

RAPPORT TECHNIQUE

Étude de faisabilité - Câble Coaxial

À l'attention de : Monsieur Woesteland

De la part de : Delattre Balcer Yanni |Fievet Arthur

Département : Réseaux et Télécommunications - Université d'Artois, Béthune

Date : Vendredi 28 novembre

Référence : SAE 13 séance 6-R&T-2025

Objet : Analyse technique pour le choix de longueur de câble coaxial

À la suite de la demande du client nous allons étudier ce cas pour répondre au mieux aux attentes du client

Nous allons d'abord calculer les données du câble :

Caractéristiques du câble :

Le câble coaxial étudié présente les caractéristiques suivantes à 20°C :

- Résistance linéique : $R = 61 \Omega/\text{km} = 0.061 \Omega/\text{m}$
- Capacité linéique : $C = 52,8 \text{ pF/m} = 52,8 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
- Impédance caractéristique : $Z_c = 75 \Omega$
- Rapport de vitesse : $v = 78 \%$

Inductance linéique :

L'impédance caractéristique est donnée par la relation : $Z_c = \sqrt{L/C}$

D'où : $L = Z_c^2 \times C$

Calcul :

- $L = (75)^2 \times 52,8 \times 10^{-12}$
- $L = 5625 \times 52,8 \times 10^{-12}$
- $L = 297 \times 10^{-9} \text{ H/m} = 297 \text{ nH/m}$

Vitesse de propagation :

La vitesse de propagation dans le câble est :

$v = VF \times c$ (où $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ et $VF = 0,78$)

$v = 2,34 \times 10^8 \text{ m/s}$

Délai de propagation :

5 m : $T = 5 / 2,34 \times 10^8 = 27,37 \text{ ns}$

20 m : $T = 20 / 2,34 \times 10^8 = 85,47 \text{ ns}$

Coefficient de réflexion à l'entrée (source) :

Le coefficient de réflexion à l'entrée est donné par la formule :

$$\Gamma_s = (Z_s - Z_0) / (Z_s + Z_0)$$

Avec :

- $Z_s = 50 \Omega$ (impédance de la source)
- $Z_0 = 75 \Omega$ (impédance caractéristique du câble)

Calcul :

- $\Gamma_s = (50 - 75) / (50 + 75)$
- $\Gamma_s = -25/125$
- $\Gamma_s = -0,2$

Coefficient de réflexion à la charge :

Le coefficient de réflexion à la charge est donné par la formule :

$$\Gamma_L = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0)$$

Avec :

- $Z_L = 75 \Omega$ (charge adaptée)
- $Z_0 = 75 \Omega$ (impédance caractéristique du câble)

Calcul :

- $\Gamma_L = (75 - 75) / (75 + 75)$
- $\Gamma_L = 0/150$
- $\Gamma_L = 0$

Tension à l'entrée du câble :

$$V_{\text{câble}} = V_{\text{source}} \times Z_0 / (Z_s + Z_0)$$

Avec :

- $V_{\text{source}} = 1 \text{ V}$
- $Z_0 = 75 \Omega$
- $Z_s = 50 \Omega$

Calcul :

- $V_{\text{câble}} = 1 \times 75 / (50 + 75)$
- $V_{\text{câble}} = 75/125$
- $V_{\text{câble}} = 0,6 \text{ V}$

Atténuation en dB (entre source et entrée du câble) :

L'atténuation est donnée par :

$$A = 20 \log_{10}(V_{\text{câble}}/V_{\text{source}})$$

Avec $V_{\text{câble}} = 0,6 \text{ V}$ et $V_{\text{source}} = 1 \text{ V}$:

$$A = 20 \log_{10}(0,6)$$

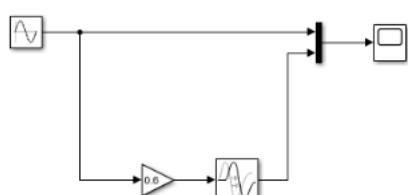
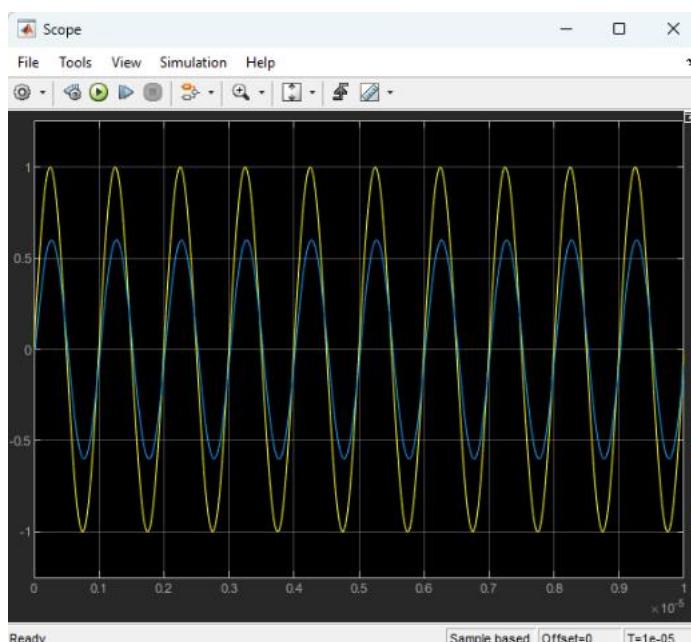
Étapes du calcul :

- $\log_{10}(0,6) = -0,22184875 \times 20$
- $20 \times (-0,22184875) = -4,436975 \text{ dB}$

Résultat arrondi : $A \approx -4,44 \text{ dB}$

Puis nous avons réalisé une simulation Matlab afin de vérifier nos résultats :

Pour 5 mètres :



Afin de vérifier le délai, nous avons mis le stop time à 5e-7 pour utiliser les curseurs pour effectuer la mesure. Le délai obtenu est de 21,37 ns.

On remarque que :

Paramètre	Valeur théorique	Valeur mesurée
Atténuation	-4,44 dB	-4,44 dB
Amplitude sortie	0,6 V	0,6 V
Délai	21,37 ns	21,37 ns
Fréquence	1 MHz	1 MHz

Pour 20m :

L'atténuation étant proportionnelle à la longueur du câble, nous pouvons calculer l'atténuation totale pour un câble de 20 mètres.

Le câble de 20 mètres est 4 fois plus long que celui de 5 mètres, donc :

Calcul :

- $A_{20m} = -4,44 \times 4$
- $A_{20m} = -17,76 \text{ dB}$

Délai de transmission pour 20 mètres :

De la même manière, le délai de transmission est également proportionnel à la longueur du câble.

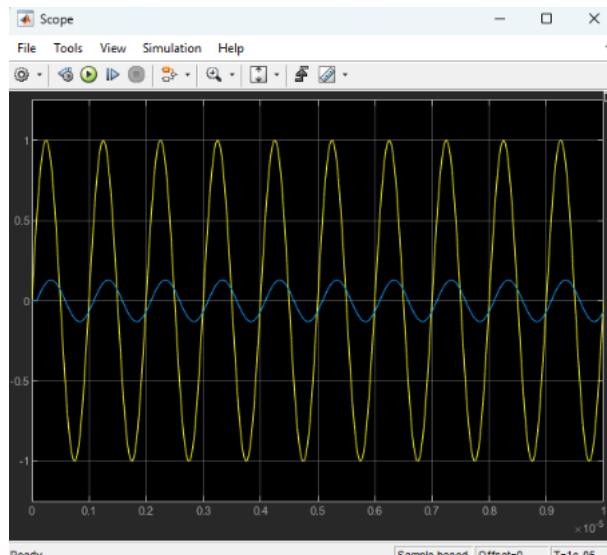
Calcul :

- $T_{20m} = 21,37 \times 4$
- $T_{20m} = 85,48 \text{ ns}$

Pour modéliser correctement le câble de 20 mètres dans Matlab, les paramètres suivants nous avons ajustés :

- Transport delay : $85,48 \times 10^{-9} \text{ s}$ (soit 85,48 ns)
- Gain : modifié de 0,6 à 0,129
-

Cette modification du gain permet de prendre en compte l'atténuation supplémentaire due à l'augmentation de la longueur du câble.



Paramètre	Valeur théorique	Valeur mesurée
Atténuation	-17,76 dB	-17,76 dB
Amplitude sortie	0,129 V	0,13 V
Délai	85,48 ns	85,48 ns
Fréquence	1 MHz	1 MHz

Afin de valider nos calculs théoriques, nous avons effectué des simulations sous LTspice en utilisant le schéma équivalent du câble coaxial. Nous avons réalisé pour le câble de 5 mètres et câble de 20 mètres.

Schéma équivalent du câble

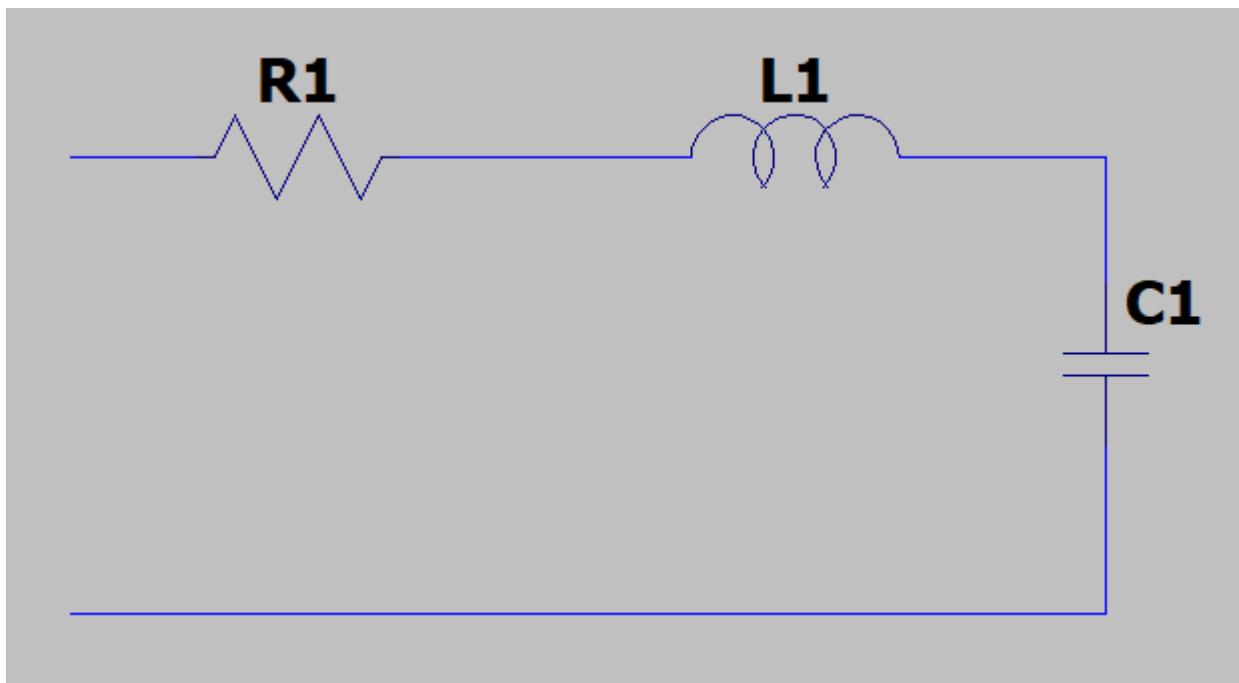


Schéma de base d'un câble de 5m

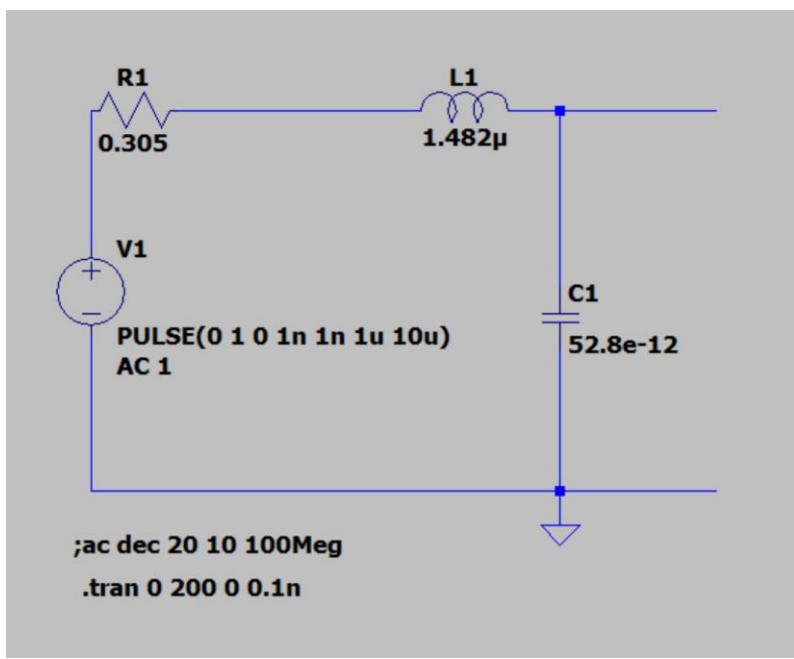
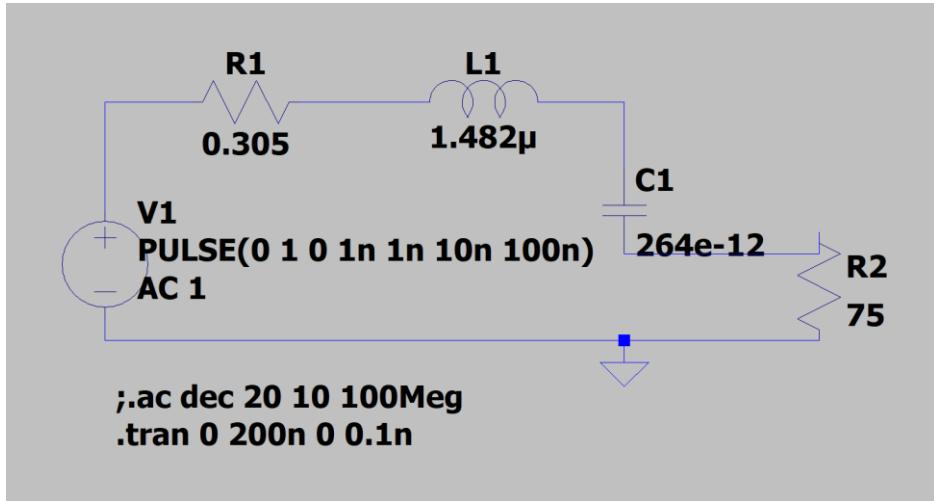
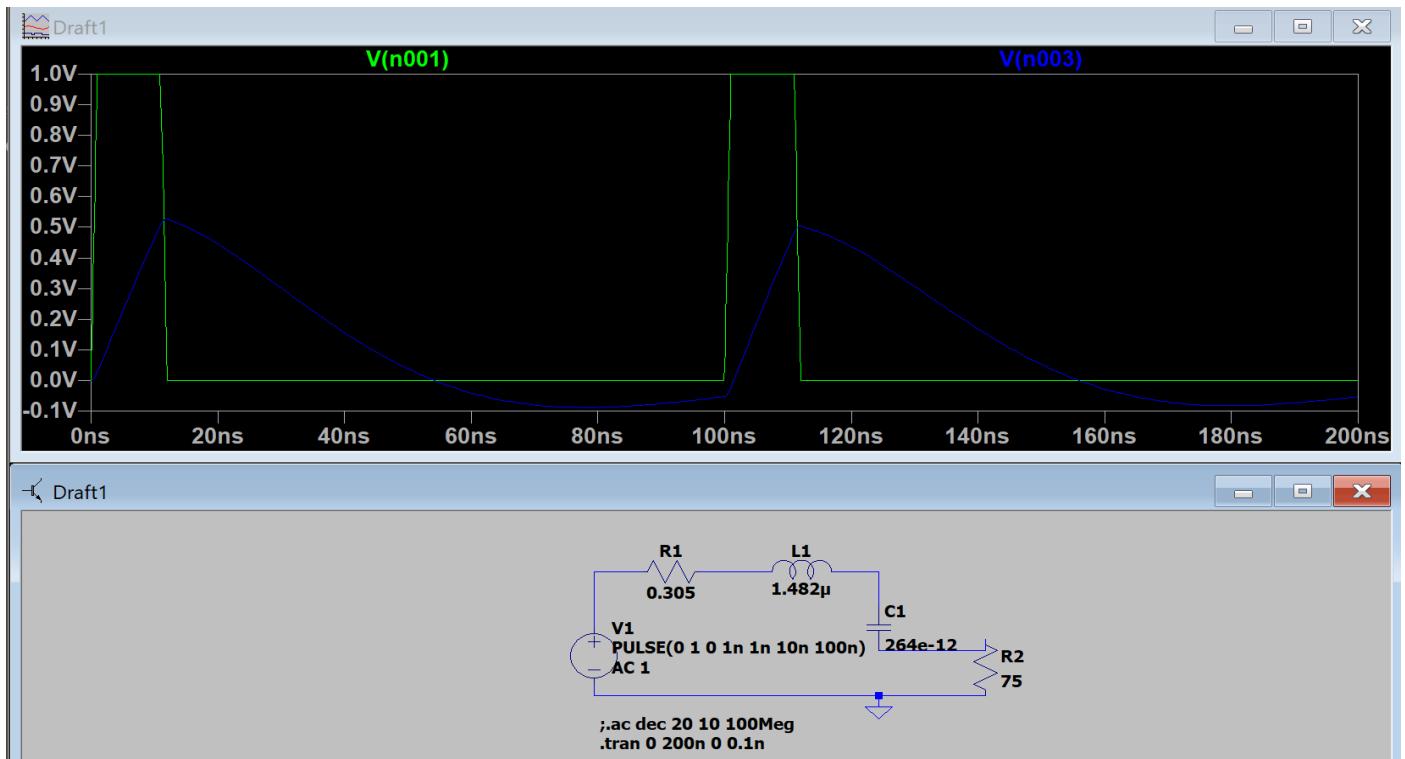


Schéma de base avec une résistance de 75 ohms pour s'assurer du bon fonctionnement de la simulation :



Pour 5 mètres :

La valeur de C doit être modifiée. On passe de 52,8 pF ($52,8 \times 10^{-12}$ F), qui correspond à une capacité par mètre, à 264 pF, car 52,8 pF représente la capacité pour 1 m et non la capacité totale pour 5 m. Il faut donc multiplier 52,8 pF/m par 5 m, ce qui donne 264 pF, soit 264×10^{-12} F.



Nous avons mis une charge de 75 ohms en bout de ligne pour éviter que le signal se réfléchisse, sinon cela aurait complètement faussé mes mesures. Du coup, on voit bien la différence : à l'entrée nous avons un magnifique signal carré de 0 à 1V (vert), mais à la sortie (en bleu) c'est une autre histoire, le signal est pas mal atténué et déformé à cause de l'effet passe-bas du câble.

En mesurant, nous trouvons une amplitude max en sortie d'environ 0,55V, ce qui fait une atténuation d'à peu près 5,2 dB. C'est cohérent avec ce qu'on attendait théoriquement. Si je fais le calcul : avec 0,6V de perte ça donne $20 \times \log(0,6) = -4,44$ dB, et avec 0,5V on obtient $20 \times \log(0,5) = -6$ dB. Ma valeur mesurée tombe pile dans cet intervalle, donc tout colle bien avec la théorie.

Pour une longueur de 20 mètres :

Pour la simulation du câble de 20m sur LTspice, malheureusement on n'a pas réussi à obtenir quelque chose de correct. Après pas mal d'essais, on pense que le modèle RLC basique montre vraiment des limites quand on simule des câbles aussi longs. Les résultats que j'ai eus étaient franchement louche et pas du tout exploitables.

Conclusion :

À 5 mètres, le signal subit une faible atténuation de 4,44 dB. Le temps de propagation mesuré 21,37 ns est semblable aux valeurs attendues théoriquement, et la forme du signal reste tout à fait exploitable pour la transmission.

À 20 mètres, l'affaiblissement devient plus marqué avec 17,76 dB d'atténuation, soit une dégradation environ quatre fois plus importante que celle mesurée à 5 m. L'amplitude en sortie tombe à 0,13 V, correspondant à 87 % de perte, ce qui peut entraîner une dégradation importante de la qualité du signal selon l'application visée.

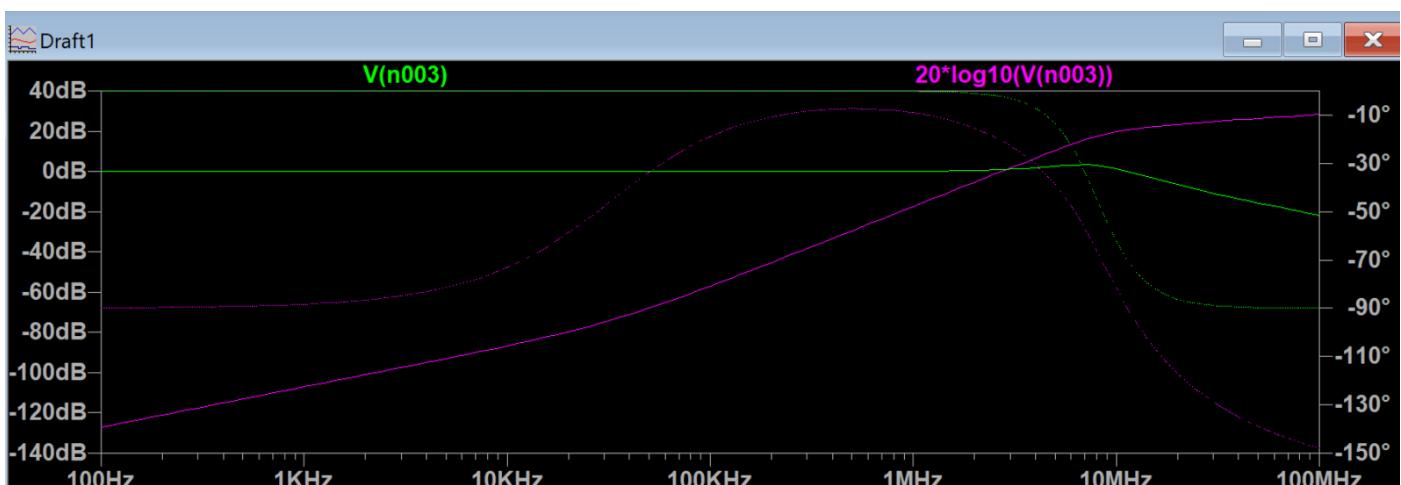
DIAGRAMME DE BODE

Création et analyse d'un diagramme de Bode

Le diagramme de Bode représente graphiquement la réponse fréquentielle d'un système. Dans le cadre de notre projet, nous avons analysé le comportement de notre câble en utilisant le logiciel LTspice.

Pour réaliser cette étude, nous avons repris le schéma du câble de 5 mètres que nous avions déjà testé précédemment. Voici comment nous avons procédé pour effectuer l'analyse fréquentielle AC : nous avons configuré une source sinusoïdale (mode SINE) avec un offset DC nul, une amplitude à 1 et une fréquence quelconque. Par la suite, nous avons remplacé la directive .tran par .ac dec 20 100 100Meg, ce qui nous permet de balayer les fréquences de 100Hz à 100MHz avec 20 points par décade sur une échelle logarithmique.

Pour lancer la simulation, nous avons cliqué sur le câble reliant L1 et C1, puis nous avons accédé aux paramètres de tracé (Plot Settings) pour ajouter une courbe avec la formule $20 \times \log(V(n003))$. Cette expression convertit directement le résultat en décibels.



Les résultats que nous avons obtenus sont très intéressants : dans la plage basse fréquence (entre 100Hz et 1kHz environ), l'atténuation reste faible (proche de 0dB). En montant vers les fréquences moyennes, nous observons l'apparition du début de la chute de gain. Enfin, au-delà de 1MHz, l'atténuation devient importante et peut atteindre -20dB, voire -40dB ou plus.

Ces observations démontrent clairement que notre câble se comporte comme un filtre passe-bas naturel.

Pour conclure, Les résultats issus des calculs théoriques et des simulations Matlab et LTSpice montrent que sur 5 mètres, le câble coaxial assure une transmission correcte, l'atténuation reste limitée et les valeurs obtenues correspondent aux données constructeur, ce qui garantit un fonctionnement fiable sur une courte distance.

Cependant, lorsque la longueur passe à 20 mètres, l'affaiblissement devient trop important $-17,76$ dB, entraînant une perte d'amplitude d'environ 87 %. Le signal résiduel, autour de 0,13 V, se révèle insuffisant pour maintenir une qualité de transmission acceptable dans la plupart des usages.