

TP 22 : Lignes de transmissions d'un signal électrique

Capacités exigibles :

- Savoir définir l'impédance caractéristique d'une ligne comme étant l'impédance à placer en bout de ligne permettant de l'adapter
- Savoir identifier à partir d'un chronogramme du signal en entrée de la ligne, si elle est adaptée, en court-circuit ou circuit ouvert
- Savoir localiser un défaut ou déterminer la longueur d'une ligne de transmission à partir d'un chronogramme du signal en entrée d'une ligne non adaptée

Capacités expérimentales :

- Proposer et réaliser un protocole pour déterminer les caractéristiques d'une ligne de transmission (impédance caractéristique, coefficient de vélocité et atténuation linéique)

Travail préparatoire (à faire à la maison) :

Compléter l'annexe 01 du TP22.

APPEL 0 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

Situation problème :

Vous êtes un grand technicien (aussi connu chez les techniciens que Jul est connu chez les marseillais) : vous êtes chargé de réaliser le câblage en utilisant le câble cat 6A LSOH de chez Legrand, entre un serveur et une carte réseau. Vous utilisez un câble F-UTP de référence 0 327 78.

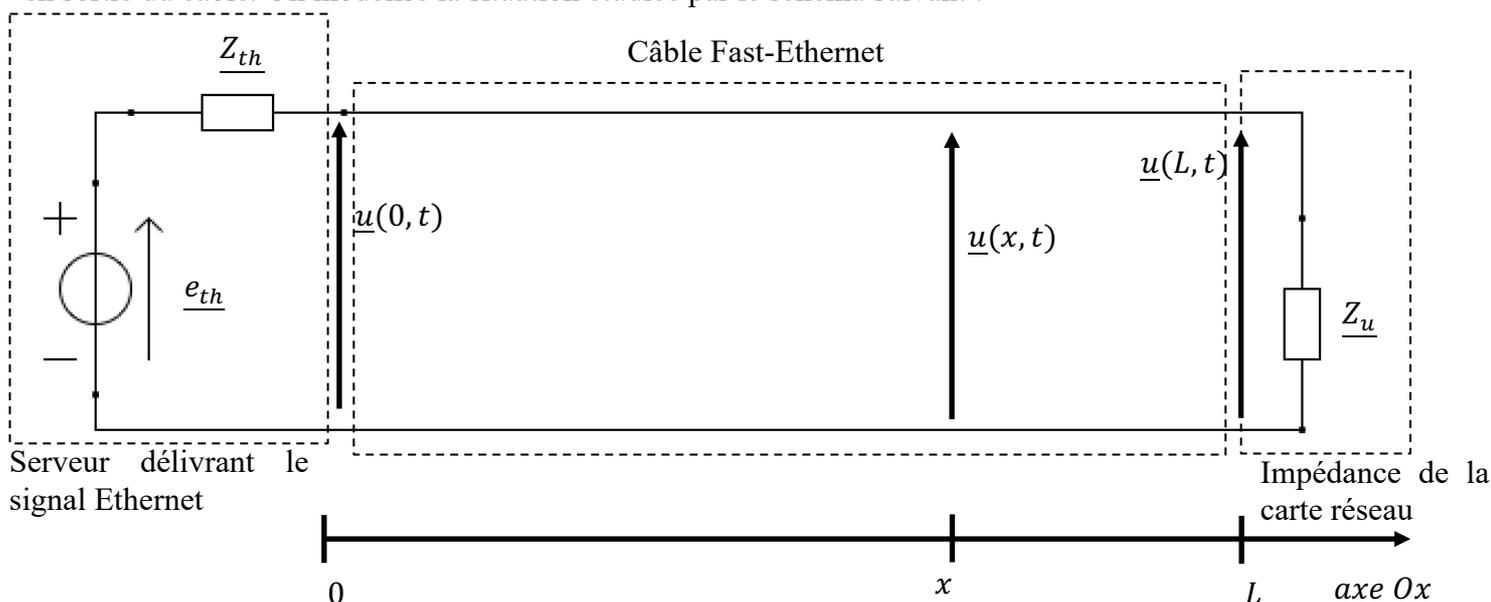
Vous devez tirer $L = 21,0 \text{ m}$ de câble. La fiche technique de ce câble fast-ETHERNET est fournie sur le site habituel. Vous avez le choix entre plusieurs cartes réseaux :

- La carte réseau A dont l'impédance d'entrée est de $0,001 \Omega$
- La carte réseau B dont l'impédance d'entrée est de 100Ω
- La carte réseau C dont l'impédance d'entrée est de $10 \text{ M}\Omega$

Le but de ce TP est de trouver quelle carte réseau utiliser ici (et de devenir par conséquent plus connu que Jul).

I. Étude des caractéristiques du câble fast-ETHERNET :

La propagation d'un signal électrique d'un point à un autre du câble fast-ETHERNET (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 note $\underline{u}(0, t)$ le signal en entrée du câble et $\underline{u}(L, t)$ le signal en sortie du câble. On modélise la situation étudiée par le schéma suivant :



1. A l'aide de la *partie I.A du chapitre 12* et de la fiche technique, déterminer le type de ligne de transmission utilisée ici (câble coaxial ou paire torsadée).
2. A l'aide de la *fiche technique*, relever la valeur et l'unité de l'impédance caractéristique de la ligne Z_C donnée par le constructeur.

On considère que l'isolant entre les fils est un **isolant électrique autre**. On donne la permittivité relative au vide ϵ_r de l'isolant (ou diélectrique) présent dans le câble :

$$\epsilon_r = 3,17$$

3. A l'aide de l'introduction du paragraphe *II du chapitre 12*, calculer la valeur théorique de la célérité v des ondes TEM dans ce câble.
4. En déduire la longueur d'onde λ sachant que la fréquence du signal est $f = 100 \text{ MHz}$, dans ce câble. Conclure en déterminant si l'on doit tenir compte des phénomènes de propagation dans notre étude (en justifiant votre réponse).
5. A l'aide la fiche technique, calculer la résistance R d'une longueur $L = 21,0 \text{ m}$ d'une paire de fils torsadée : peut-on négliger ici les pertes dues à cette résistance ?
6. 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.

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

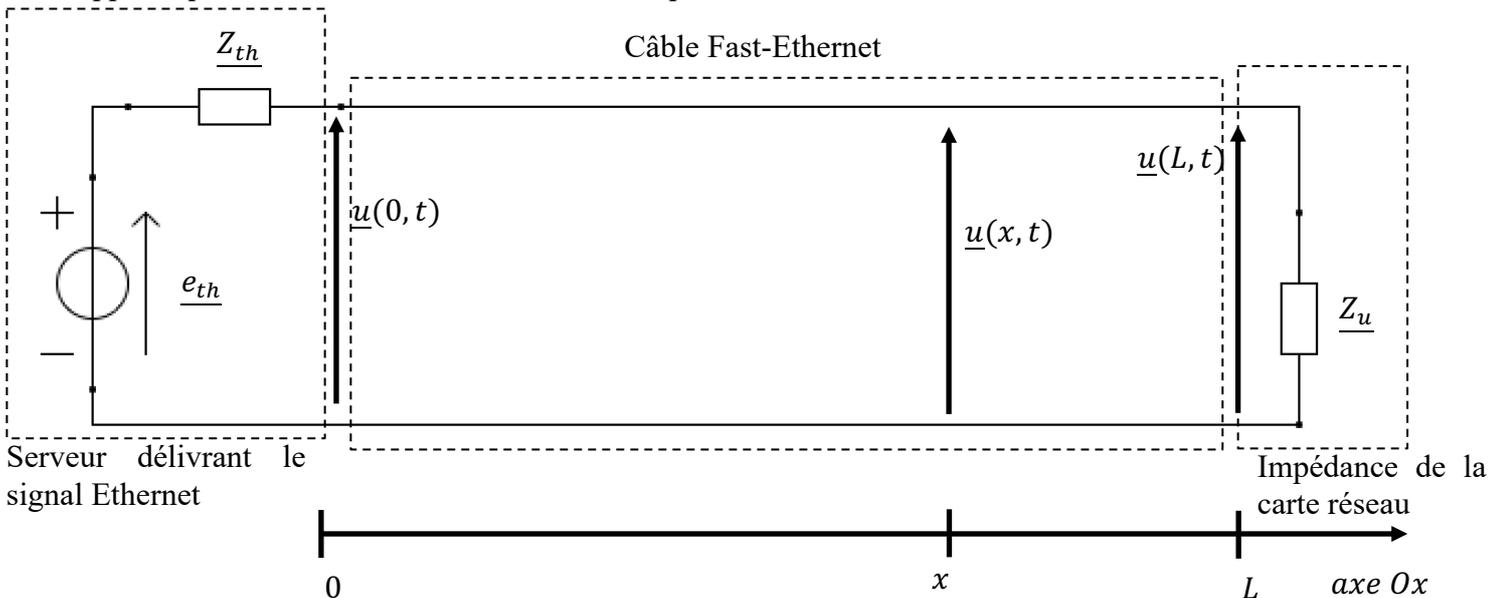
II. Coefficient de réflexion en bout de ligne :

La propagation d'un signal (modélisé ici par une onde) dans un câble (nommé aussi « ligne de transmission ») s'accompagne parfois d'un phénomène de réflexion.

Il y a réflexion chaque fois que l'onde rencontre une « rupture » du milieu de propagation : par exemple, lorsque l'onde arrive sur une « charge » placée à l'extrémité du câble ou de la ligne.

Une partie de la puissance incidente est réfléchiée et retourne vers le générateur, l'autre étant transmise à la charge.

On rappelle que l'on modélise la situation étudiée par le schéma suivant :



Rappels :

Le câble ETHERNET a une impédance caractéristique de $Z_c = 100 \Omega$. Le technicien a le choix entre plusieurs cartes réseaux :

- La carte réseau A dont l'impédance d'entrée est de 0Ω
- La carte réseau B dont l'impédance d'entrée est de 100Ω
- La carte réseau C dont l'impédance d'entrée est de $10 M\Omega$

7. A l'aide de votre travail préparatoire sur l'annexe 01, calculer la valeur du coefficient de réflexion $\rho(L)$, en $x = L$ pour **chaque carte réseau**.

APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

Rappels pour la poursuite du TP :

Le câble ETHERNET a une impédance caractéristique de $Z_c = 100 \Omega$, une longueur $L = 21,0 m$. Une perturbation électromagnétique met $\Delta t = 125 ns$ à parcourir cette longueur L .

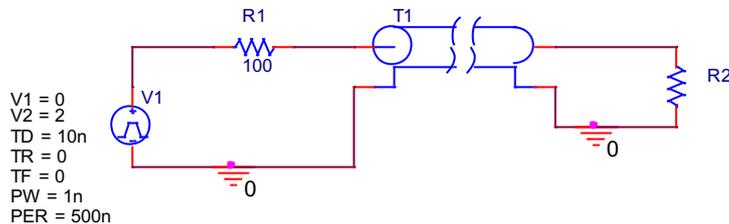
III. Étude de la réponse impulsionnelle du système pour les 3 cartes réseaux :

Pour l'ensemble du *paragraphe III de ce TP*, le signal en entrée du câble ETHERNET est une **impulsion électrique, émise à l'instant $t = 10 ns$ et de hauteur $E = 1,0 V$** .

A. Carte réseau A :

Utiliser la fiche méthode expérimentale 04 (concernant le logiciel Orcad 17) pour la suite du TP. Ne pas l'utiliser serait une grosse erreur (aussi grosse que Jul faisant un duo avec Mireille Mathieu).

Ouvrir Capture CIS Lite (dossier Cadence Release 17 puis Orcad CIS Lite) puis créer le système suivant à l'aide des consignes situées après le système.



Les éléments constituant le système sont disponibles sous l'icône , sous les noms suivants (à taper dans le champ « Part ») :

- la source « V1 » est nommée VPULSE : double cliquer sur V1, V2 etc pour saisir les valeurs souhaitées
- la ligne de transmission est nommée T
- les conducteurs ohmiques sont nommés R : double cliquer sur la valeur affichée par défaut (1k) pour y entrer la valeur souhaitée.

Si en saisissant les noms dans le champ « Part », rien ne s'affiche dans le champ « Part List », appelez l'enseignant en disant « Monsieur, svp, je veux devenir aussi talentueux que Jul ». Il viendra vous secourir.

A l'aide d'un clic droit sur l'élément placé, vous pouvez faire tourner un élément d'un angle de 90° à l'aide de la fonction « Rotate ».

Utiliser la fonction Zoom pour placer les fils de connexion disponibles sous l'icône 

Sous l'icône , vous trouverez la masse se nommant « 0/CAPSYM » (à placer en dernier)

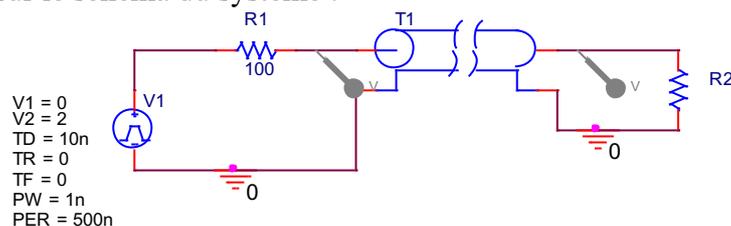
Le serveur délivrant le signal Ethernet est simulé par la source VPULSE en série avec l'impédance R_1 .

Le câble Fast-Ethernet est simulé par la ligne de transmission T.
La carte réseau est simulée par son impédance d'entrée R_2 .

Il faut maintenant paramétrer les grandeurs caractéristiques du câble Ethernet. Pour cela, double cliquer sur la ligne T : un tableau apparaît. Dans la colonne Z0 (case grisée en bout de tableau, sur la droite), entrer la valeur de l'impédance caractéristique du câble (100Ω). Faire de même avec la grandeur TD (durée de propagation) à $125ns$.

Créer un profil de simulation en cliquant sur  : donner un nom à votre simulation. Une fenêtre permettant de paramétrer la simulation va s'ouvrir (cela peut prendre plus de temps qu'un étudiant de première année pour convertir $1,25 \times 10^{-7}s$ en $125 ns$). Une fois ouverte, choisir comme type de simulation « Time Domain » avec Run to Time à $400ns$ et Maximum Step Size sur $0.01ns$. Cliquer sur OK.

Placer deux sondes  sur le schéma du système :



La sonde de gauche permet d'obtenir le signal en début de ligne, noté $u(0, t)$.
La sonde de droite permet d'obtenir le signal en bout de ligne, noté $u(L, t)$.

Enfin, pour donner à R_2 la valeur souhaitée pour simuler la carte A (c'est-à-dire 0Ω), supprimer la résistance R_2 et la remplacer par un simple fil de connexion.

Lancer la simulation à l'aide de l'icône  : on obtient alors sur un même graphe, la représentation temporelle de $u(0, t)$ et $u(L, t)$.

On souhaite obtenir une représentation temporelle **par signal** :

- clic droit puis ADD PLOT, deux fois
- sur le premier graphe vierge, clic droit puis ADD TRACE et sélectionner le nom du signal correspondant à $u(0, t)$ (le nom apparaît en bas à gauche du premier graphe obtenu – s'aider des couleurs)
- sur le deuxième graphe vierge, clic droit puis ADD TRACE et sélectionner le nom du signal correspondant à $u(L, t)$ (le nom apparaît en bas à gauche du premier graphe obtenu – s'aider des couleurs)
- sur le graphe contenant les deux signaux, clic droit puis DELETE PLOT.

Sur chaque courbe, faites un clic droit puis sélectionner « Trace Property » : changer l'épaisseur du trait grâce à « width » (sélectionner la deuxième épaisseur).

Vous devez alors avoir sur votre écran, une représentation temporelle pour le signal en début de ligne et une pour le signal en bout de ligne.

Copier-coller le graphe (Window/Copy to clipboard et cocher « change all colors to black ») dans un fichier Word vierge. Étaler le graphe au maximum, sur une page au format paysage (Disposition/Orientation) et nommer le graphe « Réponse impulsionnelle pour la carte A ».

APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

Imprimer le document Word.

8. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(0, t)$.
9. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(L, t)$.
10. Sur votre impression, indiquer quelle impulsion correspond à l'impulsion émise.
11. Sur votre impression, indiquer quelle impulsion correspond à l'impulsion réfléchie.
12. A quel instant t devrait apparaître l'impulsion reçue en sortie du câble ?
13. L'impulsion émise a-t-elle été reçue ?
14. Comment expliquer que le signal $u(L, t)$ en bout de ligne soit nul à l'instant $t = 135 \text{ ns}$? On s'aidera du coefficient de réflexion $\rho(L)$, calculé en question 10 pour la carte A.
15. Déterminer graphiquement la valeur de la durée $\Delta t'$, séparant les deux impulsions.
16. Cette durée $\Delta t'$ correspond-elle à la durée de propagation $\Delta t = 125 \text{ ns}$ (pour un aller simple le long du câble) calculée précédemment ?
17. A partir de $\Delta t'$, calculer la célérité v des ondes dans le câble.
18. La comparer à la valeur obtenue à la question 3.

APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

B. Carte réseau B :

Donner à R_2 la valeur souhaitée pour simuler la carte B.

Lancer la simulation pour obtenir la représentation temporelle de $u(0, t)$ et $u(L, t)$.

Comme précédemment, effectuer le nécessaire pour avoir sur votre écran, une représentation temporelle pour le signal en début de ligne et une pour le signal en bout de ligne.

Copier-coller les graphes (Window/Copy to clipboard et cocher « change all colors to black ») dans un fichier Word vierge. Étaler le graphe sur une page au format paysage et nommer le graphe « Réponse impulsionnelle pour la carte B ».

APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

Imprimer le document Word.

19. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(0, t)$.
20. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(L, t)$.
21. Attribuer l'adjectif qualificatif correct, à l'impulsion présente sur le signal $u(0, t)$: émise, réfléchie ou reçue.
22. Attribuer l'adjectif qualificatif correct, à l'impulsion présente sur le signal $u(L, t)$: émise, réfléchie ou reçue.
23. L'impulsion émise a-t-elle été reçue à l'identique ?
24. A quel instant t (sur le signal d'entrée) devrait apparaître l'impulsion réfléchie (créée en bout de ligne) ? Est-ce le cas ici ?
25. Comment expliquer l'absence d'impulsion réfléchie ? On s'aidera du coefficient de réflexion $\rho(L)$, calculé en question 10 pour la carte B.
26. Déterminer graphiquement la valeur de la durée $\Delta t''$, séparant les deux impulsions.
27. Cette durée $\Delta t''$ correspond-elle à la durée de propagation $\Delta t = 125 \text{ ns}$ (pour un aller simple le long du câble) calculée précédemment ?
28. A partir de $\Delta t''$, calculer la célérité v des ondes dans le câble.
29. La comparer à la valeur obtenue à la question 3.

APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

C. Carte réseau C :

Donner à R_2 la valeur souhaitée pour simuler la carte C.

Lancer la simulation pour obtenir la représentation temporelle de $u(0, t)$ et $u(L, t)$.

Comme précédemment, effectuer le nécessaire pour avoir sur votre écran, une représentation temporelle pour le signal en début de ligne et une pour le signal en bout de ligne.

Copier-coller le graphe (Window/Copy to clipboard et cocher « change all colors to black ») dans un fichier Word vierge. Étaler le graphe sur une page au format paysage et nommer le graphe « Réponse impulsionnelle pour la carte C ».

APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

Imprimer le document Word.

30. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(0, t)$.

31. Sur votre impression, indiquer le graphe correspondant au signal $u(L, t)$.

32. Sur votre impression, attribuer l'adjectif qualificatif correct, pour chacune des impulsions présentes dans les deux signaux : émise, réfléchie ou reçue.

33. Quel signal contient l'impulsion émise ?

34. Quel signal contient l'impulsion réfléchie ?

35. Quel signal contient l'impulsion reçue ?

36. L'impulsion émise a-t-elle été reçue à l'identique ?

37. Comment expliquer votre réponse à la question précédente ? On s'aidera du coefficient de réflexion $\rho(L)$, calculé en question 10 pour la carte C.

38. Entre quelles impulsions mesure-t-on la durée Δt ?

39. Entre quelles impulsions mesure-t-on la durée $\Delta t'$?

Conclusion :

40. Quelle carte permet d'obtenir une adaptation d'impédance avec le câble ETHERNET ?

41. A l'aide de l'ensemble de vos simulations, choisir la carte réseau que le technicien doit utiliser afin d'assurer la transmission du signal entre le serveur et la carte réseau. Justifier votre réponse.

APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.

D. Un pirate empêche la transmission du signal :

Vous voilà enfin connu et reconnu : Jul n'a qu'à bien se tenir. Vous savez quelle carte réseau utiliser avec le câble Ethernet. Un pirate informatique (un technicien frustré, dont le pseudo est ABRUGR) vient malheureusement contrecarrer vos plans. Il a dégradé le câble Ethernet présent entre le serveur et la carte que vous avez sélectionné (avec tellement de brio).

42. A l'aide de l'annexe 02, déterminer la valeur du coefficient de réflexion $\rho(D)$ pour chaque situation présentée.

43. Pour chaque situation, déterminer la nature du défaut (court-circuit ou circuit ouvert) créé par le pirate en justifiant votre réponse.

44. Pour chaque situation, déterminer la distance D séparant le serveur et le défaut.

45. L'impédance caractéristique du câble étant toujours de $Z_C = 100 \Omega$, déterminer la valeur de l'impédance du défaut pour chaque cas de l'annexe 02.

APPEL 9 : Appeler le professeur afin qu'il note et valide votre travail.