

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

Le câble coaxial, inventé par **Oliver Heaviside** dans les années 1880, a d'abord été utilisé pour les transmissions téléphoniques et télégraphiques. Son adoption a été rapide grâce à sa capacité à limiter les interférences électromagnétiques. Il est devenu un composant clé dans les télécommunications modernes, notamment pour la télévision câblée et les réseaux Internet.

1.2 Principe

Le câble coaxial est un dispositif de transmission de signaux conçu pour minimiser les pertes et les interférences. Il fonctionne sur le principe de propagation d'ondes électromagnétiques dans un mode appelé TEM (Transverse Electric and Magnetic), où les champs électrique E^\rightarrow et magnétique H^\rightarrow sont perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde K^\rightarrow .

Structure du câble coaxial :

Le câble coaxial est composé de quatre parties principales :

1. **Conducteur central** : En cuivre ou en aluminium, il transporte le signal principal.
2. **Isolant diélectrique** : Entoure le conducteur central pour maintenir une distance fixe entre celui-ci et le blindage. Ce matériau est crucial pour déterminer les caractéristiques électriques comme l'impédance.
3. **Blindage métallique** : Souvent une tresse ou un tube en métal (cuivre ou aluminium), il protège le signal des interférences électromagnétiques externes.
4. **Gaine externe** : Une couche de plastique qui protège le câble contre les dommages mécaniques.

Schéma physique :

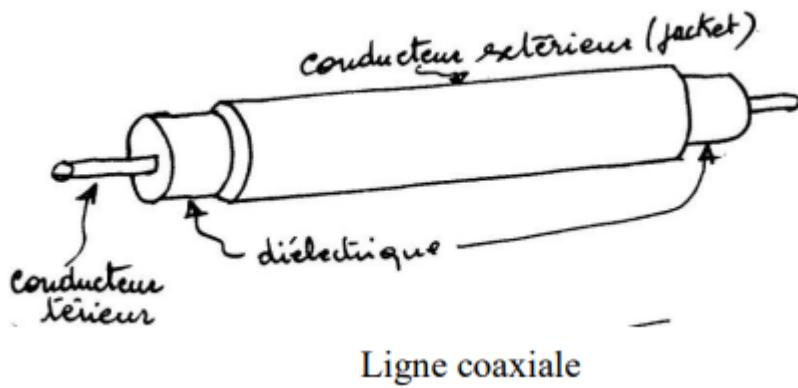
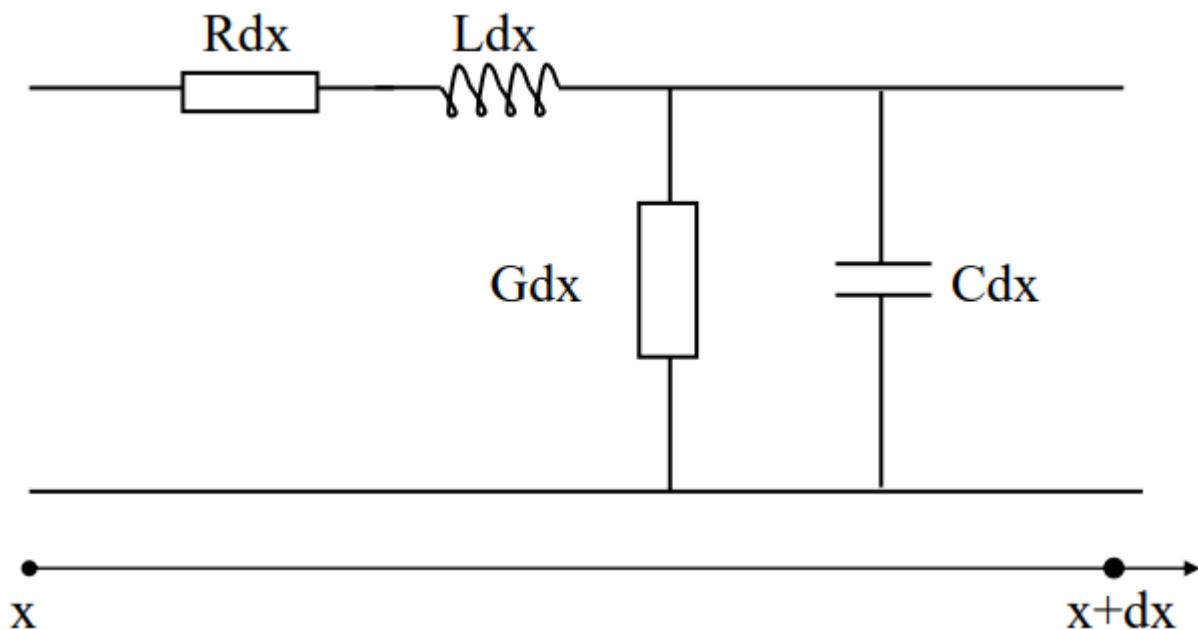


Schéma électrique équivalent :



R_{dx} : Résistance linéaire du conducteur (pertes ohmiques).

L_{dx} : Inductance linéaire liée au champ magnétique interne.

C_{dx} : Capacité linéaire entre le conducteur central et le blindage.

G_{dx} : Perditance diélectrique modélisant les pertes dans l'isolant.

Les signaux se propagent sous forme d'ondes progressives ou stationnaires en fonction des conditions de terminaison.

Mode de propagation TEM

Dans un mode TEM (Transverse Electric and Magnetic) :

- Le champ électrique $E \rightarrow$ est radial entre le conducteur central et le blindage.
- Le champ magnétique $H \rightarrow$ est circulaire autour du conducteur central.
- La direction de propagation $k \rightarrow$ est orthogonale aux deux champs.

Le modèle TEM garantit que :

1. L'énergie se propage efficacement dans la direction du câble.
2. Les perturbations externes ont un impact minimal grâce au blindage.

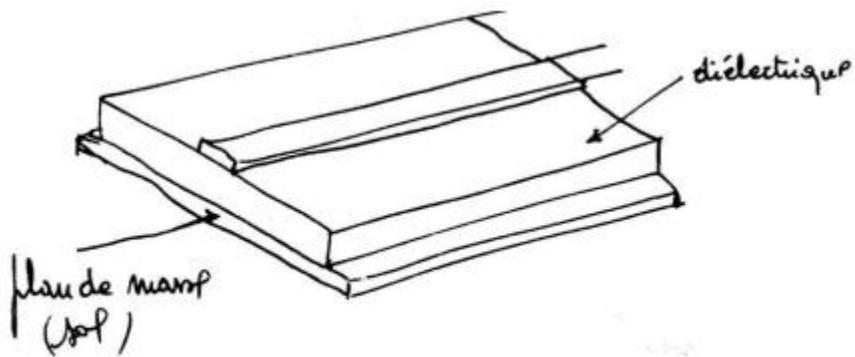
3 modes de propagation TEM :

1. Ligne bifilaire



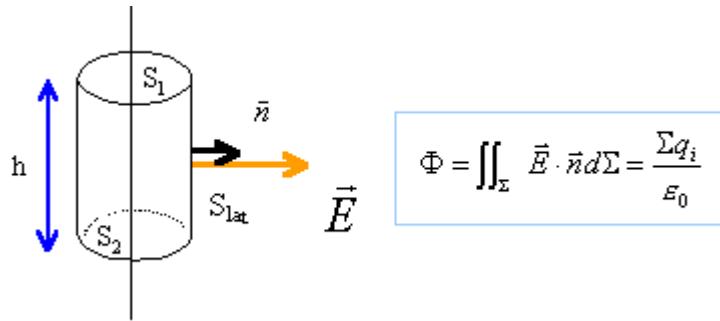
2. Ligne coaxial (voir ci-dessus)

3. Ligne micro ruban



Ligne microruban

Illustration des champs dans un câble coaxial



Conclusion

Le principe du câble coaxial repose sur son architecture unique et la propagation TEM, ce qui le rend indispensable pour les applications nécessitant :

- Une faible atténuation.
- Une grande immunité aux interférences.
- Une adaptation facile aux systèmes à haute fréquence.

1.3 Usage

Le câble coaxial est un support de transmission polyvalent, utilisé dans une grande variété d'applications nécessitant une propagation fiable des signaux électromagnétiques. Sa conception unique, permettant une bonne immunité aux interférences et une faible atténuation, le rend indispensable dans les domaines suivants :

Transmission de données numériques

Le câble coaxial est couramment utilisé dans les réseaux de communication, notamment :

Télévision câblée : Il transmet des signaux vidéo et audio depuis les stations de diffusion aux foyers.

Internet haut débit : Les technologies DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) utilisent le câble coaxial pour fournir un accès à Internet avec un débit élevé.

Applications en radiofréquences (RF)

Le câble coaxial est largement utilisé pour les signaux RF dans :

Antennes TV et paraboles : Reliant les antennes ou paraboles aux récepteurs.

Systèmes de communication sans fil : Transfert de signaux entre équipements RF.

Utilisation en instrumentation

Les câbles coaxiaux jouent un rôle clé dans la mesure et l'analyse :

Oscilloscopes : Les sondes coaxiales transmettent les signaux électriques sans déformation ni perte significative.

Analyseurs de spectre : Pour les tests de compatibilité électromagnétique.

Environnements industriels

Le câble coaxial est employé dans des systèmes critiques nécessitant une transmission stable et résistante aux interférences :

Contrôle des équipements industriels.

Réseaux de vidéosurveillance (CCTV).

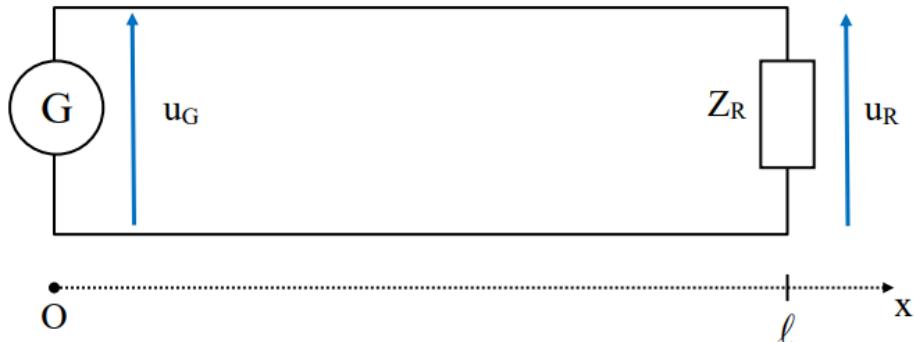
Applications militaires et médicales

Grâce à sa robustesse et sa capacité à transmettre des signaux sensibles :

Militaire : Transmissions sécurisées dans les systèmes radar et les communications militaires.

Médical : Utilisé dans les scanners IRM et autres équipements nécessitant une qualité de signal élevée.

Soit une ligne de transmission de longueur ℓ , alimentée à une extrémité par un générateur de tension H.F. qui délivre une onde de longueur d'onde λ et fermée à l'autre extrémité sur une impédance Z_R .



En haute fréquence, dès que la ligne n'est pas de longueur très faible devant λ , on ne peut la modéliser par un quadripôle unique qui représenterait le comportement électrique de la ligne prise dans sa totalité.

⇒ On ne peut plus écrire $u_R = u_G$

1.4 Principales données constructeur

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

Les caractéristiques techniques des câbles coaxiaux, comme celles du modèle étudié (KX22A), sont importantes pour évaluer leurs performances. Les données suivantes sont essentielles pour la compréhension et l'exploitation du câble.

- Impédance caractéristique (Z_c)

L'impédance caractéristique est une propriété fondamentale définie par les paramètres primaires de la ligne ($R, L, C, GR, L, C, GR, L, C, G$). Elle est donnée par la formule :

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j \cdot L\omega}{G + j \cdot C\omega}}$$

Où :

- R : résistance linéique (ohms/mètre).
- L : inductance linéique (henry/mètre).
- G : conductance diélectrique (siemens/mètre).
- C : capacité linéique (farads/mètre).

- Atténuation

L'atténuation représente la perte de signal en fonction de la fréquence et de la longueur du câble. Elle est exprimée en dB/m selon :

On note aussi que $\gamma = \alpha + j\beta \Rightarrow \alpha$ est la constante d'atténuation (en dB/m ou Neper/m ; $1Np = 0,1151dB$) $\Rightarrow \beta$ est la constante de phase.

- Retard de propagation

Le retard de propagation (τ (tau)) est le temps que met un signal pour parcourir une certaine longueur de câble.

Il dépend de la vitesse de propagation des ondes dans le câble

- Bande passante

La bande passante d'un câble coaxial est déterminée par son atténuation maximale tolérable.

Pour des applications comme la télévision et l'Internet, le KX22A offre une bande passante suffisante pour couvrir des fréquences allant jusqu'à plusieurs centaines de MHz.

- Réflexion et adaptation

En l'absence d'adaptation d'impédance (Z_c different de Z_R), des réflexions se produisent, caractérisées par un coefficient :

$$\tilde{\Gamma} = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C}$$

$\tilde{\Gamma} = |\tilde{\Gamma}| \cdot e^{j\cdot\varphi}$ peut être un nombre complexe.

Résumé des données constructeur pour le cable KX22A :

Paramètre	Valeur typique
Impédance caractéristique	50 Ohm
Atténuation à 40 MHz	34,8 dB
Retard de propagation	66% c
Bande passante	>100 MHz

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

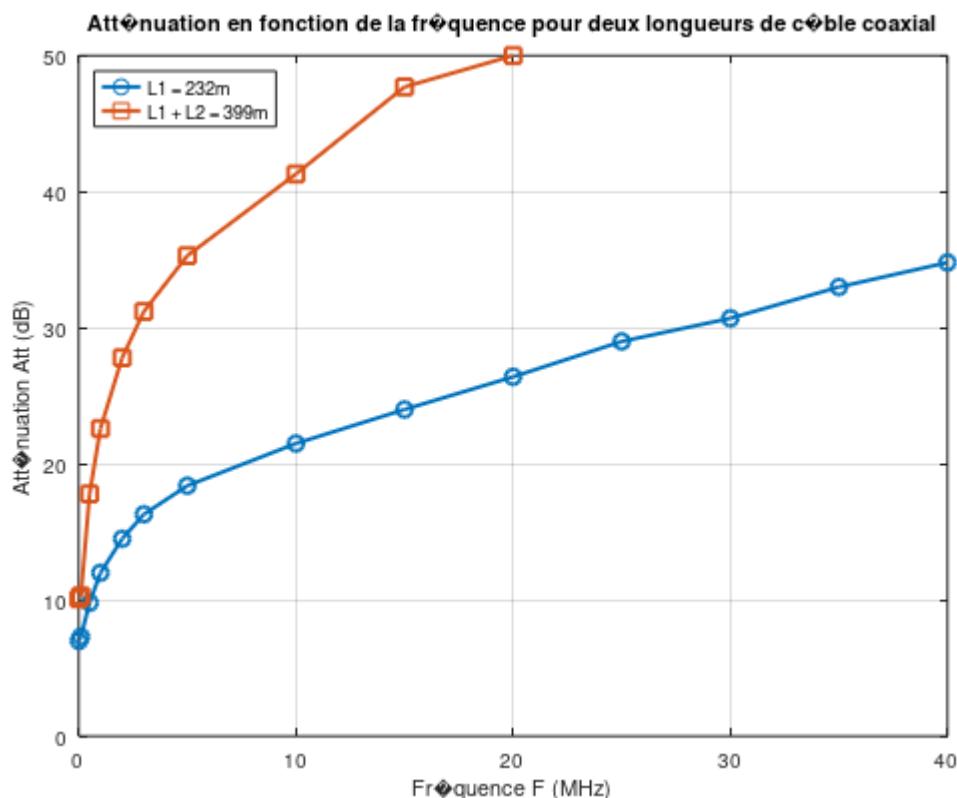
F(MHz)	Att(dB) pour $L_1 = 232m$	Att(dB) pour $L_1 = 232m + L_2 = 399m$
0.01	7	10.1
0.1	7.3	10.3
0.5	9.8	17.8
1	12	22.6
2	14.5	27.8
3	16.3	31.2
5	18.4	35.3
10	21.5	41.3
15	24	47.7
20	26.4	50
25	29	
30	30.7	
35	33	
40	34.8	

On peut approximer l'atténuation par la formule théorique :

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

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.

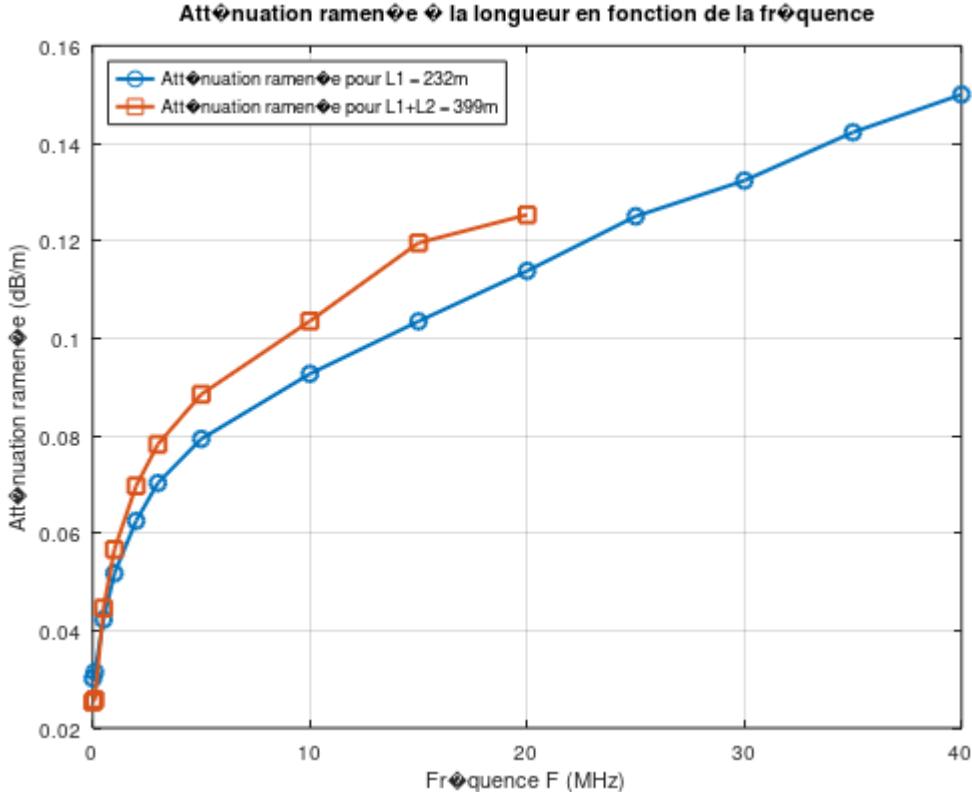


```

octave:1> F = [0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40];
octave:2> 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];
octave:3> 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];
octave:4> figure;
octave:5> plot(F, Att_L1, '-o', 'LineWidth', 1.5, 'MarkerSize', 6, 'DisplayName', 'L1 = 232m');
octave:6> hold on;
octave:7> plot(F, Att_L1_L2, '-s', 'LineWidth', 1.5, 'MarkerSize', 6, 'DisplayName', 'L1 + L2 = 399m');
octave:8> hold off;
octave:9> grid on;
octave:10> title('Atténuation en fonction de la fréquence pour deux longueurs de câble coaxial');
octave:11> xlabel('Fréquence F (MHz)');
octave:12> ylabel('Atténuation Att (dB)');
octave:13> 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?



```

octave:1> F = [0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40];
octave:2> 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];
octave:3> 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];
octave:4> L1 = 232;
octave:5> L1_L2 = 399;
octave:6> Att_dBm_L1 = Att_L1 / L1;
octave:7> Att_dBm_L1_L2 = Att_L1_L2 / L1_L2;
octave:8> figure;
octave:9> plot(F, Att_dBm_L1, '-o', 'LineWidth', 1.5, 'MarkerSize', 6, 'DisplayName', 'Atténuation ramenée pour L1 = 232m');
octave:10> hold on;
octave:11> plot(F, Att_dBm_L1_L2, '-s', 'LineWidth', 1.5, 'MarkerSize', 6, 'DisplayName', 'Atténuation ramenée pour L1+L2 = 399m');
octave:12> hold off;
octave:13> grid on;
octave:14> title('Atténuation ramenée à la longueur en fonction de la fréquence');
octave:15> xlabel('Fréquence F (MHz)');
octave:16> ylabel('Atténuation ramenée (dB/m)');
octave:17> legend('Location', 'northwest');
octave:18>

```

L'atténuation augmente linéairement avec la fréquence.

Cohérent avec la formule théorique : $A_{dB/m}(f) = \alpha * \sqrt{f}$

Aux hautes fréquences (au-delà de 15-20 MHz), les atténuations peuvent légèrement diverger à cause des pertes supplémentaires ou des erreurs de mesure.

2.1.3 Trouver α

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

On isole α : $\alpha = A_{dB/m}(f) / \sqrt{f}$

On isole α : $\alpha = A_{dB/m}(f) / \sqrt{f}$

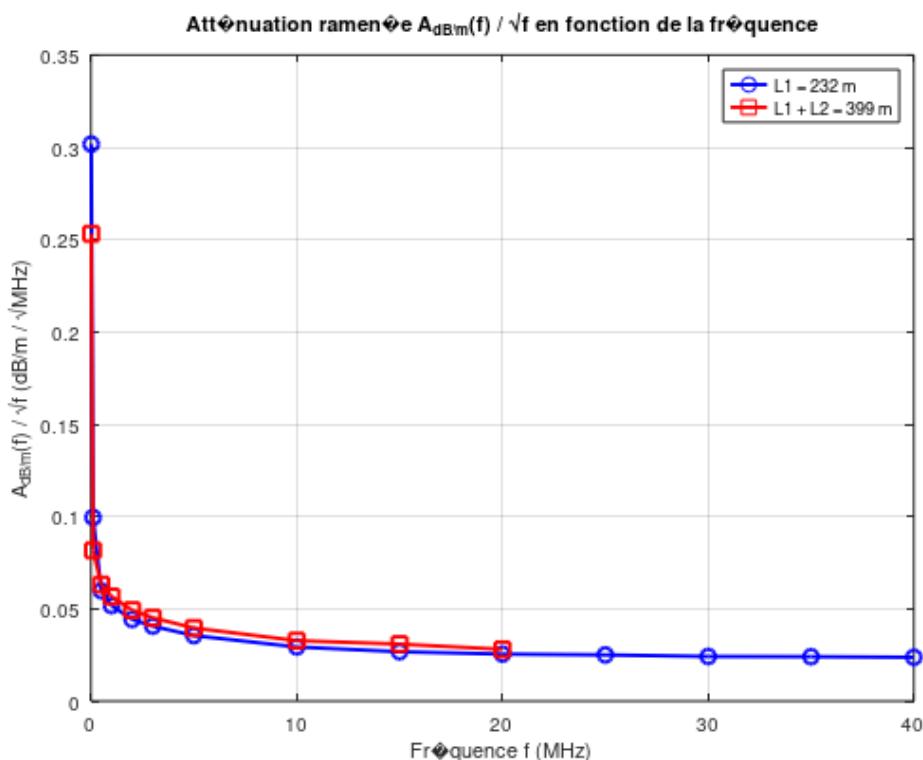
Exemple avec $f = 10 \text{ MHz}$

$$A_{dB/m}(10) = 21.5/232 = 0.0927 \text{ dB/m}$$

$$\alpha = 0.0927/\sqrt{10} = 0.0293$$

$\sqrt{}$

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 :

$$\alpha = 0.0293 \text{ (de ce qu'on a déduit 2.1.3.1)} \quad (2)$$

et la loi correspondante :

$$A_{dB/m}(f) = 1.2 * \sqrt{f} \quad (3)$$

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