

2025

SAE 103 -
SEANCE 6

ANALYSE D'UN CÂBLE COAXIAL : ÉTUDE THÉORIQUE ET SIMULATIONS

**Alex Joveniaux
Briac Le Meillat**

SOMMAIRE

- Introduction et Objectifs** 1
- Calculs Théoriques** 2
- Simulations MatLab/Simulink** 3
- Simulations LTspice** 4
- Diagramme de Bode** 5
- Bilan** 6

CONTEXTE

Un client nous a fourni les caractéristiques d'une bobine de câble coaxial qu'il vient d'acquérir. Il souhaite évaluer la faisabilité d'utilisation de ce câble sur des longueurs de 5 mètres et 20 mètres.

MISSION

A l'aide des outils de simulation LTspice et MatLab/Simulink, nous devons déterminer :

- le schémas équivalent du câble
- la réponse fréquentielle pour les deux longueurs
- le délai de transmission pour les deux longueurs
- la viabilité technique de chaque configuration

CARACTÉRISTIQUES DU CÂBLE COAXIAL

D'après la documentation constructeur, le câble présente les caractéristiques suivantes :

Paramètre	Valeur
Impédance caractéristique(Z_c)	75 Ω
Capacité linéique(c)	52,8 pF/m
Inductance linéique(l)	296,3nH/m
Résistance linéique (r)	61 mΩ/m
Vitesse de propagation(v_p)	234×10^6 m/s

CARACTÉRISTIQUES DU CÂBLE COAXIAL

Nous avons donc calculé les données du câble

Résistance : $67 \Omega / \text{km} = 0,067 \Omega / \text{m}$
 Capacité : 52.8 pF/m
 Impédance : 75Ω
 Vitesse : 78%

Calculs :

Formule de l'inductance = $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{c}}$

$$L = Z_0^2 \times C$$

$$L = 75^2 \times 52.8 \times 10^{-12}$$

$$L = 296.7 \text{ mH/m}$$

Vitesse de propagation

$$V = c \times \sqrt{F} = 3 \times 10^8 \times 0.78 = 2.34 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Délai de propagation

5 m : $T = \frac{5}{2.34 \times 10^8} = 21.37 \text{ ms}$

2.0 m : $T = \frac{2.0}{2.34 \times 10^8} = 85.47 \text{ ms}$

Coeff de réflexion source :

$$\Gamma_s = \frac{Z_L - Z_0}{Z_0 + Z_L} = \frac{50 - 75}{50 + 75} = \frac{-25}{125} = -0.2$$

Coeff de réflexion charge :

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{75 - 50}{75 + 50} = \frac{25}{125} = 0.2$$

Tensions aux bornes du câble :

$$V_{câble} = V_{source} \times \frac{2}{Z_0 + Z_L}$$

$$V_{câble} = 1 \times \frac{25}{50 + 25} = \frac{25}{75} = 0.6 \text{ V}$$

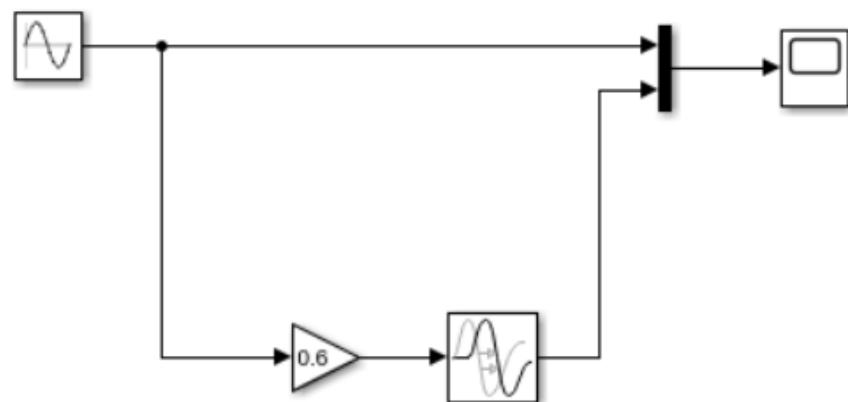
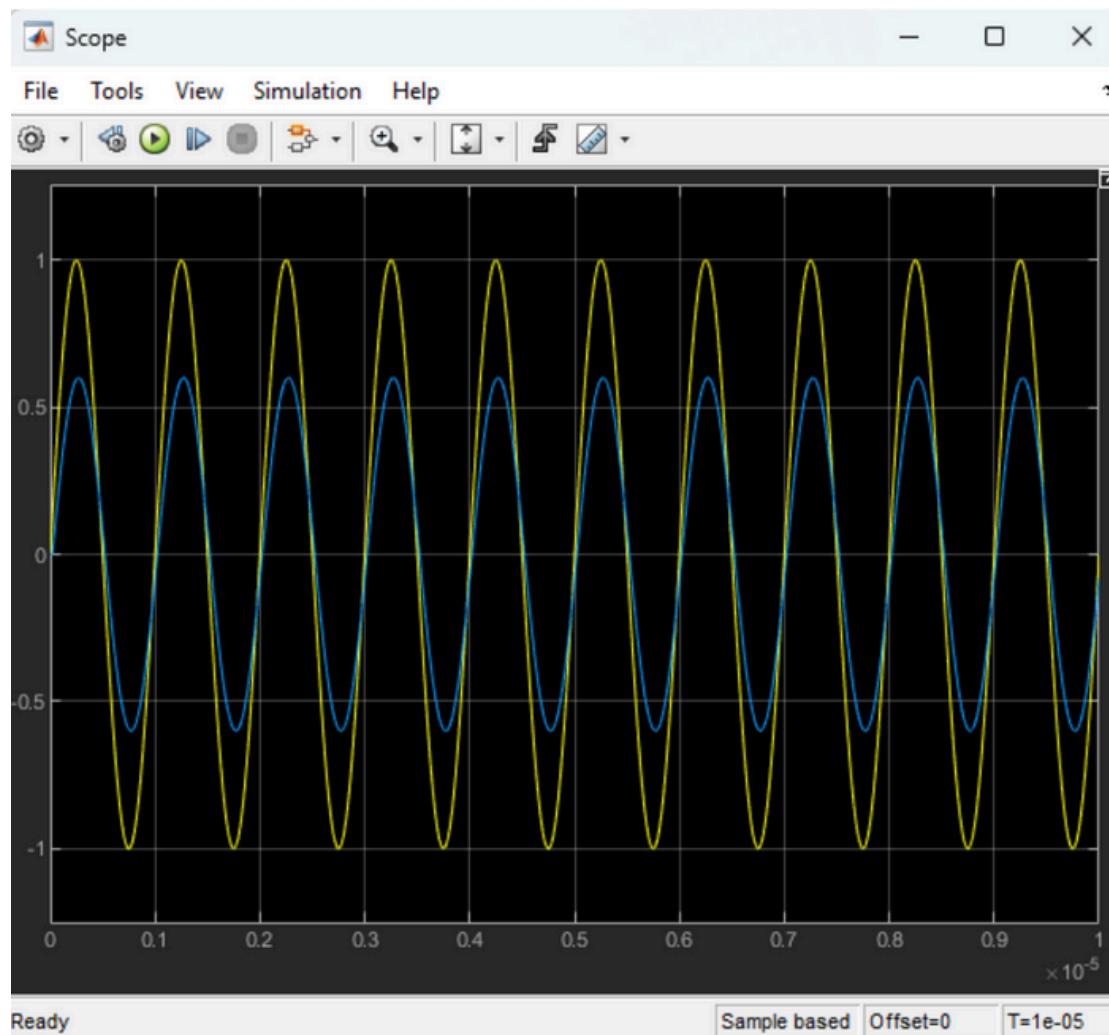
Afférmation en dB :

$$20 \times \log(0.6) = 20 \times (-0.2278) = \boxed{-1.44 \text{ dB}}$$

CONFIGURATION 5M

Puis nous avons réalisé une simulation MatLab/Simulink avec le bloc “Transmission Line” pour modéliser le câble, afin de vérifier nos résultats

Pour 5m



CONFIGURATION 5M

Afin de vérifier le délai on passe le stop time à 5e-7 et on utilise les curseurs.,.

Le délai mesuré est de 21,37 ns.

On remarque que :

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

CONFIGURATION 20M

Pour 20m

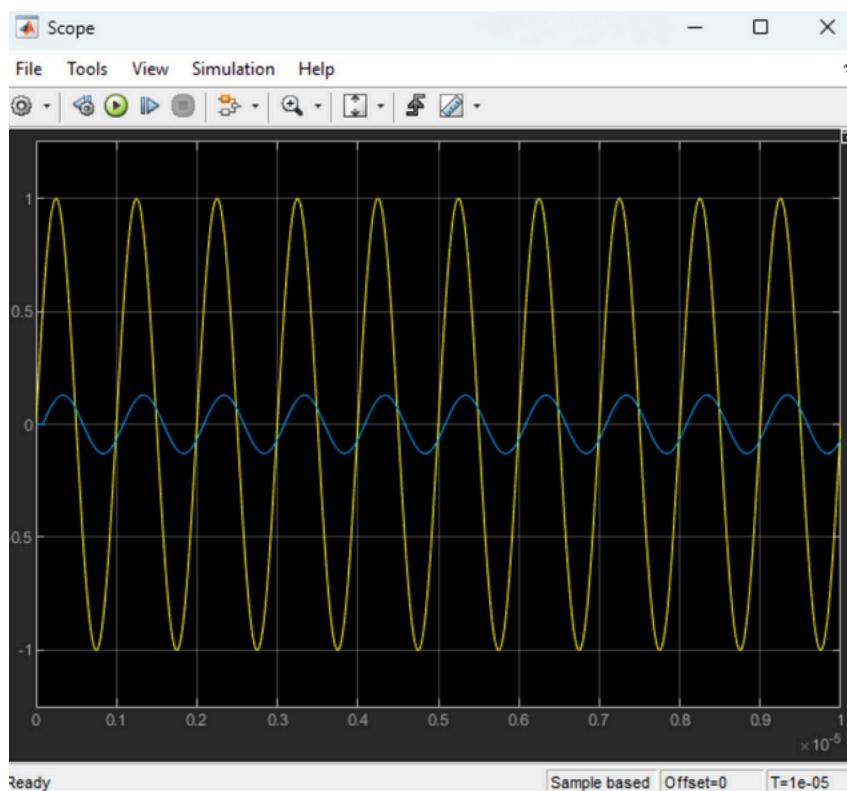
L'atténuation est proportionnelle à la longueur :

$$-4,44 * 4 = -17,76 \text{ dB}$$

Le délai de transmission lui aussi est proportionnel :

$$21,37 * 4 = 85,48 \text{ ns}$$

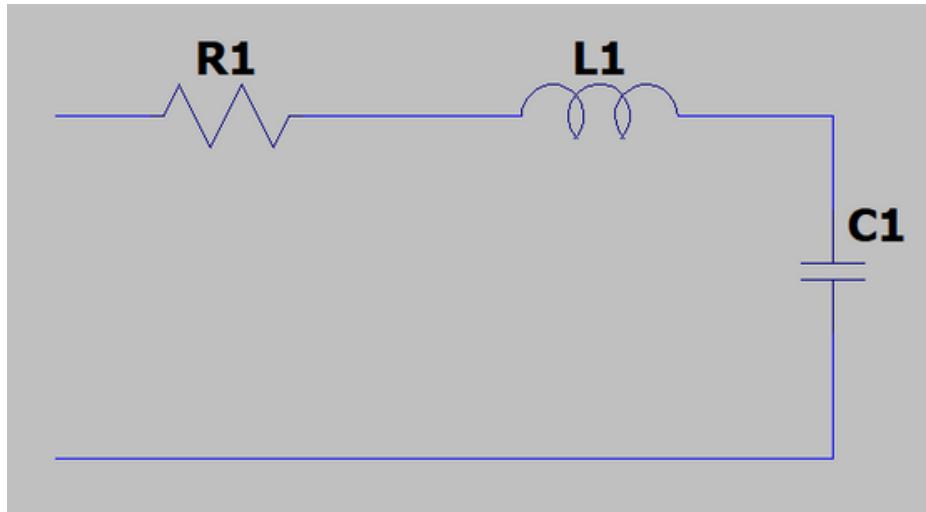
Nous avons changé le transport delay à 85.48e^{-9} et le gain de 0.6 à 0.129 sur Matlab



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

SCHÉMAS ÉQUIVALENT DU CÂBLE

Maintenant via LTspice nous avons fait la simulation pour un câble de 5m et 20m après avoir fait le schéma équivalent du câble



Ainsi qu'avoir calculé au préalable les valeurs de RLC nécessaire à une simulation pour un câble de 5m ainsi que pour un câble de 20m :

CALCULS PRÉALABLES

$Z_c = \sqrt{\frac{l}{c}} = \cancel{}$

$\checkmark = \frac{1}{\sqrt{l \times c}} \Leftrightarrow \frac{c}{\sqrt{l \times c}}$

impédance caractéristique
vitesse de propagation
en fin de ligne un % de décalage

ici $V = 78\% \approx 34 \times 10^8$
 $= 34 \times 10^8 \text{ m/s}$

$R_c = 75 \Omega$

~~l = 5m~~

$c = \frac{l}{Z_c V} \text{ F/m}$

capacité linéaire

$Z_c = \sqrt{\frac{l}{c}}$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{l \times c}}$

$l = Z_c^2 \times c$

$l = \frac{1}{\omega^2 \times c}$

~~$l = \frac{75^2 \times 5 \times 10^{-12}}{2 \pi \times 52,8 \times 10^{-9} \text{ H/m}} = 287 \text{ mH/m}$~~

~~l = longueur celle-ci~~

$\frac{5}{2 \pi \times 10^8} = 2,13 \times 10^{-8} \text{ s} \Rightarrow 21,3 \text{ ns}$

$\frac{20}{2,13 \times 10^8} = 8,55 \times 10^{-8} \text{ s} \Rightarrow 85,5 \text{ ns}$

$R_1 = \text{résistance totale} = \frac{V}{I} \times \text{longueur}$

$L_1 = \text{inductance totale} = l \times \text{vitesse de propagation}$

$C_1 = \text{capacité totale} = c \times \text{longueur}$

~~capacité linéaire~~

$R_1 = \frac{V}{I} \times \text{longueur} = 0,061 \times 5 = 0,305 \Omega$

$R_{100\mu\text{m}} = R \times \text{longueur} = 0,061 \times 70 = 1,22 \Omega$

$C_{5\mu\text{m}} = c \times \text{longueur} = 52,8 \times 5 = 264 \text{ pF}$

$C_{70\mu\text{m}} = c \times \text{longueur} = 52,8 \times 70 = 1,056 \text{ nF} = 1,056 \mu\text{F}$

$I = 287 \text{ mA/m} \text{ (calculé précédemment)}$

$I_1 = I \times \text{longueur} = 287 \times 5 = 1485 \text{ mA} = 1,485 \mu\text{A}$

$I_{100\mu\text{m}} = I \times \text{longueur} = 287 \times 5 = 5940 \text{ nA} = 5,94 \mu\text{A}$

Schéma de base pour la simulation :

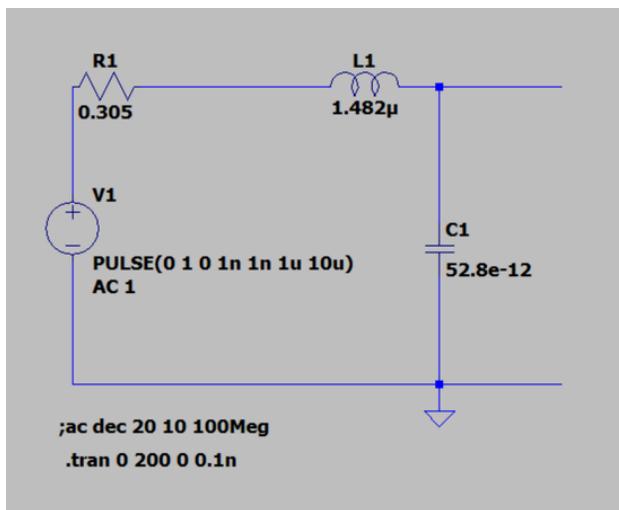
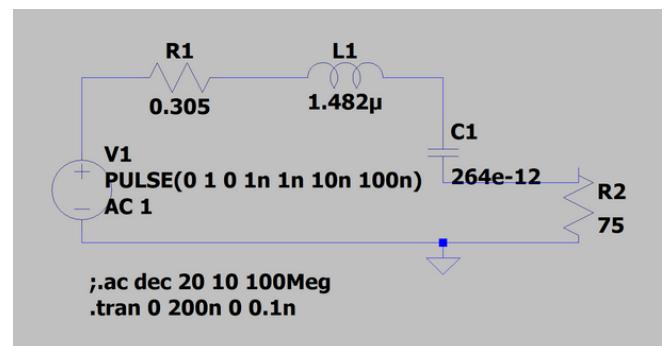


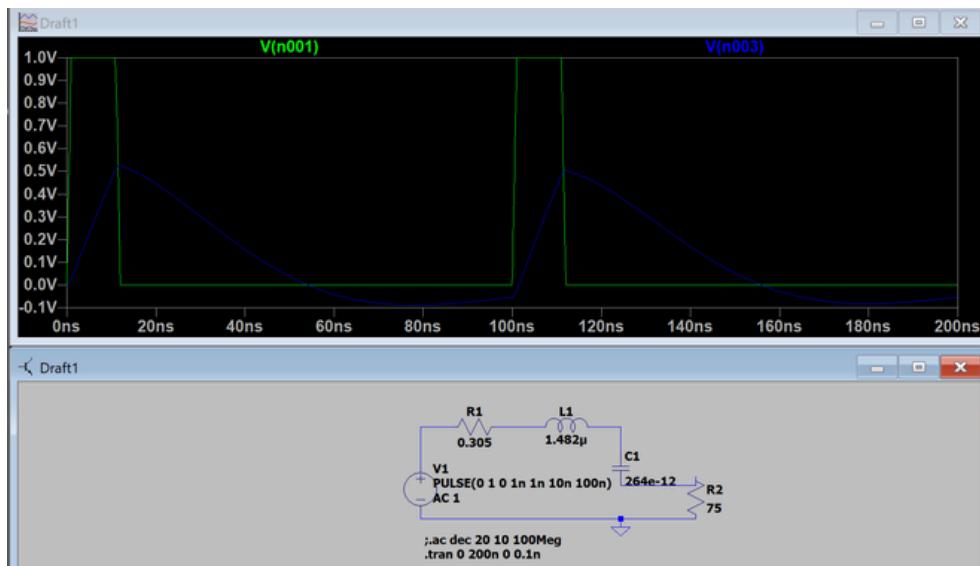
Schéma avec une résistance R2 de 75 ohm ajoutée afin de s'assurer du bon fonctionnement de la simulation :



SIMULATION POUR 5M

Pour 5m :

On change la valeur de C en passant de 52.8e-12 qui correspond à 52.8pF à 264pF car 52.8pF est la capacité par mètre, pas la capacité totale pour 5m, pour avoir cette dernière pour 5m il faut donc multiplier 52.8pF/M par 5m ce qui vaut 264pF dc 264e-12



La simulation avec une charge adaptée de 75ohm, afin que le signal ne se réfléchisse pas en bout de ligne, ce qui fausserait complètement les mesures d'atténuation, montre un signal d'entrée carré parfait de 0 à 1V (vert) et un signal de sortie (bleu) fortement atténué et déformé, dû à l'effet de filtre passe-bas du câble. En effet, on observe que l'amplitude max du signal de sortie est d'environ 0,55V, ce qui signifie une atténuation de 5,2dB, proche de -4,44dB, donc ceci est cohérent. Donc en théorie on a 0,6V d'atténuation => $20 \times \log(0,6) = -4,44$ dB
Et ici on a 0,5V d'atténuation => $20 \times \log(0,5) = -6$ dB donc tout est cohérent

SIMULATION POUR 20M

Pour 20m :

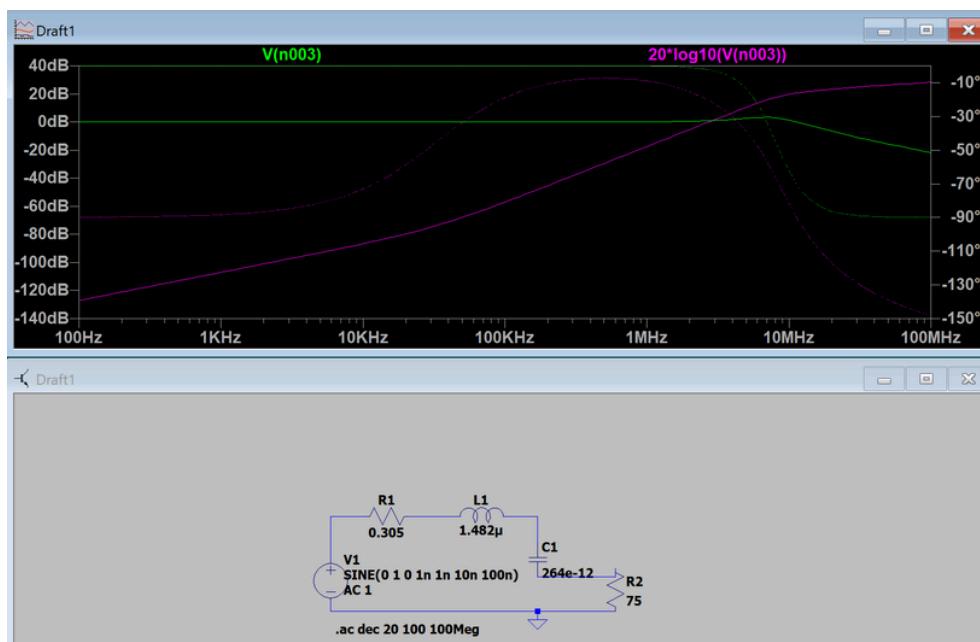
Pour ce qui est de la simulation pour un câble de 20m sur LTspice, malheureusement, après plusieurs tentatives infructueuses, il semble que le modèle RLC simple atteint ses limites pour des câbles longs, car nous avons obtenus des résultats vraiment très étranges.

nous pour tout de même détailler les manipulations que nous avons tenté, nous dirions que nous avons modifié les paramètres de simulation : R1 prend alors la valeur de 1,22 ohm, L1 prend la valeur de 5,94 uH et C1 prend la valeur de 1056pF, puis .tran passé de 200ns à 800ns pour observer 8 impulsions complètes et la montée totale du signal, et PULSE ajusté de (10ns, 100ns) à (50ns, 200ns) pour donner au signal plus de temps pour traverser le câble. mais encore une fois, nous avons pris la décision de ne pas vous montrer d'image de cette simulation, car comme les autres concernant le cable de 20m, elle s'est révélée être erronée, du fait des limites de ce schéma basique de RLC.

RÉALISATION ET INTERPRÉTATION DU DIAGRAMME DE BODE

Un diagramme de Bode est un graphe qui montre comment un système réagit selon la fréquence, ici le système dont il est question est bien sûr notre câble, et dans le cas de notre diagramme de Bode, nous l'avons réalisé via LTspice pour ce faire, nous avons repris notre schéma du câble de 5m (le seul que nous testerons pour les mêmes raisons que citées précédemment), et nous avons simplement modifié les paramètres suivants : il nous faut faire une analyse fréquentielle AC, donc on se met en mode SINE (pour sinusoïdale), DC offset à 0, amplitude à 1, freq laissé vie (ou à 0), AC Amplitude à 1, et on remplace la ligne .tran par .ac dec 20 100 100Meg, afin d'avoir pour fréquence de départ 100Hz et de fin 100MHz, et bien sûr on se met en dec pour decade afin d'être en échelle logarithmique.

on lance la simulation, on clique sur le cable entre L1 et C1, puis on clique sur Plot Settings, Add a trace, et on met $20 \cdot \log(V(n003))$ qui permettra d'afficher directement en dB.



On observe alors à basse fréquence (de 100 à 1kHz) une atténuation faible (env 0dB), puis à moyenne fréquence le début de la pente descendante, pour finir en haute fréquence (>1MHz) avec une atténuation importante (-20dB, -40dB...) cela montre clairement le comportement de filtre passe-bas du câble.

SYNTHÈSE

À 5 mètres, le signal présente une atténuation modérée de 4,44 dB. Le délai de transmission mesuré (21,37 ns) correspond parfaitement aux prévisions théoriques. La forme du signal reste exploitable.

À 20 mètres, l'atténuation devient significative (17,76 dB), soit environ 4 fois celle à 5m. L'amplitude du signal de sortie chute à 0,13V (87% de perte), ce qui peut compromettre l'intégrité du signal selon votre application.

CONCLUSION

L'analyse théorique et les simulations (Matlab et LTSpice) démontrent que le câble coaxial proposé présente des performances satisfaisantes pour une liaison courte de 5 mètres. Les paramètres mesurés correspondent parfaitement aux spécifications du constructeur.

En revanche, pour une liaison de 20 mètres, l'atténuation de -17,76 dB engendre une perte de signal trop importante (87%). Le signal de sortie (0,13V) risque d'être insuffisant pour la plupart des applications pratiques.

2030

SAE 103 -
SEANCE 6

MERCI

**Alex Joveniaux
Briac Le Meillat**