

Saé 13 - Découvrir un dispositif de transmission

Le câble coaxial

UCA/IUT/BUT 1

Compte-rendu

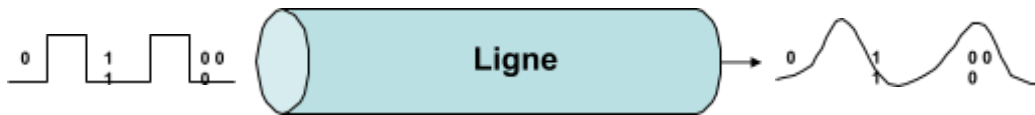


FIGURE 1 – Transmission filaire d'un signal numérique.

Le but de cette saé est d'étudier théoriquement puis en pratique les caractéristiques du câble coaxial, support de propagation de signaux numériques. Ce document est donc à compléter au fur et à mesure.

1 Caractéristiques (étude sur documents via internet, bibliothèque) (temps estimé : 6h)

1.1 Historique

Replacer le câble coaxial dans l'histoire, inventeur, première utilisation, etc ...

Le câble coaxial a été inventé en 1880 par Oliver Heaviside pour résoudre les problèmes d'interférences et de pertes dans les lignes télégraphiques. Il a été utilisé pour la première fois à grande échelle dans les réseaux téléphoniques longue distance au milieu du XXe siècle. Avec l'arrivée de la télévision, il a également été adopté pour le transport des signaux vidéo. Aujourd'hui, malgré la montée en puissance de la fibre optique, le câble coaxial reste utilisé pour les applications où il offre un bon compromis entre coût, performance, et facilité d'installation.



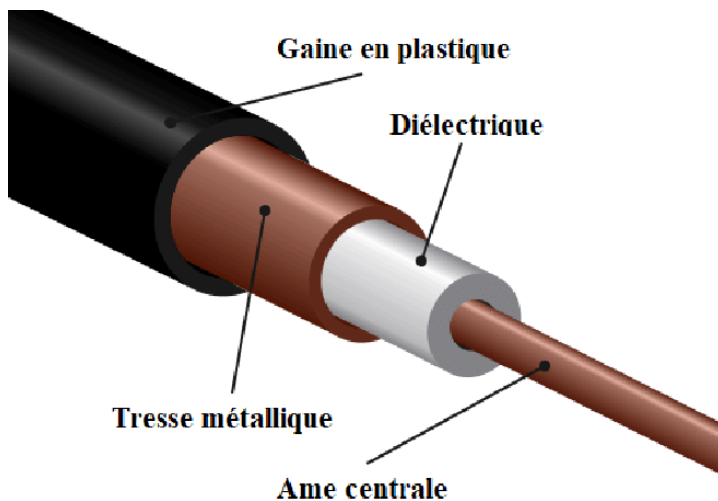
1.2 Principe

Schéma, principe physique, schéma électronique

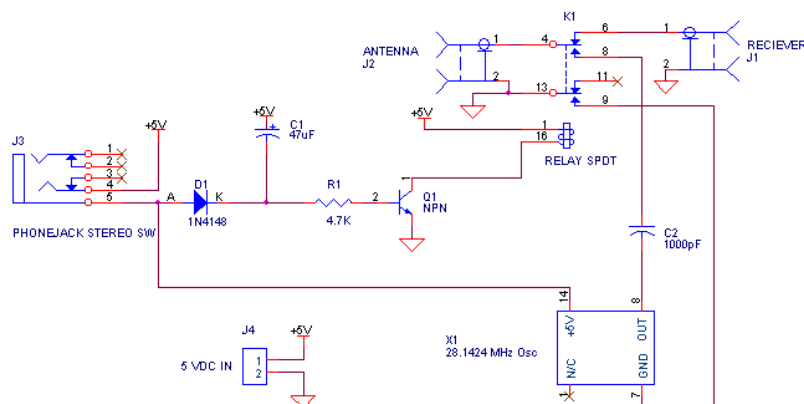
Le câble coaxial se distingue par sa structure concentrique, composée de plusieurs couches :

1. **Conducteur central** : Il transporte le signal électrique.
2. **Isolant diélectrique** : Il maintient une séparation physique et réduit les pertes électriques.
3. **Écran conducteur externe** : Il protège contre les interférences électromagnétiques extérieures.
4. **Gaine extérieure** : Elle protège le câble contre les agressions mécaniques et environnementales.

Grâce à cette structure, le signal est confiné dans le câble, ce qui réduit les pertes par rayonnement et améliore la qualité de la transmission, en particulier pour les fréquences élevées.



Schéma, principe physique



VE2ZAZ, Bertrand Zauhar		
Title		
10 Meter QRP Transceiver with T/R Support		
Size	Document Number	Rev
A	10M_QRP.DSN	A
Date: Sunday, January 04, 1998 Sheet 1 of 1		

schéma électronique

1.3 Usage

Quelles sont les utilisations du câble coaxial ?

1. Télévision et distribution de signaux TV

Le câble coaxial est largement utilisé pour transmettre les signaux de télévision, que ce soit en analogique ou en numérique. Par exemple :

- Dans les systèmes de **télévision par câble**, il relie les antennes ou les satellites aux décodeurs et téléviseurs des utilisateurs.
- Dans la distribution de signaux TV dans des immeubles ou des campus, il garantit une qualité d'image stable sans trop de perte de signal.

Grâce à sa capacité à transporter des signaux à haute fréquence, comme les ondes radio ou les signaux vidéo, le câble coaxial reste une solution fiable pour les opérateurs de télévision.

2. Internet haut débit

Dans les réseaux Internet, le câble coaxial est utilisé dans les infrastructures hybrides fibre-coaxial (HFC). Ces réseaux sont très courants chez les fournisseurs d'accès à Internet (FAI), car ils permettent de fournir des connexions haut débit. Avec des technologies comme le **DOCSIS**, il est possible d'atteindre des débits élevés en utilisant des câbles coaxiaux pour la distribution locale.

Ce type de configuration est très efficace, surtout dans les zones où il serait coûteux de remplacer les câbles coaxiaux existants par de la fibre optique.

3. Réseaux locaux (LAN)

Historiquement, les câbles coaxiaux ont été utilisés dans les réseaux locaux (LAN) avec des normes comme le **10BASE5 (Thick Ethernet)** et le **10BASE2 (Thin Ethernet)**. Ces câbles servaient à connecter les ordinateurs entre eux, formant ainsi un réseau partagé. Bien que cette technologie soit désormais dépassée par les câbles Ethernet en paires torsadées, le câble coaxial a joué un rôle crucial dans les débuts de l'interconnexion des équipements informatiques.

4. Systèmes de vidéosurveillance (CCTV)

Les câbles coaxiaux sont encore très utilisés dans les systèmes de vidéosurveillance analogiques. Ils permettent de transporter les flux vidéo des caméras de sécurité vers les enregistreurs vidéo numériques (DVR). Même si les systèmes modernes migrent vers des solutions IP, le coaxial reste courant dans les installations existantes, car il est robuste et économique.

5. Transmission de radiofréquences (RF)

Les câbles coaxiaux sont utilisés pour transporter des signaux RF dans de nombreuses applications. Par exemple :

- Pour relier des antennes de télévision ou de radio à des émetteurs et récepteurs.
- Dans les systèmes de radiocommunication (radioamateurs, talkie-walkies).

- Dans les réseaux de téléphonie mobile, où il connecte les équipements aux antennes.

Son blindage permet de protéger le signal des interférences, ce qui est crucial dans ces applications.

6. Transmission audio et vidéo professionnelle

Dans les environnements professionnels, comme les studios de télévision ou les productions en direct, le câble coaxial est utilisé pour transmettre des signaux vidéo de haute qualité. Par exemple :

- Les câbles SDI (Serial Digital Interface) transportent des flux vidéo numériques.
- Les équipements de production audiovisuelle utilisent souvent des câbles coaxiaux pour garantir une transmission sans perte.

7. Applications militaires et industrielles

Le câble coaxial est très présent dans des domaines où la fiabilité et la robustesse sont essentielles. Par exemple :

- Dans les systèmes de communication militaire pour transmettre des données sensibles.
- Dans les usines et les environnements industriels pour connecter des capteurs ou des systèmes de contrôle.

8. Instruments de mesure

Les câbles coaxiaux sont aussi utilisés dans les laboratoires et les environnements techniques pour connecter des équipements comme les oscilloscopes ou les générateurs de signaux. Ces appareils nécessitent des câbles qui assurent une transmission précise et sans distorsion des signaux.

1.4 Principales données constructeur

Quels sont les principaux paramètres d'intérêt (retard de propagation, impédance d'adaptation, atténuation etc ...)

1. Retard de propagation

Le retard de propagation, souvent exprimé en nanosecondes par mètre (ns/m), correspond au temps que met un signal pour se propager à travers le câble. Ce paramètre dépend principalement de la constante diélectrique du matériau isolant qui sépare le conducteur central du blindage. Plus cette constante est faible, plus le signal se propage rapidement.

Dans les systèmes où la synchronisation des signaux est essentielle, comme les réseaux de télécommunication à haute fréquence ou les systèmes de télévision par câble, un faible retard de propagation est crucial. Par exemple, des différences significatives dans les retards entre plusieurs câbles peuvent entraîner des déphasages et des problèmes de performance.

2. Impédance caractéristique

L'impédance caractéristique, exprimée en ohms (Ω), est une propriété fondamentale du câble coaxial. Elle représente le rapport entre la tension et le courant d'une onde électromagnétique qui se propage dans le câble. Les valeurs standard sont généralement de 50 Ω pour les applications RF (radiofréquences) et 75 Ω pour les applications audiovisuelles, comme la télévision par câble.

Une mauvaise correspondance entre l'impédance du câble et celle des équipements connectés peut entraîner des réflexions de signal, diminuant ainsi l'efficacité de la transmission. Par exemple, dans une application à 75 Ω , utiliser un câble de 50 Ω pourrait provoquer une perte de signal ou une augmentation des interférences.

3. Atténuation

L'atténuation mesure la perte de puissance du signal lorsqu'il traverse le câble et est exprimée en décibels par mètre (dB/m). Elle dépend de la fréquence du signal : plus la fréquence est élevée, plus l'atténuation est importante. Ce paramètre est critique dans les réseaux longue distance, où des amplificateurs ou des répéteurs peuvent être nécessaires pour compenser ces pertes.

Les causes principales de l'atténuation incluent :

- La résistance du conducteur central, qui convertit une partie de l'énergie du signal en chaleur.
- Les pertes diélectriques dans l'isolant.
- Les rayonnements électromagnétiques si le blindage est de mauvaise qualité.

4. Capacité de transmission (bande passante)

La bande passante d'un câble coaxial détermine la gamme de fréquences qu'il peut transporter sans distorsion significative. Un câble avec une bande passante élevée peut transporter des données à des débits supérieurs, ce qui est essentiel pour des applications comme la télévision numérique ou Internet à haut débit. Ce paramètre dépend des dimensions du câble, de la qualité des matériaux et de l'épaisseur du

blindage.

5. Résistance au bruit et aux interférences électromagnétiques

L'une des forces majeures du câble coaxial réside dans sa capacité à réduire les interférences électromagnétiques (EMI). Grâce à son blindage externe, il protège efficacement le signal transmis contre les perturbations provenant de l'environnement. Ce paramètre est particulièrement critique dans les zones urbaines où les sources d'interférences sont nombreuses, comme les lignes électriques ou les appareils électroniques.

6. Résistance mécanique et durabilité

La résistance physique du câble est également un paramètre important, notamment dans des environnements difficiles comme les installations extérieures ou industrielles. La gaine externe doit offrir une protection contre :

- L'humidité.
- Les températures extrêmes.
- Les contraintes mécaniques comme la flexion ou la traction.

Un câble coaxial durable garantit une transmission fiable sur le long terme, réduisant ainsi les coûts d'entretien et de remplacement.

7. Capacité parasite et inductance

Ces deux paramètres influencent les performances électriques du câble. La capacité parasite est liée à la proximité entre le conducteur central et le blindage, tandis que l'inductance dépend de la géométrie et des matériaux du câble. Ces facteurs doivent être minimisés pour éviter des distorsions du signal, en particulier dans les applications haute fréquence.

8. Résistance aux pertes en courant alternatif

À des fréquences élevées, le courant tend à se concentrer sur la surface du conducteur, augmentant ainsi la résistance apparente du câble (effet de peau). Les câbles coaxiaux sont conçus pour minimiser cet effet grâce à des conducteurs en cuivre plaqué argent ou en aluminium de haute pureté, optimisant ainsi la conductivité.

2 Réponse en fréquence

Les données constructeur donnent ce tableau pour l'atténuation d'un câble coaxial KX22A en fonction de la longueur :

TABLE 1 – Atténuation en fonction de la fréquence pour 2 longueurs de câble coaxial

F(MHz)	Att(dB) pour $L_1 = 232m$	Att(dB) pour $L_1 = 232m + L_2 = 167m$
0.01	7	10.1
0.1	7.3	10.3
0.5	9.8	17.8
1	12	22.6
2	14.5	27.8
3	16.3	31.2
5	18.4	35.3
10	21.5	41.3
15	24	47.7
20	26.4	50
25	29	
30	30.7	
35	33	
40	34.8	

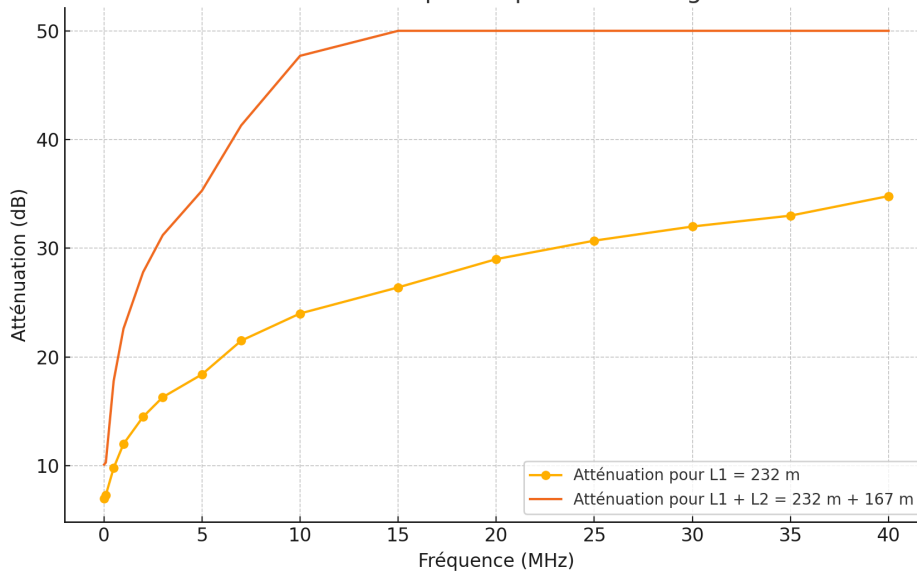
On peut approximer l'atténuation par la formule théorique :

$$A_{dB/m}(f) = \alpha \sqrt{f} \quad - \quad (1)$$

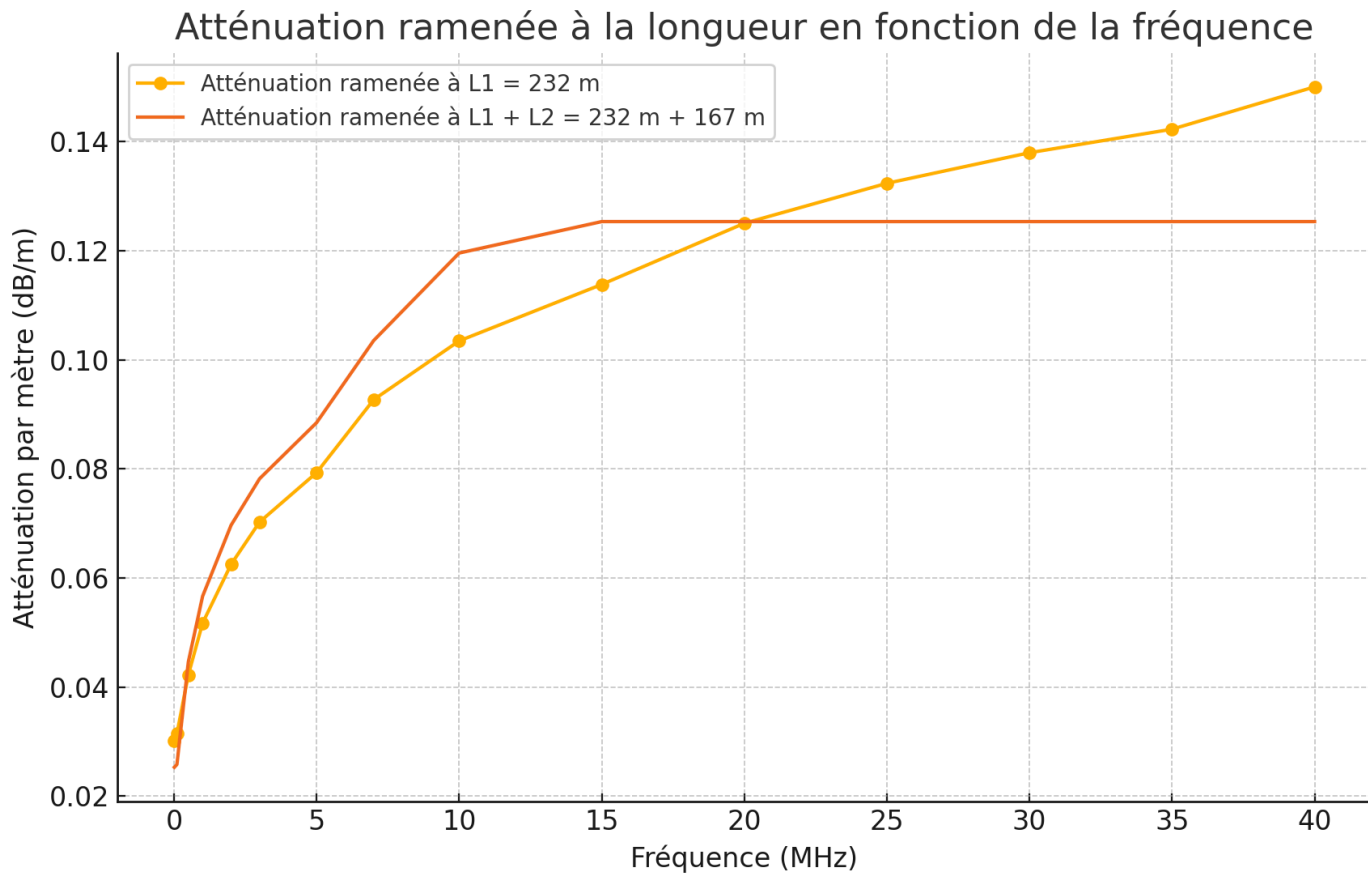
2.1 Travail sous OCTAVE ou MATLAB (temps estimé : 6h)

2.1.1 En utilisant le tableau 1, tracer les courbes de Att(dB) en fonction de F(MHz) pour les 2 longueurs de câble sur la même figure. Ne pas oublier les axes, le titre et la légende.

Atténuation en fonction de la fréquence pour deux longueurs de câble coaxial



2.1.2 Tracé des courbes de l'atténuation ramenée à la longueur : Att(dB/m) en fonction de F(MHz) pour les 2 longueurs de câble sur la même figure. Ne pas oublier les axes, le titre et la légende. Quelles sont les remarques que vous pouvez faire ?



Remarques :

Comportement général : L'atténuation par mètre augmente avec la fréquence dans les deux cas. Cela montre que les signaux à haute fréquence subissent davantage de pertes.

Différence entre les deux courbes : L'atténuation ramenée à la longueur est plus élevée pour L1+L2, particulièrement aux basses fréquences. Cela peut indiquer des pertes supplémentaires dues à des facteurs comme des raccords ou des variations de qualité dans les sections.

Saturation à haute fréquence : Pour L1+L2, l'atténuation semble atteindre une limite (50 dB au total), ce qui pourrait être lié aux limites des mesures ou à un effet de saturation. Cette tendance n'est pas observée pour L1 seul.

2.1.3 Trouver α

1. A partir de l'équation (3), comment peut-t-on obtenir α ?

L'équation (3) exprime la relation :

$$A_{dB/m}(f) = \alpha \cdot \sqrt{f}$$

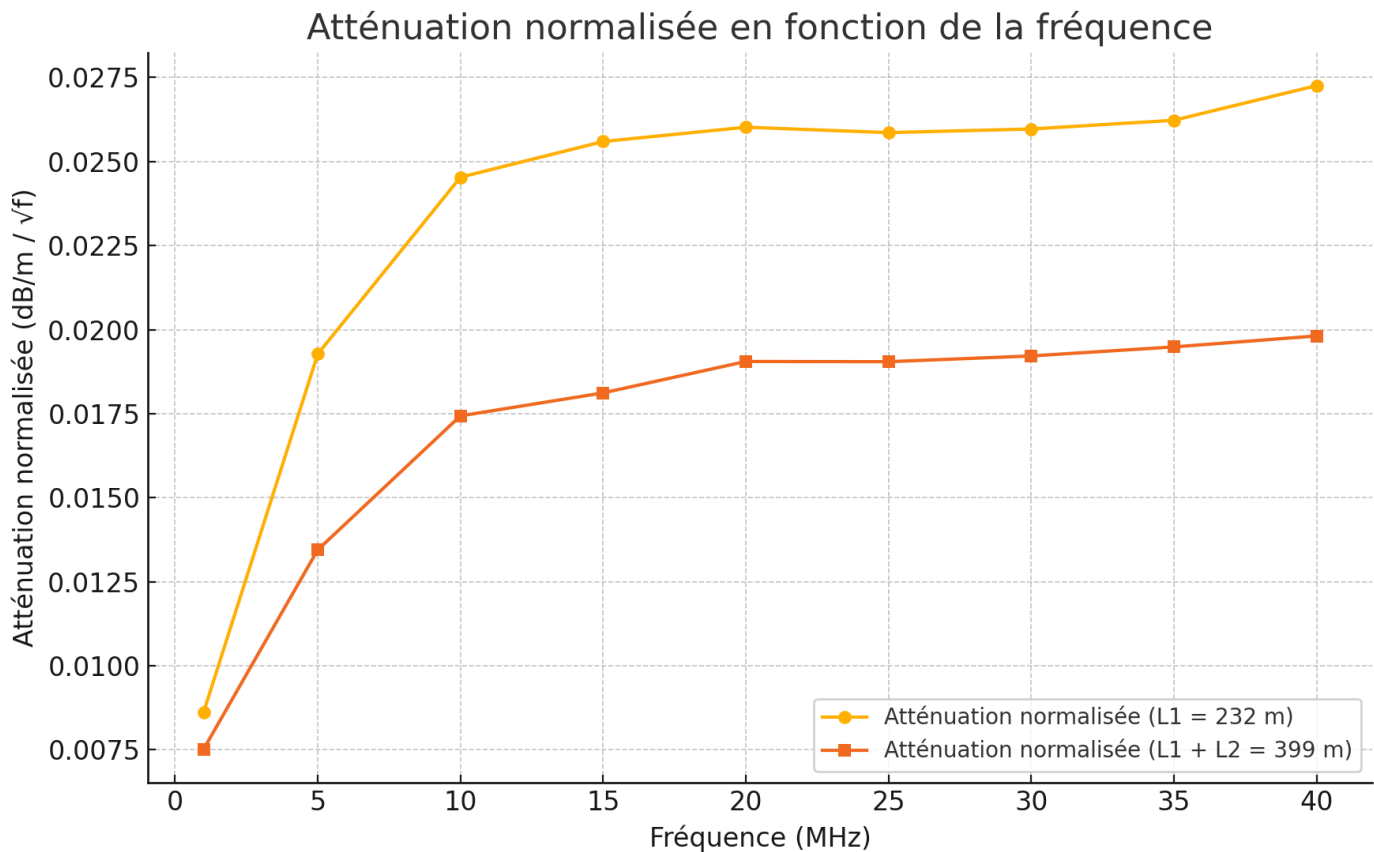
Pour trouver α , il suffit de réarranger cette équation afin d'isoler α :

$$\alpha = A_{dB/m}(f) / \sqrt{f}$$

En divisant l'atténuation par mètre ($A_{dB/m}(f)$) à chaque fréquence par la racine carrée de cette fréquence, on obtient une série de valeurs approximant α .

Ensuite, α est calculé comme la **moyenne** des valeurs obtenues pour toutes les fréquences.

2. Tracé des courbes de $A_{dB/m}(f)/\sqrt{f}$ pour les 2 longueurs de câble **sur la même figure**.



3. En déduire une approximation de α :

Approximation de α

- Pour $L_1=232$:
 $\alpha=0.0233$
- Pour $L_1+L_2=399$ m :
 $\alpha=0.0170$

et la loi correspondante :

√ –

$$A_{dB/m}(f) = \alpha \cdot \sqrt{f}$$

3 Relevé pratique de l'atténuation, de l'impédance caractéristique, du retard de propagation temps estimé : 4.5 h de TP