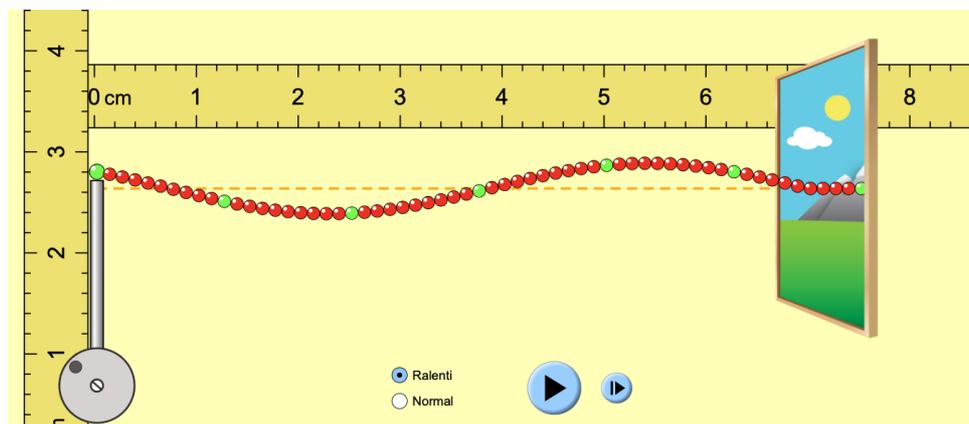
Z_{th} : impédance interne (de sortie) du générateur

Z_u : impédance de la charge en bout de ligne / impédance d'entrée du système en bout de ligne (modélisant le dispositif recevant le signal)

1. Dans le cadre de l'ARQS, quelle relation simple existe-il entre $\underline{u}(0, t)$, $\underline{u}(x, t)$ et $\underline{u}(L, t)$?

Cette relation simple n'est pas si simple à obtenir en pratique : il faut veiller à respecter certaines conditions. C'est ce que l'on tente d'expliquer dans la suite de cette partie.

Analogie avec la corde :



2. Sur la représentation ci-dessus, entourer une zone du motif spatial dans laquelle la condition $h(0, t) = h(x, t)$ est respectée (c'est-à-dire une zone où les points de la corde ont une hauteur quasi identique).
3. La longueur de cette zone est notée L : la comparer à la longueur d'onde λ de l'OPPH étudiée ici
4. La corde a pour analogue la ligne de transmission. Quelle est la grandeur analogue à la hauteur h d'un point de la corde ?

Conclusion pour une ligne de transmission en RSF :

Si la longueur d'onde λ du signal en entrée est très grande devant la longueur L de la ligne de transmission, l'étude du système peut se faire dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaire et les lois de Kirchhoff peuvent s'appliquer au système :

$$\lambda \gg L \Leftrightarrow \underline{u}(0, t) = \underline{u}(x, t) = \underline{u}(L, t) \Leftrightarrow \text{ARQS respectée}$$

Si $\lambda \sim L$ ou $\lambda < L$ alors on ne peut plus étudier de façon « classique » le système : les lois de Kirchhoff (lois des nœuds et des mailles) ne peuvent plus s'appliquer à l'ensemble de notre système. L'ARQS n'est plus respectée : **il faut tenir compte des phénomènes de propagation de l'onde.**

$$\lambda \sim L \text{ ou } \lambda < L \Leftrightarrow \text{phénomènes de propagation à prendre en compte} \Leftrightarrow \text{ARQS non respectée}$$

❖ **Doit-on tenir compte des phénomènes de propagation ?**

5. On étudie un câble réseau Ethernet type 10BT transportant un signal de fréquence $f = 10 \text{ MHz}$ sur une longueur $L = 30 \text{ m}$. La propagation se fait à la célérité c . Déterminer si l'on doit tenir compte des phénomènes de propagation dans notre étude.
6. La relation $\underline{u}(0, t) = \underline{u}(x, t) = \underline{u}(L, t)$ est-elle correcte pour ce câble Ethernet type 10BT ?
7. On étudie la propagation du signal EDF sur une distance $L = 1000 \text{ km}$, la fréquence du signal est $f = 50 \text{ Hz}$, la célérité est c . Déterminer si l'on doit tenir compte des phénomènes de propagation dans notre étude.

Exemple sur une ligne de transmission de longueur $L = 1,00 \text{ m}$:

Un signal électrique (variation de tension) se propage dans une ligne de transmission de longueur $L = 1,00 \text{ m}$ dont la permittivité relative au vide est $\epsilon_r = 3,16$ (milieu non dispersif).

8. Pour ce guide d'onde de l'ordre de grandeur d'un mètre $L = 1,00 \text{ m}$, déterminer la fréquence maximale du signal que l'on peut utiliser en entrée, nous permettant de respecter l'ARQS (c'est-à-dire nous permettant d'utiliser la loi des nœuds et des mailles) :

En travaux pratiques, les câbles ont des longueurs proches du mètre : il faut donc les utiliser avec des signaux sinusoïdaux alternatifs dont la fréquence est inférieure à environ 10^8 Hz soit 100 MHz . Que veut dire G.B.F ? Générateur **B**asses **F**réquences

❖ **Impédance caractéristique d'une ligne de transmission sans pertes et célérité de l'onde TEM :**

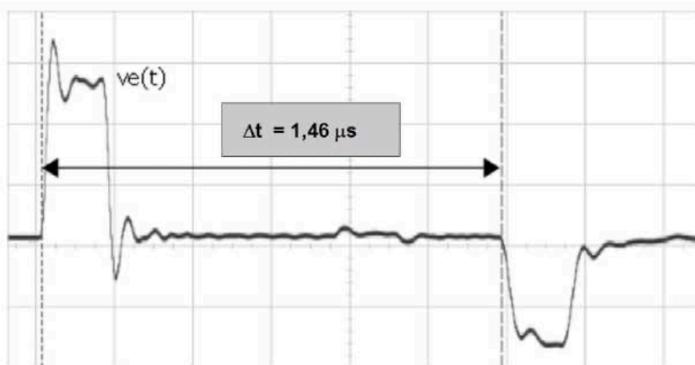
9. On étudie le câble coaxial RG58 : le constructeur donne $\epsilon_r = 2,04, \forall f$ pour l'isolant utilisé dans son câble. Déterminer la célérité des ondes EM dans ce câble :
10. On étudie le câble coaxial RG58 : le constructeur donne $L_l = 0,23 \mu\text{H}/\text{m}$ et $C_l = 97 \text{ pF}/\text{m}$. Déterminer la célérité des ondes EM dans ce câble :
11. Déterminer l'impédance caractéristique Z_C du câble coaxial RG58 :

Le constructeur donne $Z_C = 50 \Omega$: on trouve une valeur inférieure à la valeur réelle car la ligne coaxiale n'est pas sans perte (il faut prendre en compte une résistance linéique).

❖ Coefficient de réflexion du montage à ligne de transmission :

12. Une onde TEM incidente se propageant dans une ligne de transmission, a pour amplitude $E_{0,incidente} = 30 \text{ V/m}$: elle est réfléchiée en bout de ligne. L'onde TEM réfléchiée a pour amplitude $E_{0,reflechie} = -10 \text{ V/m}$. En déduire la valeur du coefficient de réflexion en bout de ligne, noté $\rho(L)$.
13. Un technicien utilise un câble USB d'impédance caractéristique 90Ω qu'il branche sur un système dont l'impédance d'entrée est de 85Ω . La ligne est-elle adaptée ici ?
14. Déterminer la valeur du coefficient de réflexion en bout de ligne, noté $\rho(L)$, pour la précédente situation :
15. En un point x d'un câble ETHERNET, un technicien détermine que $\rho(x) = -0,57$: en déduire le défaut du câble au point x . Justifier votre réponse.

❖ Réponse impulsionnelle d'une ligne de transmission sans pertes :



Pour vérifier le fonctionnement d'une ligne de transmission de longueur $L = 200 \text{ m}$, un technicien envoie une impulsion le long de cette ligne adaptée en bout de ligne (en sortie). Il observe le signal en début de ligne (signal d'entrée) au cours du temps (graphe ci-contre).

La célérité des ondes dans la ligne est $v = 1,98 \times 10^8 \text{ m/s}$

16. Donner la valeur du coefficient de réflexion en bout de ligne, noté $\rho(L)$, en justifiant votre réponse.
17. Comment expliquer la réception d'une impulsion réfléchiée en entrée de la ligne ?
18. Déterminer la nature du défaut présent en un point x de la ligne, en justifiant votre réponse :
19. En déduire à quelle distance x du début de ligne se trouve le défaut :

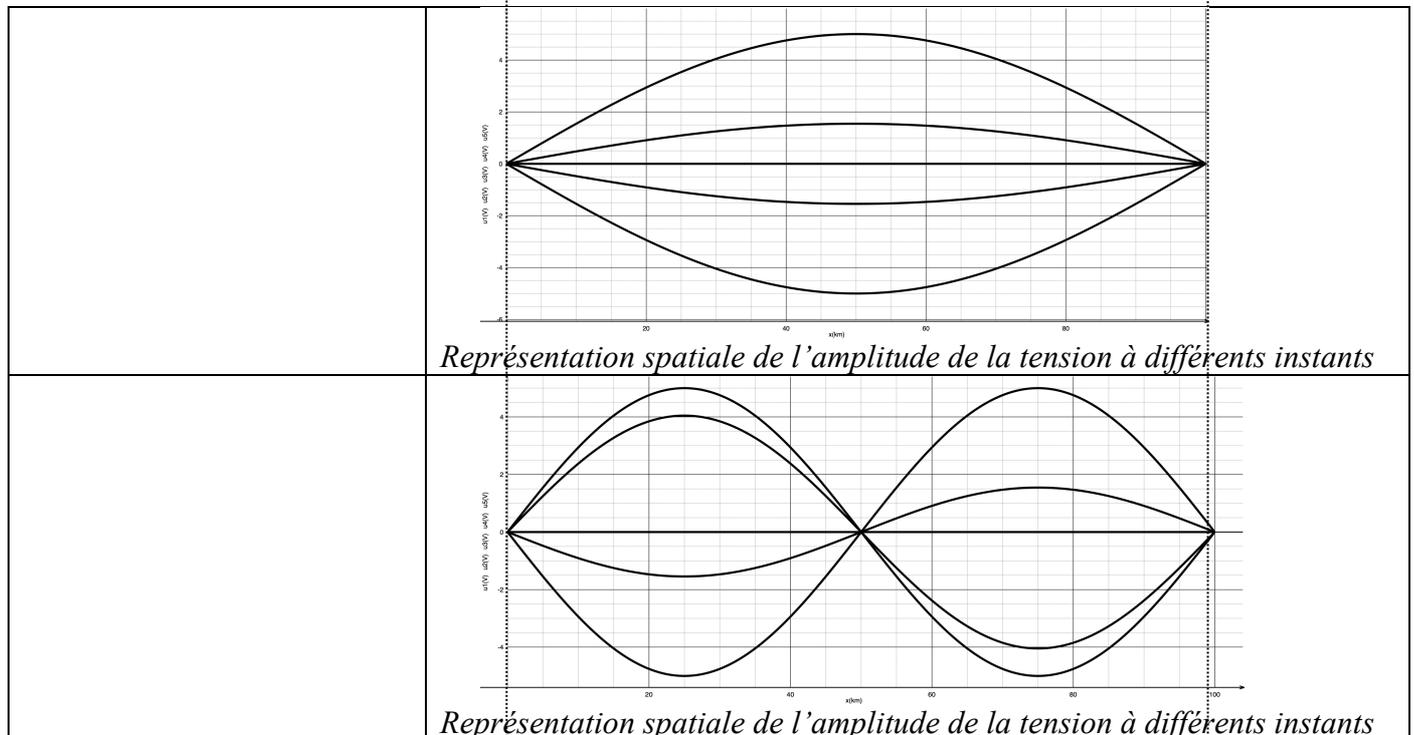
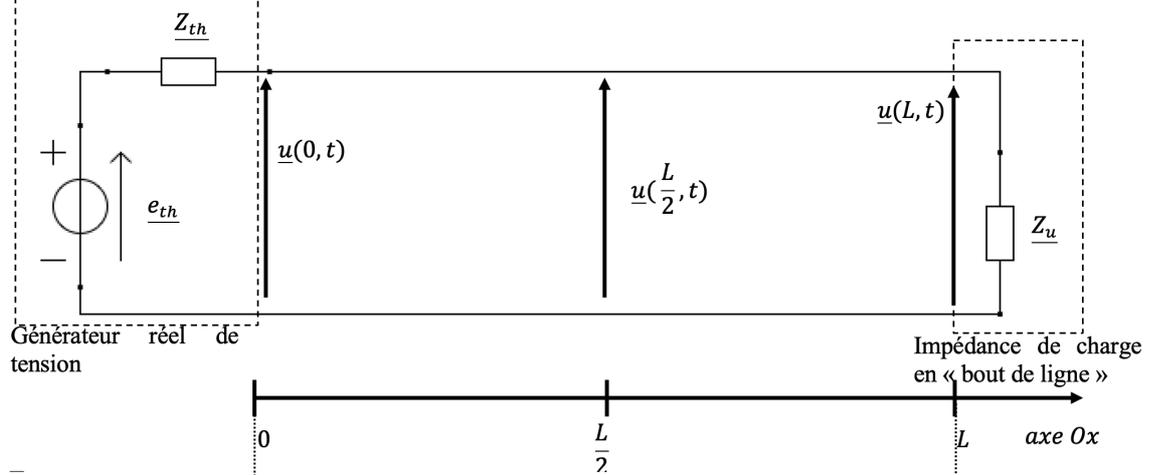
❖ Ondes stationnaires et modes propres de la ligne : premier exemple

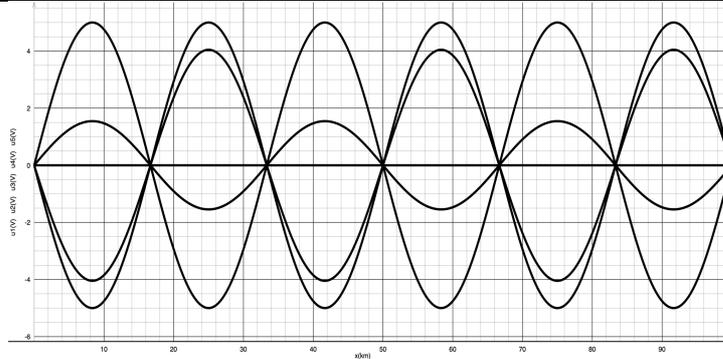
On étudie une ligne de transmission de longueur $L = 100 \text{ km}$ dont la célérité des ondes est $v = 2,0 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Sortie de ligne en court-circuit :

20. Déterminer la valeur du coefficient de réflexion en bout de ligne notée $\rho(L)$, sachant que la sortie est en court-circuit. Peut-on observer la formation d'ondes stationnaires dans ce cas ?

21. Compléter le tableau ci-après en indiquant le nombre de fuseaux observés, la formule liant la longueur d'onde et la longueur de la ligne et en calculant la fréquence du signal d'entrée :





Représentation spatiale de l'amplitude de la tension à différents instants

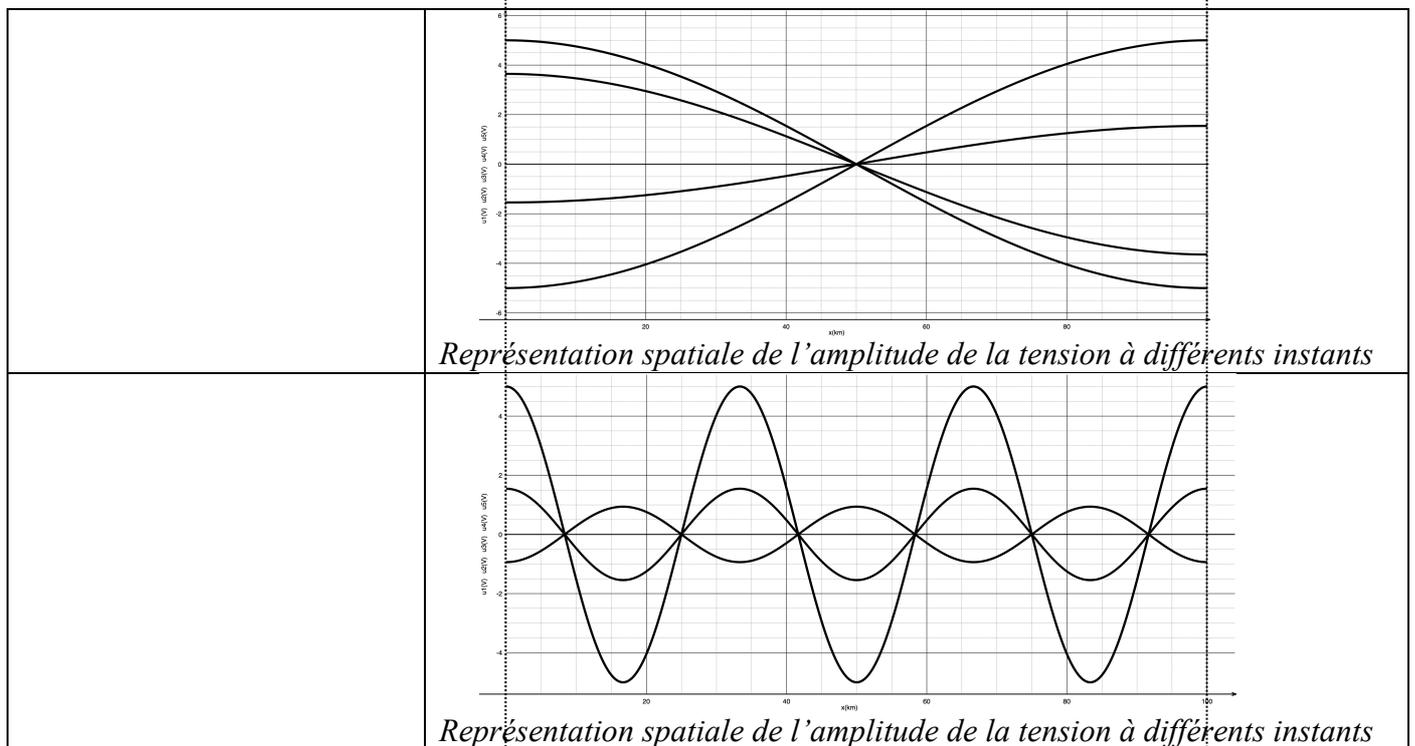
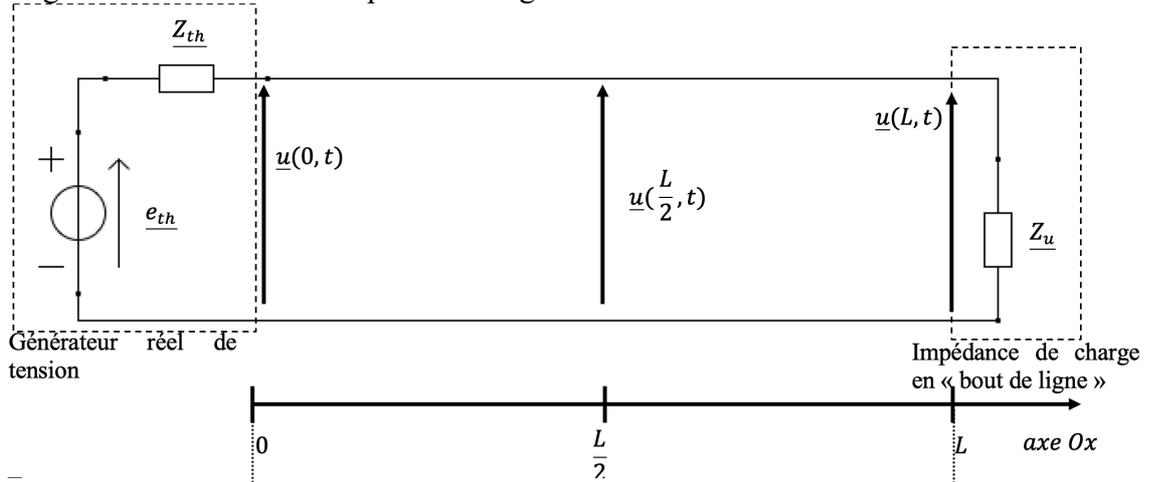
22. Comment nomme-t-on les ondes stationnaires observées pour ces fréquences du signal d'entrée ? Quelle est la formule liant les différentes fréquences des différentes OS observées ici ?

23. Pour une ligne en court-circuit (en sortie), c'est-à-dire pour $\rho(L) = -1$, observe-t-on un nœud ou un ventre à la sortie de la ligne ? Quelle est l'amplitude du signal en sortie de la ligne ?

Sortie de ligne en circuit ouvert :

24. Déterminer la valeur du coefficient de réflexion en bout de ligne notée $\rho(L)$, sachant que la sortie est à présent en circuit ouvert. Peut-on observer la formation d'ondes stationnaires dans ce cas ?

25. Compléter le tableau ci-après en indiquant le rang du mode propre, la formule liant la longueur d'onde et la longueur de la ligne et en calculant la fréquence du signal d'entrée :



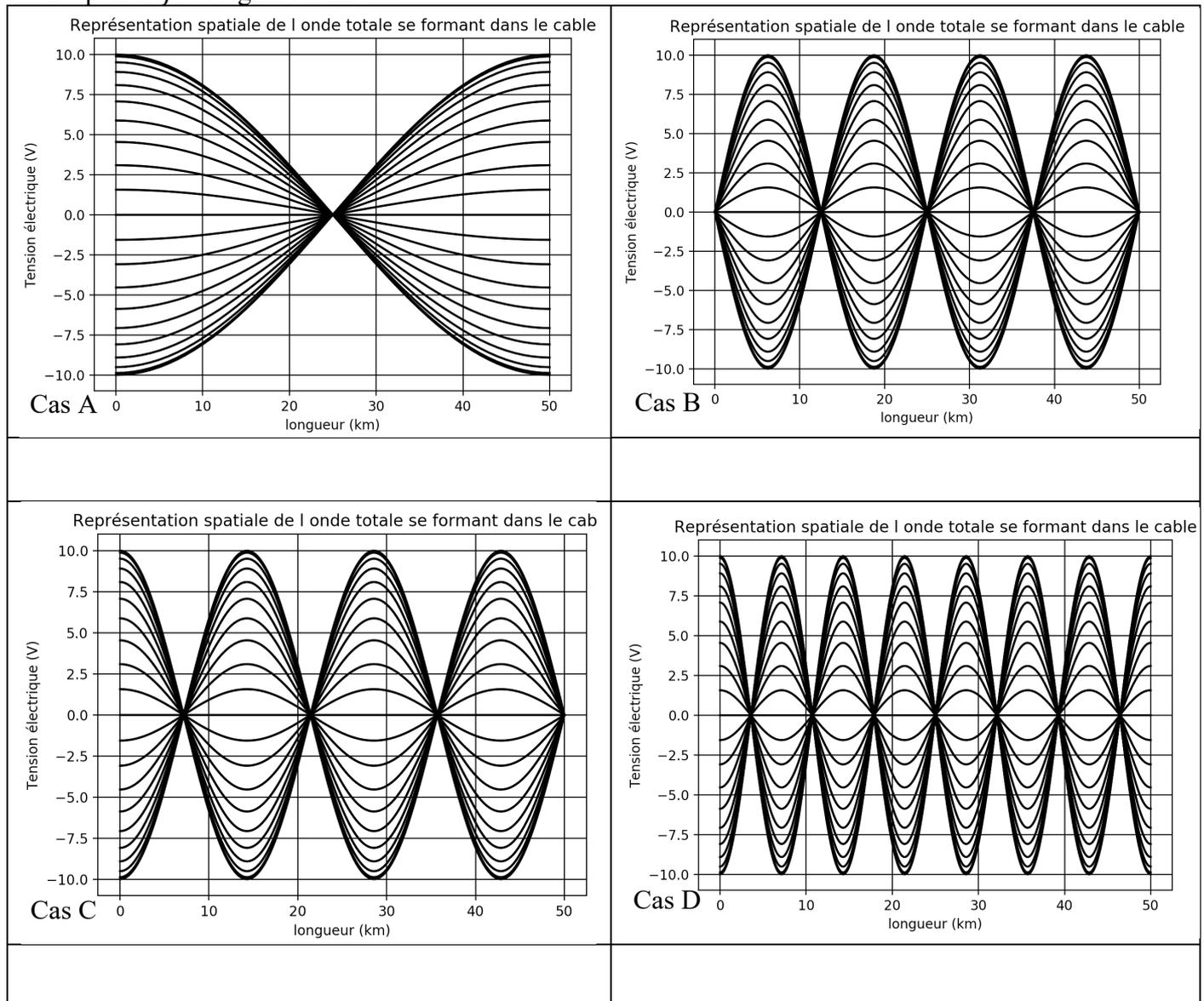
26. Pour une ligne en circuit ouvert (en sortie), c'est-à-dire pour $\rho(L) = 1$, observe-t-on un nœud ou un ventre à la sortie de la ligne ? Quelle est l'amplitude du signal en sortie de la ligne ?

❖ **Deuxième exemple :**

On étudie une ligne de transmission de longueur $L = 50,0 \text{ km}$ dont la célérité des ondes EM a pour valeur $v = 1,50 \times 10^8 \text{ m/s}$, d'amplitude en tension $5,0 \text{ V}$.

27. Calculer la valeur de la fréquence du mode propre de rang $n = 1$ de la ligne de transmission :

28. Déterminer pour les cas suivants, lorsque c'est possible, le rang du mode propre observé ainsi que la fréquence f du signal d'entrée :



29. Pour les cas précédents, déterminer la valeur du coefficient de réflexion $\rho(L)$ en bout de ligne et en déduire si le bout de ligne est en circuit ouvert ou en court-circuit.

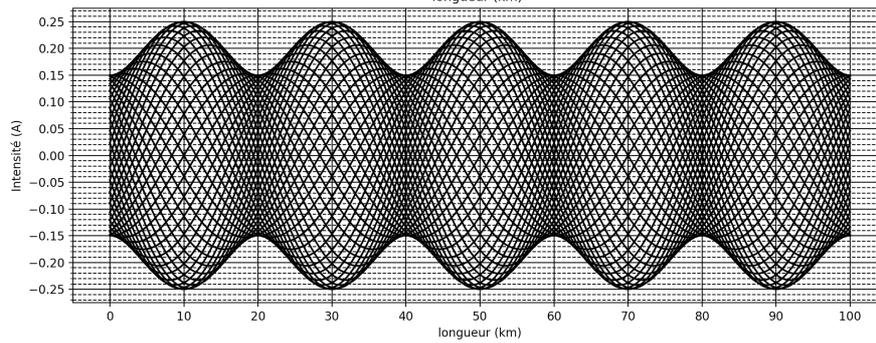
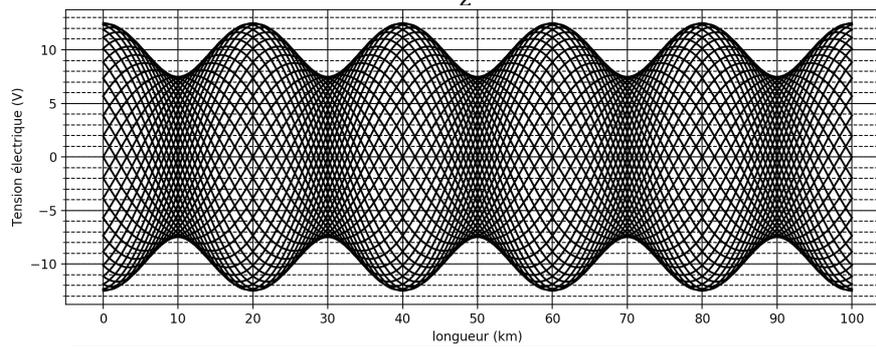
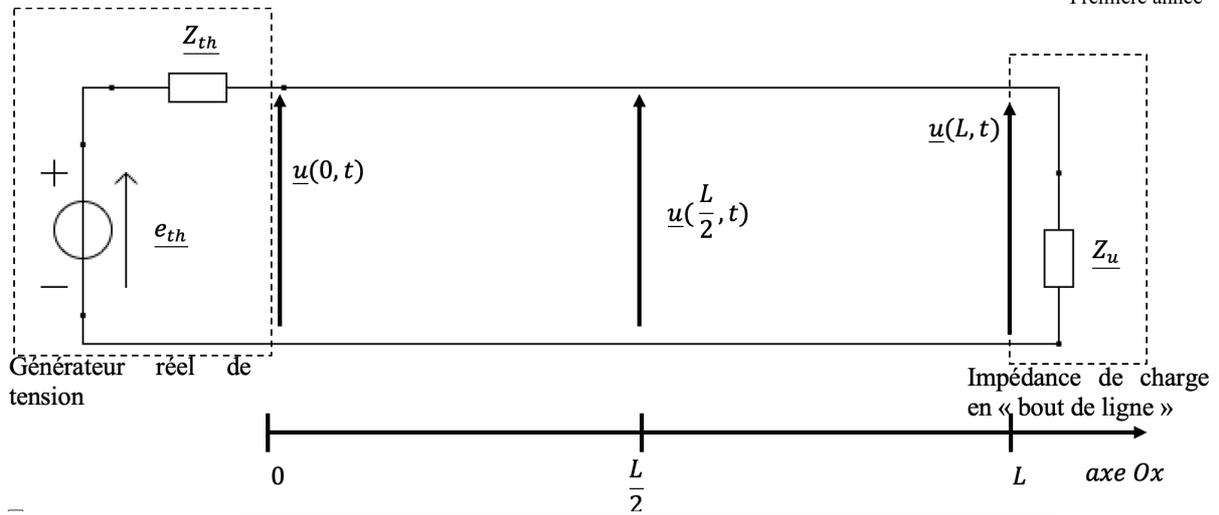
Cas A et D :

Cas B et C :

B. Situation intermédiaire : cas réel

❖ **Retour sur le premier exemple :**

On donne ci-dessous la répartition d'amplitude de la tension et de l'intensité, le long d'une ligne désadaptée. La ligne a une impédance caractéristique $Z_C = 50 \Omega$; elle est supposée sans pertes, de longueur $L = 100 \text{ km}$; la vitesse de propagation v est de $v = 2,00 \times 10^8 \text{ m/s}$. Le générateur de signaux délivre une tension sinusoïdale alternative de fréquence f et d'amplitude 10 V (il possède une impédance interne de 50Ω).



30. La ligne est-elle soumise à des ondes stationnaires dans ce cas ? Justifier.

31. L'amplitude des signaux (tension ou intensité) est-elle constante le long de la ligne ?

32. À quoi correspond un maximum de tension, pour l'intensité ?

33. Calculer le taux d'ondes stationnaires, noté *TOS* :

34. En déduire la valeur du coefficient de réflexion $|\rho(L)|$ en bout de ligne :

Les ondes ne sont donc pas stationnaires : $\rho(L) \neq +1$ et $\rho(L) \neq -1$

35. En déduire la valeur de l'impédance en bout de ligne :

36. Calculer la valeur de la fréquence propre f_1 de la ligne de transmission et en déduire la valeur de la fréquence f du signal d'entrée :

37. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ_5 :

38. Mesurer la distance entre deux minimas ou 2 maximas de tension (ou d'intensité) : conclure.

On mesure 20 km entre 2 minimas ou entre 2 maximas : *l'écart entre deux minimas ou 2 maximas successifs est donc égal à $\frac{\lambda}{2}$.*

Il faut bien souligner ici que l'on parle de minimas et de maximas d'amplitude et non plus de nœuds/ventres.