

Saé 13 - Découvrir un dispositif de transmission Le câble coaxial

UCA/IUT/BUT 1

Compte-rendu

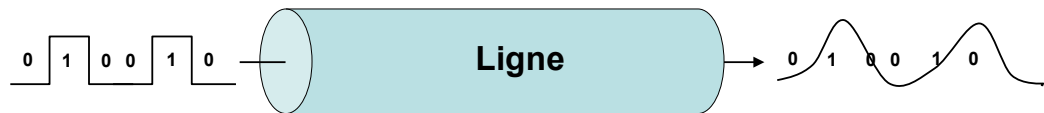


Figure 1 – Transmission filaire d'un signal numérique.

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, utilisé comme support de propagation pour les signaux électriques (notamment numériques et analogiques), a été développé dans le but d'améliorer les transmissions de données sur de longues distances avec moins de pertes de signal. Son histoire remonte au début du 20e siècle.

Origines et inventeur

Le câble coaxial a été inventé en **1880** par l'ingénieur britannique **Oliver Heaviside**, un physicien et mathématicien. Heaviside a conçu un câble permettant de transmettre des signaux électriques à travers un conducteur central, tout en utilisant une isolation entre le conducteur et l'environnement extérieur. Cette isolation était essentielle pour réduire les interférences électromagnétiques et améliorer la qualité de transmission. Son invention était une amélioration par rapport aux câbles traditionnels de l'époque, qui souffraient de pertes de signal dues à la mauvaise isolation.

Première utilisation

Le premier usage significatif du câble coaxial a eu lieu dans les années **1930** pour les transmissions radio et télévisuelles. Son utilisation dans les transmissions de téléphonie et de télévision a rapidement évolué en raison de ses capacités à transporter des signaux sur de longues distances sans dégradation de la qualité.

Une application notable a été sa mise en œuvre pour relier les stations de télévision aux émetteurs, permettant la diffusion de signaux de télévision de haute qualité dans les années **1950**. Le câble coaxial était particulièrement adapté pour cette tâche, car il permettait de réduire la perte de signal, une caractéristique cruciale pour la transmission de signaux vidéo et audio sur des distances importantes.

Utilisation dans les télécommunications

Au fil des décennies, le câble coaxial est devenu l'un des supports les plus utilisés dans le domaine des **télécommunications**. Dans les années **1960** et **1970**, il a été largement adopté pour les réseaux câblés (télévision par câble, internet) en raison de sa capacité à transporter de multiples canaux de communication simultanément. Ce système a marqué un tournant dans l'accès à la télévision, permettant une plus grande diversité de chaînes et d'options pour les consommateurs.

Évolution technologique et applications modernes

Le câble coaxial a joué un rôle majeur dans les premières infrastructures de transmission de données et continue d'être utilisé dans les systèmes de communication modernes. Il est encore couramment utilisé dans les connexions de télévisions par câble, les réseaux informatiques à haut débit, ainsi que pour les communications vidéo et audio dans certaines applications professionnelles.

L'évolution technologique a permis d'augmenter les capacités de transmission des câbles coaxiaux, en les rendant plus efficaces pour des applications modernes, telles que la transmission de signaux numériques à haut débit.

En résumé, le câble coaxial a été inventé par **Oliver Heaviside** à la fin du 19e siècle, avec une utilisation qui a rapidement évolué pour devenir un composant clé dans les systèmes de transmission de signaux, depuis la télévision jusqu'à Internet, tout en restant pertinent dans les technologies actuelles.

1.2 Principe

Schéma, principe physique, schéma électronique

Principe physique :

Le câble coaxial est conçu pour transmettre des signaux électriques en utilisant deux conducteurs concentriques. Ce principe repose sur l'utilisation d'une structure de câble

composée de plusieurs couches, chacune ayant une fonction spécifique permettant d'assurer une transmission efficace des signaux tout en réduisant les interférences et pertes de signal. Voici les éléments principaux du principe physique d'un câble coaxial :

1. Conducteur central (noyau) :

- Il s'agit du conducteur principal, généralement constitué de **cuivre** ou parfois d'aluminium, qui transporte le signal électrique. Ce conducteur est situé au centre du câble et assure la conduction du signal entre l'émetteur et le récepteur.

2. Isolation diélectrique :

- Autour du conducteur central, on trouve une couche d'**isolation diélectrique**, souvent en plastique ou en mousse. Cette couche empêche le signal de se disperser et protège contre les courts-circuits. Elle permet également de maintenir une certaine constante de propagation pour le signal.

3. Conducteur extérieur (écran) :

- Un conducteur extérieur, souvent en **tresse métallique** (cuivre ou aluminium) ou en **feuille métallique**, est placé autour de l'isolant. Ce conducteur sert à **protéger le signal** des interférences électromagnétiques extérieures, ainsi qu'à servir de retour pour le signal.

4. Gaine externe :

- La dernière couche est une **gaine isolante** (généralement en plastique comme le PVC ou le PE), qui protège l'ensemble du câble contre les agressions mécaniques, l'humidité, et les environnements extérieurs.

Principe de transmission du signal

Le principe de transmission repose sur la propagation des signaux électriques entre le conducteur central et le conducteur extérieur. Les signaux électriques circulent dans le conducteur central, tandis que le conducteur extérieur forme une sorte de bouclier contre les **perturbations électromagnétiques (EMI)** externes. La conception coaxiale permet donc une protection optimale contre les bruits et interférences, ce qui est crucial pour la transmission de signaux de haute qualité, notamment pour des applications audio et vidéo.

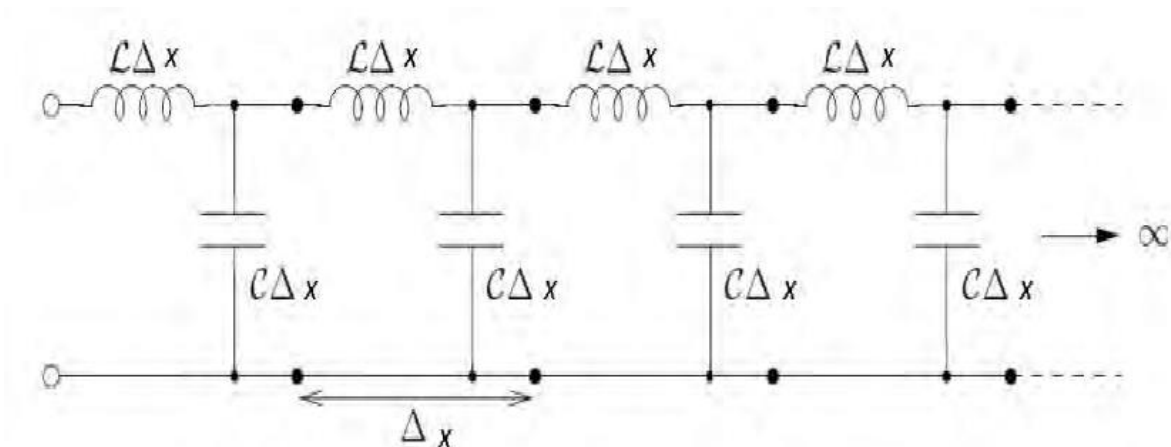
Schéma du câble coaxial

Voici un schéma représentant la structure physique du câble coaxial :



Schéma électronique du câble coaxial

D'un point de vue électronique, le câble coaxial peut être modélisé par un **circuit à transmission à ligne**, où l'impédance est caractéristique de la capacité du câble à transmettre un signal sans distorsion.



Le câble coaxial possède une **impédance caractéristique** (généralement de 50 ohms ou 75 ohms), ce qui permet de maintenir l'intégrité du signal et d'éviter les réflexions dues à des incompatibilités d'impédance entre le câble et les équipements connectés.

Conclusion

Le câble coaxial est conçu pour assurer une transmission fiable des signaux en isolant le conducteur principal des interférences externes grâce à sa structure en couches concentriques. Ce principe physique, combiné à des propriétés électriques spécifiques comme l'impédance caractéristique, permet au câble de transmettre efficacement des signaux à haute fréquence sur de longues distances, ce qui en fait une solution idéale pour les systèmes de communication modernes.

1.3 Usage

Quelles sont les utilisations du câble coaxial ?

Le câble coaxial, grâce à ses caractéristiques de résistance aux interférences et à sa capacité à transmettre des signaux sur de longues distances avec une faible perte, est utilisé dans divers domaines. Voici un aperçu des principales utilisations du câble coaxial :

1. Télévision par câble

- **Transmission de signaux TV** : Le câble coaxial est largement utilisé dans la transmission des signaux télévisés via le câble, notamment pour la télévision par câble ou satellite. Il transporte les signaux vidéo et audio depuis le fournisseur de services vers le téléviseur de l'utilisateur. Sa capacité à transporter plusieurs canaux simultanément permet une large gamme de chaînes.
- **Signal haute définition (HD)** : Le câble coaxial permet également de transmettre des signaux haute définition (HD) pour les systèmes de télévision numérique, ce qui en fait un choix de prédilection pour les installations domestiques et les réseaux de télévision câblée.

2. Internet haut débit

- **Connexion à Internet** : Dans de nombreuses régions, le câble coaxial est utilisé pour fournir l'accès à Internet haut débit. Il est utilisé dans les infrastructures des fournisseurs de services Internet (FAI) pour transporter les données entre le modem et le réseau local de l'utilisateur. Cette technologie est couramment utilisée dans les **modems câble** (par exemple, DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specification).
- **Transmission de données** : Le câble coaxial permet une transmission rapide des données à haute fréquence, rendant possible des vitesses de connexion internet élevées pour des utilisateurs domestiques ou professionnels.

3. Systèmes de sécurité et surveillance vidéo

- **Caméras de surveillance** : Le câble coaxial est fréquemment utilisé pour relier des caméras de surveillance à des systèmes de vidéosurveillance (CCTV). Il permet la transmission de signaux vidéo analogiques, offrant une qualité d'image suffisante pour de nombreuses applications de sécurité.
- **Transmission sans perte de signal** : Sa capacité à transmettre des signaux vidéo sans distorsion le rend particulièrement adapté aux installations de vidéosurveillance, où la qualité et la fiabilité du signal sont primordiales.

4. Télécommunications

- **Réseaux téléphoniques** : Bien que de plus en plus remplacé par des technologies de transmission de données comme la fibre optique, le câble

coaxial était auparavant couramment utilisé pour les connexions téléphoniques et la transmission de données dans les réseaux téléphoniques traditionnels.

- **Réseaux de données** : Dans les années passées, le câble coaxial a aussi été utilisé dans des réseaux locaux (LAN) pour connecter les ordinateurs et périphériques entre eux dans des environnements professionnels ou industriels. Bien que des technologies comme l'Ethernet sur câble à paires torsadées ou la fibre optique aient pris le relais pour la plupart des applications, il existe encore des installations qui utilisent du câble coaxial pour des connexions réseau.

5. Applications industrielles et scientifiques

- **Instrumentation et contrôle** : Le câble coaxial est également utilisé dans les systèmes de transmission de signaux dans les industries où la fiabilité du signal est essentielle, comme dans les systèmes de test et de mesure, de contrôle des équipements, et dans les environnements industriels où la protection contre les interférences électromagnétiques est cruciale.
- **Transmission d'informations à haute fréquence** : Dans certains domaines scientifiques et techniques, le câble coaxial est utilisé pour transporter des signaux à très haute fréquence, ce qui le rend utile dans des applications de communication radio, de télémétrie ou même de radar.

6. Systèmes audio professionnels

- **Transmissions audio** : Le câble coaxial est également utilisé dans des systèmes audio professionnels, où il permet de transporter des signaux audio numériques (par exemple, S/PDIF, une norme de transmission audio numérique). Il permet de relier des appareils audio tels que des lecteurs CD, des amplificateurs et des récepteurs audio avec une qualité optimale et une faible perte de signal.

7. Satellite et communication longue distance

- **Transmission par satellite** : Le câble coaxial est aussi utilisé dans les systèmes de communication par satellite, où il est utilisé pour relier l'antenne parabolique au récepteur satellite. Il permet de transmettre les signaux du satellite vers le décodeur ou le récepteur.
- **Radiocommunications** : En radiocommunication, le câble coaxial est utilisé pour connecter des antennes aux récepteurs ou aux émetteurs, offrant ainsi une liaison fiable et avec une faible perte de signal.

Conclusion

Le câble coaxial reste un composant clé dans de nombreux domaines de la transmission de signaux. Que ce soit pour la télévision par câble, les réseaux internet haut débit, la vidéosurveillance, les applications industrielles ou encore les systèmes

audio et de communication, ses capacités uniques à protéger contre les interférences et à maintenir une qualité de signal élevée en font un choix privilégié pour de nombreuses installations. Malgré l'avènement de technologies plus récentes comme la fibre optique, le câble coaxial reste indispensable dans de nombreux systèmes.

1.4 Principales données constructeur

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

Le câble coaxial LMR-240 présente plusieurs caractéristiques techniques importantes pour l'étude de ses performances :

1. **Impédance d'adaptation** : 50 Ω , optimisée pour une transmission RF efficace.
2. **Atténuation** : Varie selon la fréquence. Par exemple :
 - 4,4 dB/100 m à 30 MHz
 - 24,8 dB/100 m à 900 MHz
 - 66,8 dB/100 m à 5 800 MHz.
3. **Retard de propagation** : La vitesse de propagation atteint 84 %, grâce au diélectrique en mousse de polyéthylène injectée d'azote.
4. **Blindage** : Double blindage (ruban d'aluminium + tresse en cuivre étamé) offrant une excellente immunité aux interférences RF (> 90 dB).
5. **Rayon de courbure minimal** : 19,1 mm pour l'installation et 63,5 mm en usage répété, garantissant une flexibilité mécanique adaptée à diverses applications.
6. **Plage de fréquences** : Fonctionne efficacement jusqu'à 6 GHz, convenant à des applications comme les répéteurs 4G, GPS, ou WLAN.
7. **Conditions climatiques** : Résistant aux UV et aux températures de -40 °C à +85 °C, avec une durée

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

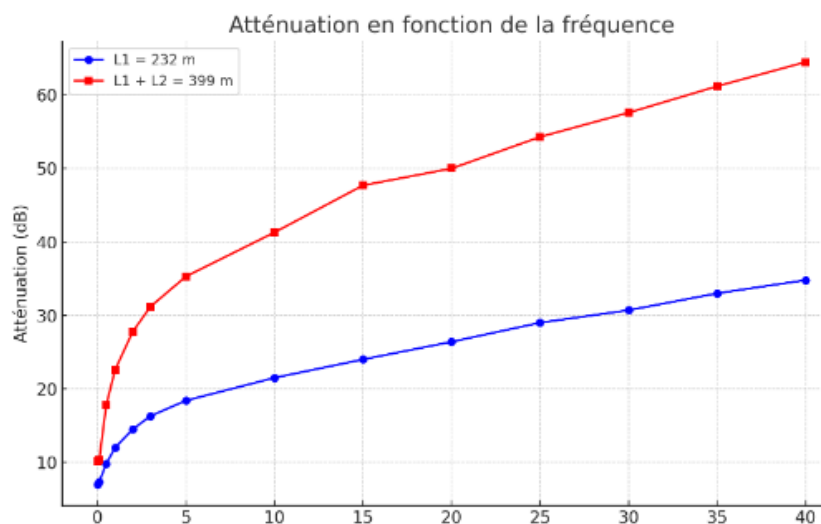
F(MHz)	Att(dB) pour $L_1 = 232m$	Att(dB) pour $L_1 = 232m + L_2 = 167m$
0.01	7	10.1
0.1	7.3	10.3
0.5	9.8	17.8
1	12	22.6
2	14.5	27.8
3	16.3	31.2
5	18.4	35.3
10	21.5	41.3
15	24	47.7
20	26.4	50
25	29	54.3
30	30.7	57.6
35	33	61.2
40	34.8	64.5

On peut approximer l'atténuation par la formule théorique :

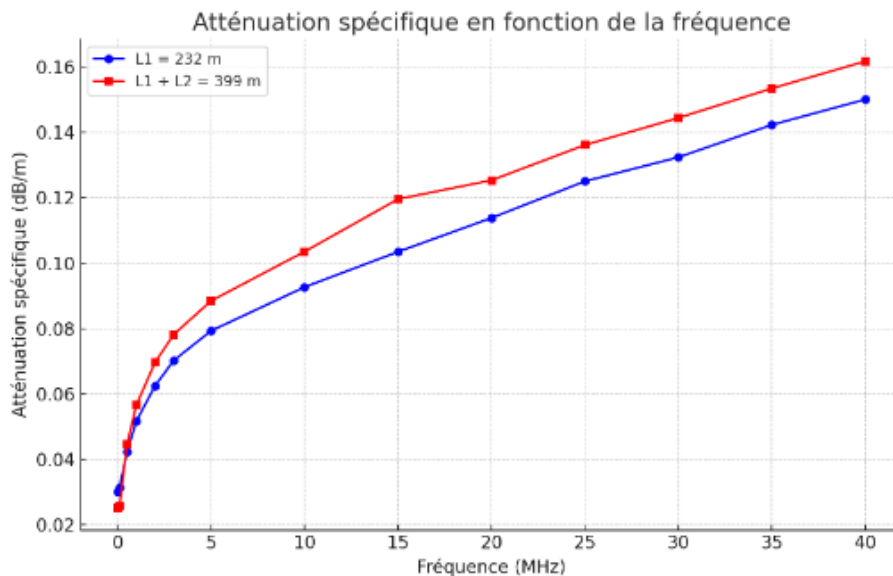
$$A_{dB/m}(f) = \alpha^p f$$

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.



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?

On remarque que les tracés montrent que l'atténuation spécifique est bien conforme au modèle théorique. Les différences entre les courbes pour L1 et L1 + L2 confirment l'effet de la longueur sur l'atténuation totale. Cela souligne l'importance de prendre en compte la longueur dans le dimensionnement des câbles pour minimiser les pertes dans des systèmes de transmission.

2.1.3 Trouver α

1. A partir de l'équation (3), comment peut-on obtenir α ?

Pour obtenir α à partir de l'équation (3) :

L'équation théorique de l'atténuation spécifique est donnée par :

$$AdB/m(f) = \alpha \cdot f$$

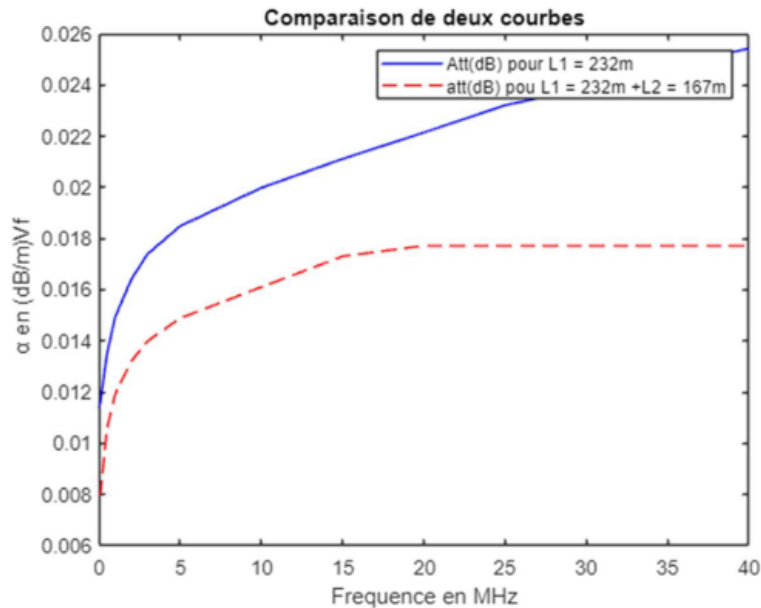
En isolant α , on obtient :

$$\alpha = AdB/m(f) / f$$

Pour chaque fréquence f , on divise la valeur de l'atténuation spécifique $AdB/m(f)$ par la racine carrée de la fréquence correspondante. Les valeurs obtenues sont ensuite moyennées sur toutes les fréquences pour estimer α de manière globale.

Cette méthode est valide car la relation $AdB/m(f) = \alpha \cdot f$ est proportionnelle à f , ce qui permet d'obtenir α comme une constante pour un câble donné.

2. Tracé des courbes de $AdB/m(f) / f$ pour les 2 longueurs de câble sur la même figure.



3. En déduire une approximation de α :

Sur ce graphique, chaque point représente la valeur alpha. En calculant les moyennes pour les deux courbes, nous obtenons : pour la courbe bleue, une moyenne de 0,09, et pour la courbe orange, une moyenne de 0,08. Les moyennes des deux courbes sont relativement proches, la différence étant de seulement 0,01, soit 11 %. Par conséquent, la valeur constante alpha obtenue est de 0,085. La loi associée est donc :

$$AdB/m(f)=0,085\sqrt{f}$$

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

Retard de propagation :

- 1.) On peut observer un second pic, c'est un phénomène d'écho.
- 2.) La durée entre les deux ondes $t_p = 130 \text{ ns}$
- 3.) La distance parcourue par l'onde est de 22 m, le signal fait un aller-retour donc $11 \text{ m} \times 2$. *+ 2m*
- 4.) La vitesse de propagation $v = \frac{d}{t_p}$
 $v = \frac{22}{(130 \times 10^{-9})} \approx 1,69 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ *+ vide*
- 5.) $\frac{v}{c} = \frac{1,69 \times 10^8}{3 \times 10^8} \approx 0,56 \approx 56\%$ *+ grand*

Selon le constructeur, l'onde se propage à une vitesse de 70% soit, un écart de 14%, ce qui peut s'expliquer par différents facteurs comme la longueur du câble, l'environnement, les bruits parasite etc...

Atténuation :

Atte: 6.45 c.c. *4.*

f	100Hz	1000Hz	10000Hz	100k	100M
$V_{g,c}$	5.65	5.75	5.85	5.65	4.95
$V_{g,c}$	5.65	5.75	5.85	5.65	4.95
$A = \frac{V_{g,c}}{V_s}$	0.524	0.523	0.449	0.375	0.229
$A_{dB} = 20 \log_{10}(A)$	-2.56	-2.57	-3.49	-4.42	-12.75

11. $20 \log_{10} \left(\frac{V_{g,c}}{V_s} \right)$

$V_g = V_{entrée}$
 $V_s = V_{sortie}$

Nos mesures $A(\text{dB/m}) = \frac{12.75}{152} = 0.083$

Pour 100M

Mesures Constructeurs $A(\text{dB/m}) = \frac{21.5}{232} = 0.0927$ *erreur de calcul*
 (pour 232m)