

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 ...

Origines et Inventeur

Le câble coaxial a été inventé par **Oliver Heaviside**, un ingénieur et mathématicien britannique, en 1880. Cependant, sa mise en œuvre pratique a été réalisée plus tard par **Lodge Myrick**, qui a développé les premiers câbles coaxiaux commerciaux au début du 20^e siècle. Cette innovation a été cruciale pour surmonter les limitations des câbles bifilaires traditionnels, notamment les interférences électromagnétiques qui perturbaient la qualité des signaux télégraphiques et téléphoniques.



Photo d'Olivier Heaviside

Premières Utilisations

Initialement, le câble coaxial était utilisé pour transmettre des **signaux télégraphiques et téléphoniques** sur de longues distances sans subir de perturbations électromagnétiques. Grâce à sa structure particulière composée d'un conducteur central entouré par une isolation, un blindage métallique et une gaine extérieure, le câble coaxial permettait une transmission plus fiable et de meilleure qualité par rapport aux câbles bifilaires utilisés auparavant.

La première utilisation notable du câble coaxial a été dans les **télécommunications**, où il a joué un rôle crucial dans la transmission de signaux entre les grandes villes et les centres industriels. Cette technologie a permis de réduire considérablement les pertes de signal et d'augmenter la capacité de transmission, facilitant ainsi une communication plus efficace et plus rapide.

Évolution et Applications Diversifiées

Au fil des décennies, le câble coaxial a trouvé de nombreuses **applications** dans divers domaines technologiques :

1. **Télévision par câble** : Introduit dans les années 1940, le câble coaxial a permis la diffusion de signaux de télévision à haute fréquence, offrant ainsi une meilleure qualité d'image et de son par rapport aux antennes traditionnelles.
2. **Réseaux informatiques** : Dans les années 1980 et 1990, le câble coaxial a été largement utilisé pour les réseaux Ethernet, notamment les versions 10BASE2 et 10BASE5, facilitant la connexion des ordinateurs au sein des réseaux locaux (LAN).
3. **Systèmes de communication radio** : Le câble coaxial est également employé dans les systèmes de transmission radio et les antennes, grâce à sa capacité à transmettre des signaux à haute fréquence avec un minimum de perte et d'interférences.
4. **Applications industrielles** : Dans l'industrie, le câble coaxial est utilisé pour les systèmes de surveillance, les équipements médicaux et les réseaux de capteurs, où une transmission fiable et sécurisée des données est essentielle.

Caractéristiques Techniques et Avantages

Le câble coaxial est particulièrement apprécié pour ses **caractéristiques techniques** :

- **Transmission à haute fréquence** : Capable de transmettre des signaux à haute fréquence avec une faible atténuation, ce qui est essentiel pour les communications modernes.
- **Blindage efficace** : La couche de blindage métallique réduit les interférences électromagnétiques externes, assurant une transmission claire et sans perturbations.
- **Résistance mécanique** : Sa structure robuste le rend résistant aux dommages physiques, ce qui prolonge sa durée de vie et réduit les besoins de maintenance.

Déclin et Coexistence avec la Fibre Optique

Aujourd'hui, bien que la **fibre optique** ait largement remplacé le câble coaxial pour les **liaisons longue distance** en raison de sa capacité supérieure de transmission de données et de son immunité aux interférences électromagnétiques, le câble coaxial reste largement utilisé dans plusieurs domaines :

- **Connexions de télévision** : La télévision par câble continue de reposer sur le câble coaxial pour la distribution des signaux aux foyers.
- **Réseaux locaux** : Dans de nombreuses infrastructures réseau, le câble coaxial est encore utilisé pour les connexions internes, offrant une solution économique et fiable.
- **Applications industrielles** : Certaines applications industrielles et spécialisées préfèrent encore le câble

coaxial pour ses propriétés spécifiques de transmission et de blindage.

Conclusion

Le câble coaxial a joué un rôle **crucial dans le développement des télécommunications**, en permettant des transmissions de signaux plus fiables et de meilleure qualité. Son invention a marqué une étape importante dans l'évolution des technologies de communication, et malgré la montée en puissance de la fibre optique, il demeure un élément essentiel dans de nombreux systèmes de communication modernes. Sa robustesse, sa capacité à transmettre des signaux à haute fréquence et son efficacité contre les interférences continuent de faire du câble coaxial une solution privilégiée dans divers domaines technologiques.

1.2 Principe

Shéma, principe physique, schéma électronique

Le **câble coaxial** est constitué de quatre couches principales, chacune jouant un rôle essentiel dans la transmission efficace des signaux électriques :

1. Conducteur Central :

- a. **Matériau** : Généralement en cuivre pur ou en aluminium, le conducteur central est responsable du transport du signal électrique. Le cuivre est préféré pour sa conductivité élevée, bien que l'aluminium soit utilisé dans certaines applications pour réduire le poids et le coût.
- b. **Fonction** : Transporter le signal à haute fréquence avec une atténuation minimale. La pureté et la section transversale du conducteur central influencent directement la qualité de la transmission.

2. Isolation Diélectrique :

- a. **Matériau** : Composée de matériaux tels que le polyéthylène (PE), le téflon (PTFE) ou d'autres polymères diélectriques de haute qualité.
- b. **Fonction** : Isoler électriquement le conducteur central du blindage extérieur, tout en maintenant une distance constante entre eux pour assurer une impédance caractéristique stable (généralement $50\ \Omega$ ou $75\ \Omega$). Cette couche influence la capacité de transmission et la bande passante du câble.

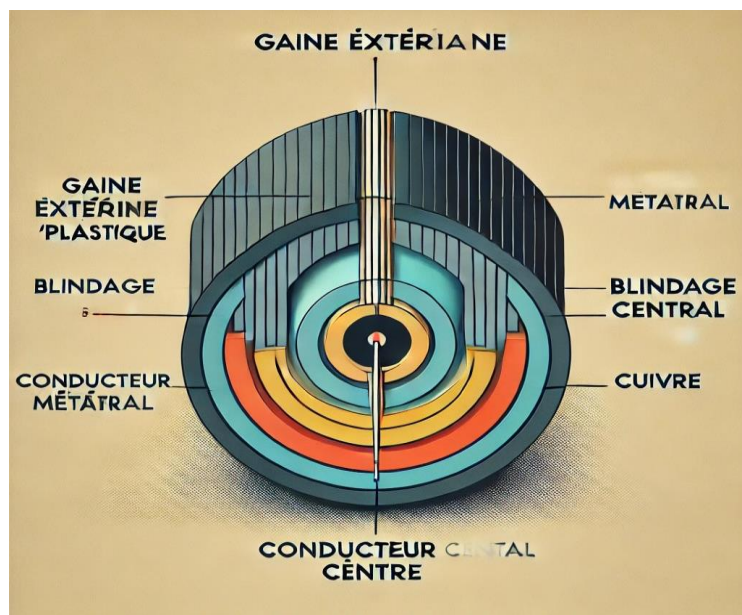
3. Blindage Métallique :

- a. **Types** :
 - i. **Tresse Métallique** : Souvent en cuivre ou en aluminium, la tresse métallique offre une protection contre les interférences électromagnétiques (EMI) externes et réduit les fuites de signal.
 - ii. **Feuille Métallique** : Complémentaire à la tresse, la feuille métallique ajoute une couche supplémentaire de blindage, améliorant encore la protection contre les EMI.
 - iii. **Combinaison Tresse et Feuille** : La plupart des câbles coaxiaux modernes utilisent une combinaison des deux pour une protection maximale.
- b. **Fonction** : Empêcher les interférences externes d'altérer le signal transmis et éviter que le signal ne s'échappe du câble, garantissant ainsi une transmission claire et sans perturbations.

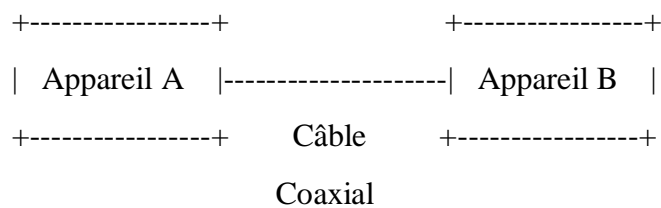
4. Gaine Extérieure :

- a. **Matériau** : Fabriquée en plastique durable comme le PVC (chlorure de polyvinyle), le polyester ou en caoutchouc, la gaine protège les couches internes contre les dommages physiques, les intempéries et l'usure mécanique.
- b. **Fonction** : Offrir une protection physique au câble, résister aux contraintes environnementales (comme l'humidité, les UV et les températures extrêmes) et faciliter l'installation grâce à sa flexibilité et sa résistance.

Voici un schéma simplifié d'un câble coaxial :



Le schéma électronique d'un câble coaxial montre comment il est utilisé pour transmettre des signaux entre deux appareils. Par exemple :



Dans ce schéma, le câble coaxial relie deux appareils (par exemple, un émetteur et un récepteur) et permet la transmission de signaux électriques avec une faible perte et une protection contre les interférences.

1.3 Usage

Le câble coaxial transmet les signaux électromagnétiques en confinant les ondes entre le conducteur central et le blindage, réduisant ainsi les pertes et les interférences. Ses principaux avantages incluent :

- **Transmission à haute fréquence** : Capable de transmettre des signaux à haute fréquence avec une faible atténuation.
- **Protection contre les interférences** : Le blindage efficace empêche les perturbations externes d'affecter le signal.
- **Robustesse et durabilité** : Résistant aux dommages physiques et aux conditions environnementales difficiles.

Applications

Historiquement utilisé dans les télécommunications pour transmettre des signaux télégraphiques et téléphoniques sur de longues distances, le câble coaxial a évolué pour servir diverses applications modernes :

- **Télévision par câble** : Distribution de signaux TV de haute qualité aux foyers.
- **Réseaux informatiques** : Connexions Ethernet dans les réseaux locaux (LAN).
- **Systèmes de sécurité** : Connexion des caméras de surveillance et équipements de sécurité.
- **Communication radio** : Transmission de signaux radio et antennes.
- **Applications industrielles** : Réseaux de capteurs et systèmes de contrôle.

Évolution et Présence Actuelle

Bien que la fibre optique ait largement supplanté le câble coaxial pour les liaisons longue distance en raison de sa capacité supérieure et de son immunité aux interférences, le câble coaxial reste essentiel pour les connexions de télévision, les réseaux locaux et certaines applications industrielles. Sa simplicité d'installation et sa compatibilité avec les infrastructures existantes en font une solution continue dans de nombreux systèmes de communication modernes.

1.4 Principales données constructeur

Principales Données Constructeur des Câbles Coaxiaux

Les fabricants de câbles coaxiaux fournissent plusieurs spécifications essentielles pour garantir leur adéquation à diverses applications :

1. Impédance Caractéristique (Z_0)

a. Valeurs Standards :

- i. **50 Ω** : Utilisé pour les applications radiofréquences (RF) et certains réseaux informatiques.
- ii. **75 Ω** : Principalement utilisé pour la télévision par câble, la vidéosurveillance et les réseaux vidéo.

2. Atténuation

- a. **Mesure** : En décibels (dB) par 100 mètres.
- b. **Influence** : Dépend de la fréquence du signal et de la longueur du câble. Moins d'atténuation est préférable pour les transmissions longues distances.

3. Bande Passante

- a. **Capacité** : Permet de transmettre des signaux sur une large gamme de fréquences, souvent de quelques MHz à plusieurs GHz.
- b. **Importance** : Essentielle pour les applications nécessitant une haute fidélité et une grande capacité de transmission, comme la télévision numérique et les réseaux internet à haut débit.

4. Construction et Matériaux

- a. **Conducteur Central** : En cuivre pur, cuivre tressé ou aluminium, offrant une haute conductivité.
- b. **Isolation Diélectrique** : Matériaux comme le polyéthylène (PE) ou le téflon (PTFE) assurant une isolation électrique et une stabilité de l'impédance.
- c. **Blindage Métallique** : Tresse métallique, feuille métallique ou combinaison des deux pour protéger contre les interférences électromagnétiques.
- d. **Gaine Extérieure** : En plastique (PVC, polyester) ou en caoutchouc, protégeant les couches internes des dommages physiques et environnementaux.

5. Types de Connecteurs

- a. **BNC (Bayonet Neill-Concelman)** : Utilisés pour les équipements de test et certains systèmes RF.
- b. **F-Type** : Couramment utilisés pour la télévision par câble et les connexions internet domestiques.
- c. **N-Type** : Utilisés dans les applications RF professionnelles et industrielles.

6. Normes et Certifications

- a. **Normes Internationales** : ANSI/TIA/EIA-568, ISO/IEC 11801, MIL-STD-810.
- b. **Certifications** : Garantissent que le câble répond aux exigences de performance et de qualité spécifiques à chaque application.

7. Température de Fonctionnement

- a. **Plage Typique** : De -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$.
- b. **Adaptabilité** : Assure une performance stable dans des environnements variés, y compris industriels et extérieurs.

8. Diamètre et Flexibilité

- a. **Diamètre Total** : Varie selon le type de câble (ex. RG-6, RG-59, RG-11).
- b. **Flexibilité** : Plus le câble est flexible, plus il est facile à installer dans des espaces restreints, bien que

cela puisse parfois réduire légèrement la robustesse.

Fiche constructeur fourni par une entreprise pour le c

CODE		9100057	
MODÈLE		CL-201	
Conducteur interne	Mat		CU
	mmø		1,63
Dielectrique	Mat		PEE physique
	mmø		7,20
Blindage	Mat		AL-PL-AL
Tresse	Mat		AL
Gaine	Mat		PE noir
	mmø		10
Atténuation/100m	dB	50 MHz	2,7
		470 MHz	7,6
		862 MHz	11,0
		2150 MHz	20,0
Pertes de retour	dB	5-470 MHz	>23
		470-2150 MHz	>20
Resistance au courant continu	Ω /Km		34
Rayon minimum de courbure	mm		35
Impédance caractéristique	Ω		75 \pm 3
Unités par emballage			250
Poids emballage	Kg		21,0
Dimensions emballage	mm		400x400x370

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
d3	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 :

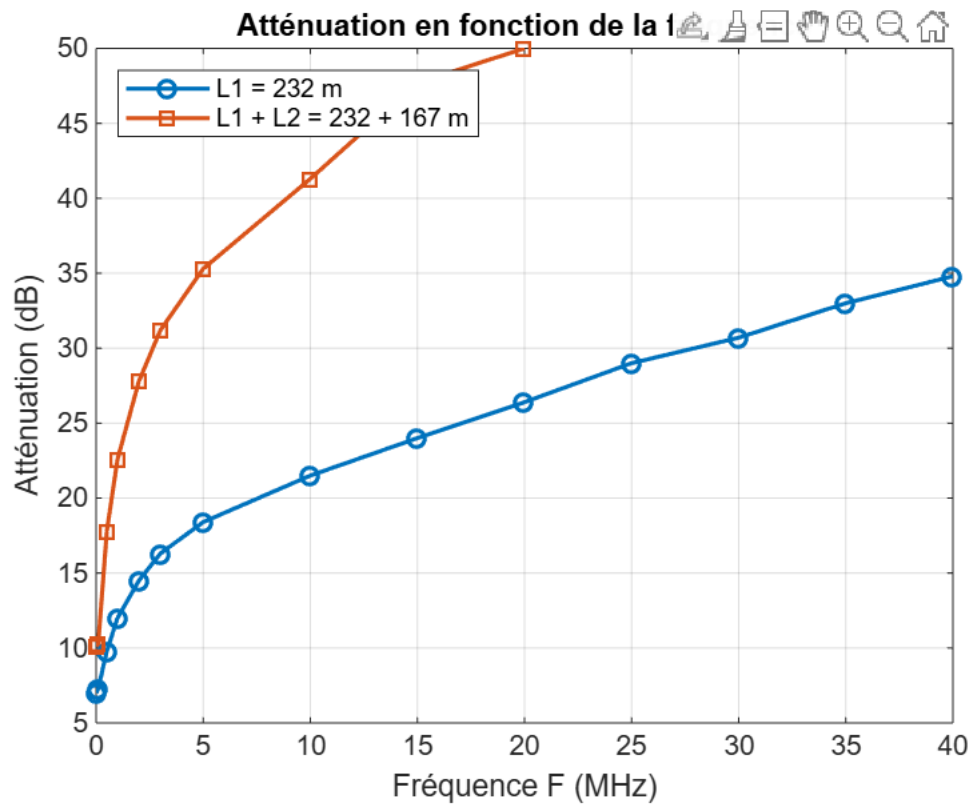
$$A_{dB/m}(f) = \alpha \sqrt{f} \quad (1)$$

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.

J'ai rentre ce code pour avoir le graphe

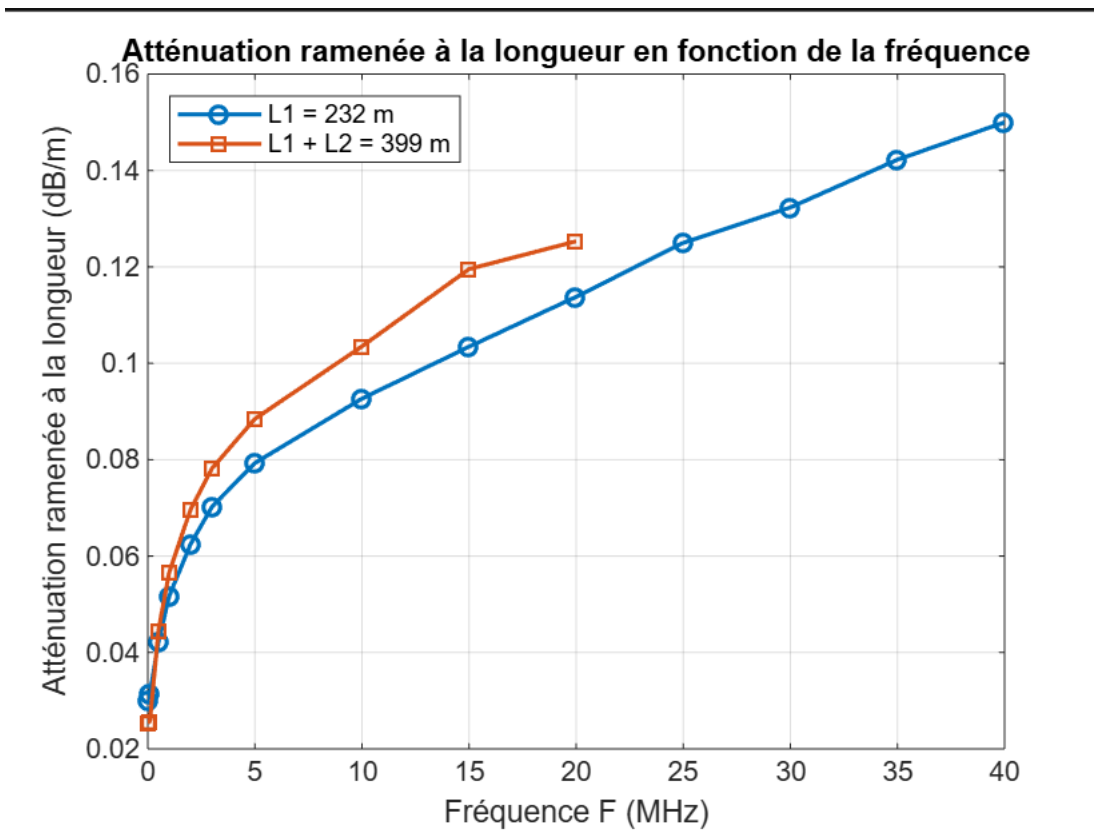
```
% Données
F = [0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40]; % Fréquence (MHz)
Att_L1 = [7, 7.3, 9.8, 12, 14.5, 16.3, 18.4, 21.5, 24, 26.4, 29, 30.7, 33, 34.8];
Att_L1_L2 = [10.1, 10.3, 17.8, 22.6, 27.8, 31.2, 35.3, 41.3, 47.7, 50, NaN, NaN, NaN, NaN]; %
Ajouter NaN pour aligner
% Tracé
figure;
plot(F, Att_L1, '-o', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'L1 = 232 m');
hold on;
plot(F, Att_L1_L2, '-s', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'L1 + L2 = 232 + 167 m');
hold off;
% Mise en forme
grid on;
xlabel('Fréquence F (MHz)');
ylabel('Atténuation (dB)');
title('Atténuation en fonction de la fréquence');
legend('Location', 'northwest');
```



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 ?

J'ai tapé ce code pour trouvé ces courbes:

```
% Longueurs des câbles
L1 = 232; % Longueur en mètres
L1_L2 = 399; % Longueur totale en mètres
% Calcul de l'atténuation ramenée à la longueur
Att_per_m_L1 = Att_L1 / L1; % dB/m pour L1
Att_per_m_L1_L2 = Att_L1_L2 / L1_L2; % dB/m pour L1 + L2
% Tracé
figure;
plot(F, Att_per_m_L1, '-o', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'L1 = 232 m');
hold on;
plot(F, Att_per_m_L1_L2, '-s', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'L1 + L2 = 399 m');
hold off;
% Mise en forme
grid on;
xlabel('Fréquence F (MHz)');
ylabel('Atténuation ramenée à la longueur (dB/m)');
title('Atténuation ramenée à la longueur en fonction de la fréquence');
legend('Location', 'northwest');
```



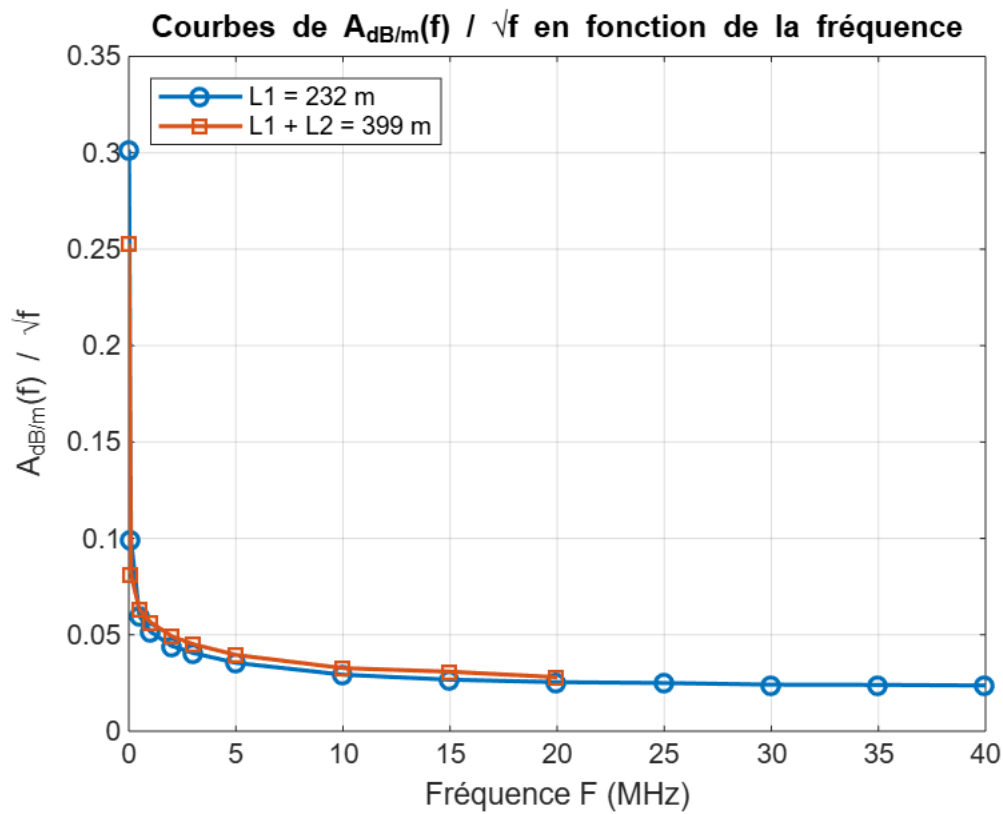
2.1.3 Trouver α

1. A partir de l'équation (3), comment peut-on obtenir α ?
2. Tracé des courbes de $A_{dB/m}(f)/\sqrt{f}$ pour les 2 longueurs de câble **sur la même figure**.

1)

Fréquence F (MHz)

2)



3. En déduire une approximation de α :

$$\alpha = (A_{dB/m}(f) / \sqrt{f}) \quad (2)$$

et la loi correspondante :

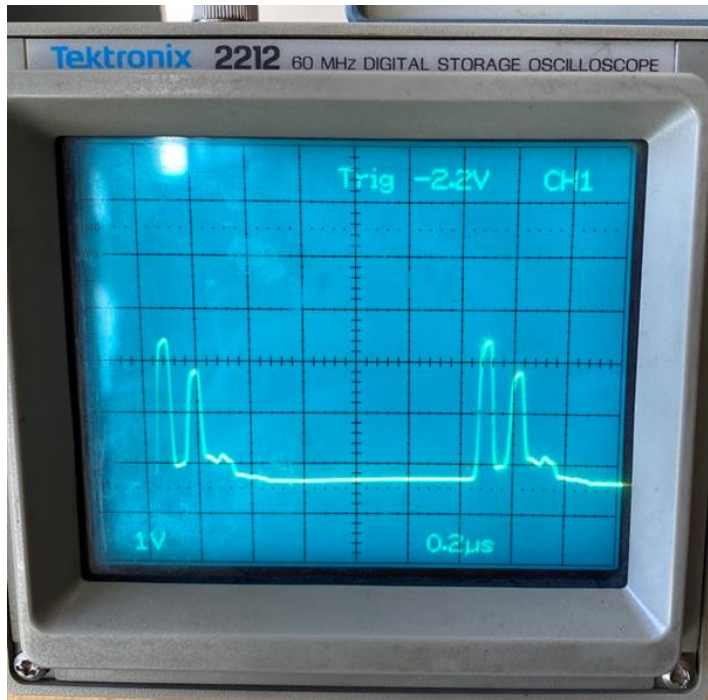
$$\sqrt{f}$$

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

(3)

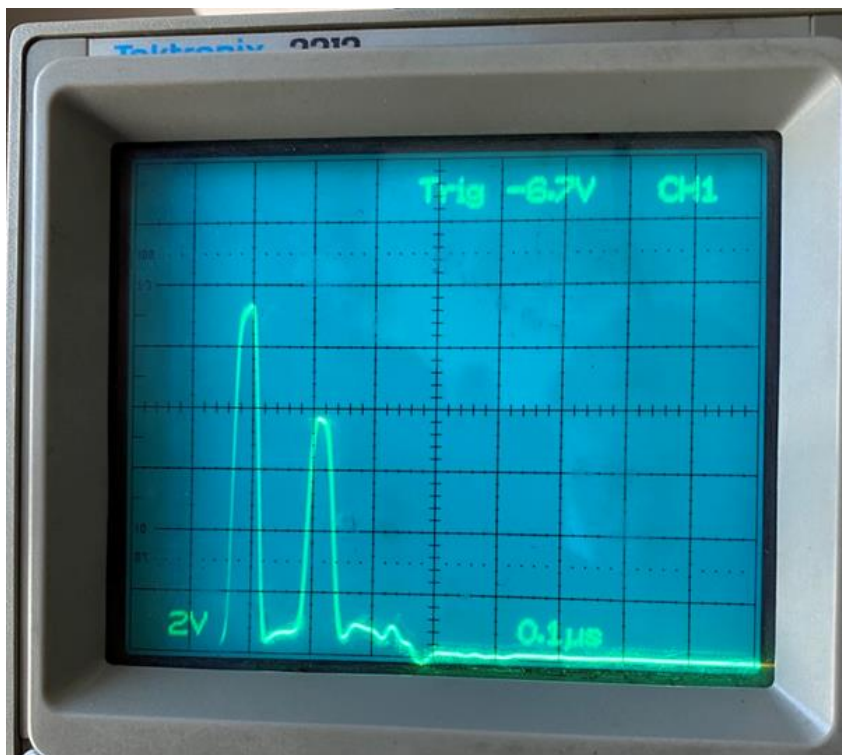
3 Relevé pratique de l'atténuation, de l'impédance caractéristique, du retard de propagation temps estimé : 4.5 h de TP

3.1\TP1 : Mesure de l'impédance caractéristique



Le TP1 m'a permis de comprendre que plus le câble est long, plus il y a d'écho. Nous avons également conclu que l'impédance caractéristique Z_c est égale à Z_r

3.2\TP2 : Mesure du retard de propagation et de V/C



3.3\TP3 : Mesure de l'atténuation A en fonction de la fréquence

f	1	3	5	7	9	11
Vec-c	3,1	2,7	2,75	2,7	2,8	2,7
Vsc-c	2	1,6	1,4	1,1	0,96	0,76
A	1,55	1,68	1,96	2,45	2,92	3,55
A _{db}	3,8	4,56	5,7	7,78	9,31	11

Les sources:

Sources wikipedia , ia generator, fiche constructeur
les autres images matlab sinon prise par mes soins