

TP 25 : Lignes de transmissions d'un signal électrique

Capacités exigibles :

- Définir le coefficient de réflexion.
- Étudier expérimentalement la transmission d'une onde sinusoïdale dans le cas d'une charge nulle, infinie ou adaptée.

Consignes : à lire attentivement afin de ne pas perdre du temps inutilement

Vous devez rédiger l'ensemble de vos réponses en utilisant un stylo bleu ou noir. Vous devez indiquer le nom de votre binôme sur votre copie. Une copie par étudiant est demandée.

Il faut tirer un trait horizontal sur votre copie à chaque appel.

Lorsque vous arrivez à un appel, vous devez m'envoyer par mail une photo (lisible) ou un scan de votre feuille correspondant à l'appel (un envoi par binôme suffit : mettre en destinataire votre binôme). Un effort est attendu côté présentation de votre copie et rédaction du plan : si votre copie est illisible, vous aurez à tout réédiger.

Si votre copie est lisible, vous recevrez en réponse à votre mail, les questions du prochain appel.

Une fois un appel réalisé, si vous avez des **réponses fausses**, vous perdez les points et **je ne vous informe pas de vos fautes** afin de vous pousser à **poser des questions avant l'envoi**, grâce à la classe virtuelle.

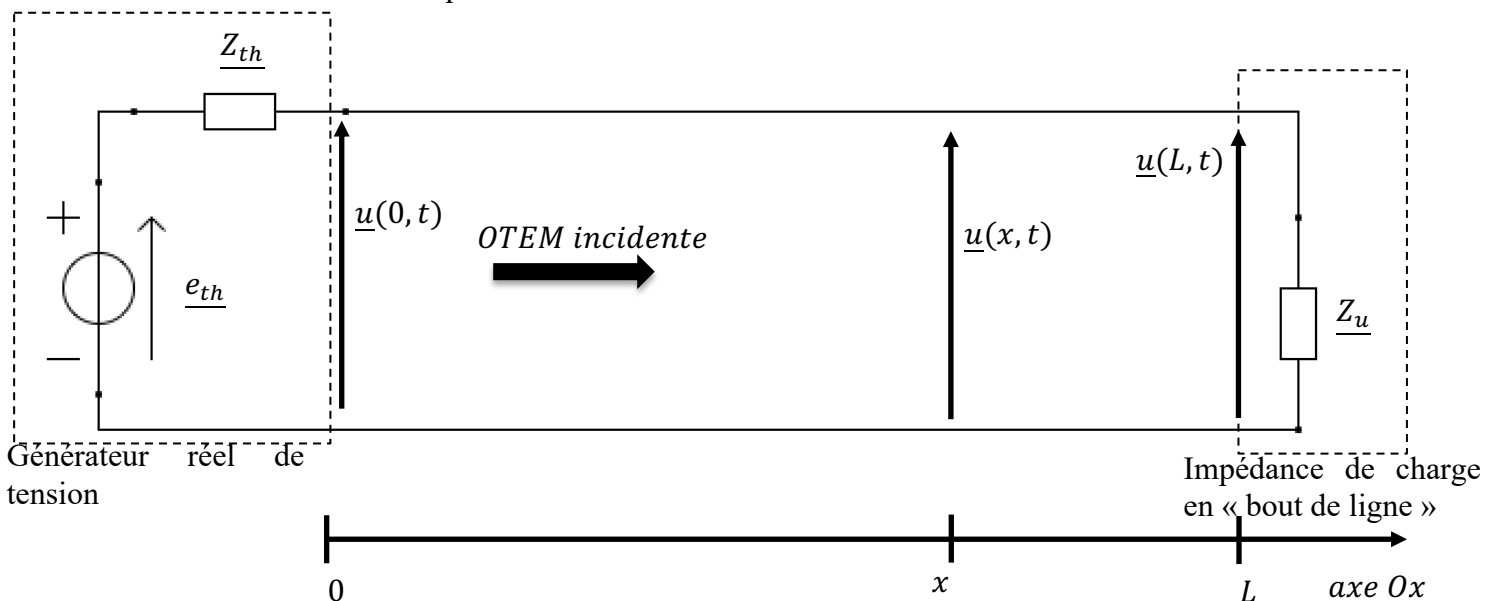
Une fois les 3 heures terminées, vous devez scanner intégralement toutes vos feuilles **numérotées** et rendre un seul fichier PDF dont le nom sera au format suivant : « TP25_NOM_PRENOM.pdf ». Une copie par étudiant est attendue dans les 10 minutes qui suivent la fin de la séance.

Situation problème :

On étudie ici la transmission d'une onde électromagnétique plane (transverse) progressive harmonique de fréquence f au sein (nommée onde incidente) d'un câble coaxial. Le câble est supposé sans pertes (pas d'amortissement de l'onde car absence de résistance interne). La permittivité relative au vide ϵ_r de l'isolant (ou diélectrique) présent dans le câble est : $\epsilon_r = 2,50$. L'impédance caractéristique du câble est $Z_C = 75 \Omega$. La longueur de ce câble est $L = 19,0 m$.

Dans ce TP, on cherche à déterminer les conditions à respecter afin que le signal en entrée du câble $\underline{u}(0, t)$ soit reçu aux bornes de la charge en bout de ligne. Le signal en sortie du câble est noté $\underline{u}(L, t)$

On modélise la situation étudiée par le schéma suivant :



I. Étude des caractéristiques du câble coaxial :

La propagation d'un signal électrique d'un point à un autre du câble (appelé « ligne de transmission ») n'est pas instantanée car elle correspond à la propagation d'une onde électromagnétique à une célérité qui dépend du milieu de propagation. On rappelle que l'on note $\underline{u}(0, t)$ le signal en entrée du câble et $\underline{u}(L, t)$ le signal en sortie du câble.

1. A l'aide de la *partie I.A du chapitre 12*, calculer la valeur théorique de la célérité v des ondes TEM dans ce câble.
2. A l'aide de l'*annexe 01 du précédent TP* et sachant que la fréquence du signal sinusoïdal alternatif en entrée du câble est $f = 15,00 \text{ MHz}$, calculer la longueur d'onde λ de l'onde se propageant dans le câble. Conclure en déterminant si l'on doit tenir compte des phénomènes de propagation dans notre étude (en justifiant votre réponse).
3. Calculer la valeur de la durée de propagation Δt d'une variation de ce signal, pour se propager de l'entrée à la sortie de ce câble. On exprimera le résultat en nanoseconde.

II. Coefficient de réflexion :

A. En bout de ligne :

4. A l'aide de l'*annexe 01 du précédent TP*, calculer la valeur du coefficient de réflexion en amplitude $\rho(L)$, en $x = L$ pour **chaque cas ci-dessous** :
 - la ligne de transmission est ouverte en bout de ligne
 - l'impédance de la charge en bout de ligne est $Z_u = 75 \Omega$
 - la ligne est court-circuitée en bout de ligne
5. Parmi les 3 cas cités ci-dessus, donner celui ou ceux permettant d'aboutir à l'apparition d'ondes stationnaires dans le câble.
6. Parmi les 3 cas cités ci-dessus, donner celui ou ceux permettant d'obtenir une adaptation d'impédance (on parle aussi de « ligne adaptée »).

APPEL 1 : envoi à réaliser.

B. En début de ligne :

Une fois créée, l'onde réfléchie se propage du bout de ligne $x = L$ au début de ligne $x = 0$. L'impédance du générateur Z_{th} vaut 75Ω .

7. A l'aide de l'*annexe 01 du précédent TP*, calculer la valeur du coefficient de réflexion en amplitude $\rho(0)$, en $x = 0$.
8. L'onde réfléchie est-elle à son tour, réfléchie en début de ligne ? reçue par l'impédance interne du générateur ?

Le câble coaxial peut donc être modélisé comme un **milieu infini**, avec des ondes qui se réfléchissent uniquement en bout de ligne.

9. La valeur du coefficient de réflexion est-elle la seule condition à respecter afin d'observer l'apparition d'ondes stationnaires dans le câble ? Si non, on citera l'autre condition.

APPEL 2 : envoi à réaliser.

III. Étude de la réponse fréquentielle dans des cas « extrêmes » :

A. Circuit ouvert en bout de ligne :

On rappelle que si la ligne de transmission est ouverte en bout de ligne, le coefficient de réflexion en amplitude $\rho(L)$ vaut $\rho(L) = +1$.

La fréquence du signal sinusoïdal alternatif en entrée du câble est $f = 5,00 \text{ MHz}$, d'amplitude $E = 0,500 \text{ V}$

On donne en annexe 01, la représentation temporelle du signal d'entrée $u(0, t)$ et du signal de sortie $u(L, t)$.

10. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(0, t)$.

11. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(L, t)$.

12. Comment expliquer que le signal $u(L, t)$ en bout de ligne ait une amplitude double (par rapport au signal émis) à partir de l'instant $t = 100 \text{ ns}$?

13. Comment expliquer qu'après la durée $\Delta t' = 200 \text{ ns}$, (durée d'un aller-retour), le signal $u(0, t)$ le signal $u(0, t)$ voit son amplitude doublée ?

14. Le signal émis est-il transmis à l'identique en bout de ligne dans ce cas ?

15. Calculer la valeur du TOS : a-t-on une onde progressive ici ?

16. Les deux extrémités $x = 0$ (entrée) et $x = L$ (sortie) de la ligne correspondent-elles à des nœuds ou à des ventres de vibrations ?

APPEL 3 : envoi à réaliser.

Télécharger puis installer PYZO sur votre ordinateur disponible à cette adresse :

<https://pyzo.org/start.html>

Télécharger puis installer l'environnement PYTHON (3.8) nommé Anaconda à cette adresse :

<https://www.anaconda.com/distribution/>

Ouvrir ensuite le logiciel PYZO (version 3.8 de Python). Ouvrir le fichier nommé « TP25_ligne_reponse_frequentielle.py ». Ce script permet de tracer l'onde incidente et l'onde réfléchie (une fois le régime transitoire passé) ainsi que l'onde totale apparaissant dans la ligne (résultant de la somme de ces deux ondes).

Ce script est incomplet : il faut compléter les lignes 9 à 12. Puis lancer l'exécution du code.

Partage d'écran à réaliser.

17. Retrouvez-vous votre réponse à la question précédente grâce à la simulation Python ?

18. En quel point (on donnera la valeur en abscisses) a-t-on une tension électrique nulle, quel que soit l'instant ? Comment nomme-t-on ce type de point ?

19. A l'aide du nombre de fuseaux présents sur la ligne, déterminer l'ordre n et la fréquence f_n du mode propre observé ici.

20. Déterminer la fréquence f_4 du signal d'entrée permettant d'observer le mode propre de rang 4 sur la ligne.

Entrer cette valeur de fréquence dans le script, puis lancer son exécution. Faire une capture d'écran du graphe obtenu et l'inclure dans votre copie.

Partage d'écran à réaliser.

21. Déterminer précisément les abscisses des nœuds de vibration.

APPEL 4 : envoi à réaliser.

22. La fréquence $f = 7,50 \text{ MHz}$ correspond-elle à la fréquence d'un mode propre d'ordre n du câble ? Si oui, indiquer l'ordre n de ce mode.

Entrer cette valeur de fréquence dans le script, puis lancer son exécution. Faire une capture d'écran du graphe obtenu et l'inclure dans votre copie.

Partage d'écran à réaliser.

23. Déterminer graphiquement le nombre de fuseaux présents sur la ligne. Est-ce un nombre entier ? Observet-on un mode propre ?
24. Obtient-on une onde progressive ou stationnaire ici ? Justifier votre réponse.
25. Déterminer précisément les abscisses des nœuds de vibration,

Conclure en répondant à ces deux questions :

26. La valeur de la fréquence f du signal d'entrée doit-elle être un multiple entier de la fréquence propre $f_1 = 5,00 \text{ MHz}$ du câble afin d'obtenir des ondes stationnaires ?
27. Le câble est-il ici un milieu de propagation fini ou infini ? Justifier votre réponse en vous servant des conditions de création des ondes stationnaires.

APPEL 5 : envoi à réaliser.

B. Court-circuit en bout de ligne :

On rappelle que si la ligne de transmission est ouverte en bout de ligne, le coefficient de réflexion en amplitude $\rho(L)$ vaut $\rho(L) = -1$.

La fréquence du signal sinusoïdal alternatif en entrée du câble est $f = 5,00 \text{ MHz}$, d'amplitude $E = 0,500 \text{ V}$. On donne en annexe 02, la représentation temporelle du signal d'entrée $u(0, t)$ et du signal de sortie $u(L, t)$.

28. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(0, t)$.
29. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(L, t)$.
30. Comment expliquer qu'après la durée $\Delta t' = 200 \text{ ns}$, (durée d'un aller-retour), le signal $u(0, t)$ devienne nul ?
31. Comment expliquer que le signal $u(L, t)$ en bout de ligne soit nul à partir de l'instant $t = 100 \text{ ns}$?
32. Le signal émis est-il transmis en bout de ligne dans ce cas ?
33. Calculer la valeur du TOS : a-t-on une onde progressive ici ?
34. Les deux extrémités $x = 0$ (entrée) et $x = L$ (sortie) de la ligne correspondent-elles à des nœuds ou à des ventres de vibrations ?

Paramétrer le script Python précédent afin de simuler la situation étudiée dans ce paragraphe. Lancer l'exécution. Faire une capture d'écran du graphe obtenu et l'inclure dans votre copie.

Partage d'écran à réaliser.

35. Retrouvez-vous votre réponse à la question précédente grâce à la simulation Python ?
36. En quel point (on donnera la valeur en abscisses) a-t-on une tension électrique d'amplitude maximale, quel que soit l'instant ? Comment nomme-t-on ce type de point ?
37. En comparant le graphe obtenu ici à celui obtenu avant la question 17, citer la différence observée entre le mode propre de rang 1 pour un coefficient de réflexion $\rho(L) = +1$ et le mode propre de rang 1 pour un coefficient de réflexion $\rho(L) = -1$.

APPEL 6 : envoi à réaliser.

IV. Étude de la réponse fréquentielle dans des cas moins « extrêmes » :

A. $Z_u = 25 \Omega$

La fréquence du signal sinusoïdal alternatif en entrée du câble est $f = 15,0 \text{ MHz}$, d'amplitude $E = 1,000 \text{ V}$. L'impédance de la charge en bout de ligne vaut maintenant $Z_u = 25 \Omega$.

38. Quel serait le rang du mode propre observé ici si les ondes étaient stationnaires ? Justifier.
39. A l'aide de la *partie I.E du chapitre 12*, calculer la valeur du coefficient de réflexion en amplitude $\rho(L)$, en $x = L$.
40. Calculer la valeur du *TOS* : a-t-on formations d'ondes purement progressives ici ?

Paramétrer le script Python précédent afin de simuler la situation étudiée dans ce paragraphe. Lancer l'exécution. Faire une capture d'écran du graphe obtenu et l'inclure dans votre copie.

Partage d'écran à réaliser.

41. L'onde totale présente-elle des nœuds ? des ventres de vibrations ?
42. Déterminer graphiquement la valeur de $U_{m,max}$, amplitude maximale de l'onde et la valeur de $U_{m,min}$, amplitude minimale de l'onde.
43. Calculer $\frac{U_{m,max}}{U_{m,min}}$: quelle valeur de grandeur retrouve-t-on ?

APPEL 7 : envoi à réaliser.

B. $Z_u = 75 \Omega$: ligne adaptée

La fréquence du signal sinusoïdal alternatif en entrée du câble est $f = 5,00 \text{ MHz}$, d'amplitude $E = 0,500 \text{ V}$. L'impédance de la charge en bout de ligne vaut maintenant $Z_u = 75 \Omega$. On rappelle que si la ligne de transmission est adaptée, le coefficient de réflexion en amplitude $\rho(L)$ vaut $\rho(L) = 0$. On donne en annexe 03, la représentation temporelle du signal d'entrée $u(0, t)$ et du signal de sortie $u(L, t)$.

44. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(0, t)$.
45. Sur votre copie, indiquer la couleur correspondant au signal $u(L, t)$.
46. Mesurer le décalage temporel entre les signaux : à quoi correspond-il ?
47. Le signal émis est-il transmis en bout de ligne, dans le cas de la ligne adaptée ?
48. Calculer la valeur du *TOS* : a-t-on formations d'ondes purement progressives ici ?

Paramétrer le script Python précédent afin de simuler la situation étudiée dans ce paragraphe. Lancer l'exécution. Faire une capture d'écran du graphe obtenu et l'inclure dans votre copie.

Partage d'écran à réaliser.

49. L'onde totale présente-elle des nœuds ? des ventres de vibrations ?
50. Que dire de l'amplitude du signal le long du câble électrique ?

Conclusion :

Choisir puis copier sur votre feuille, la proposition permettant d'obtenir la transmission d'un signal le long d'un câble :

- Le coefficient de réflexion en amplitude en bout de ligne doit-être proche de 1
- Le coefficient de réflexion en amplitude en bout de ligne doit-être proche de -1
- Le coefficient de réflexion en amplitude en bout de ligne doit-être proche de 0

APPEL 8 : envoi à réaliser.