

Simulation SPICE de paires et de câbles coaxiaux en MD et en MC



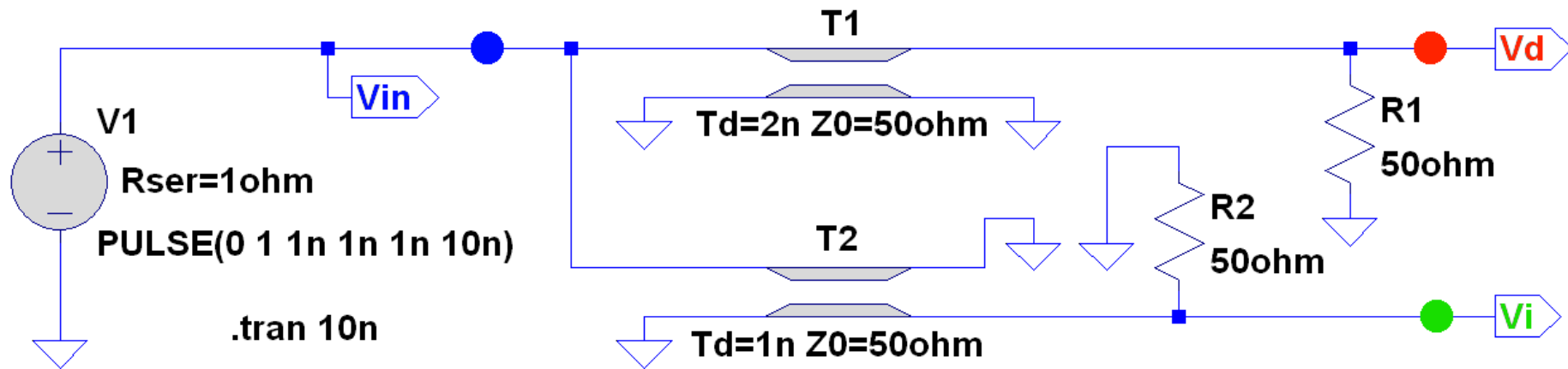
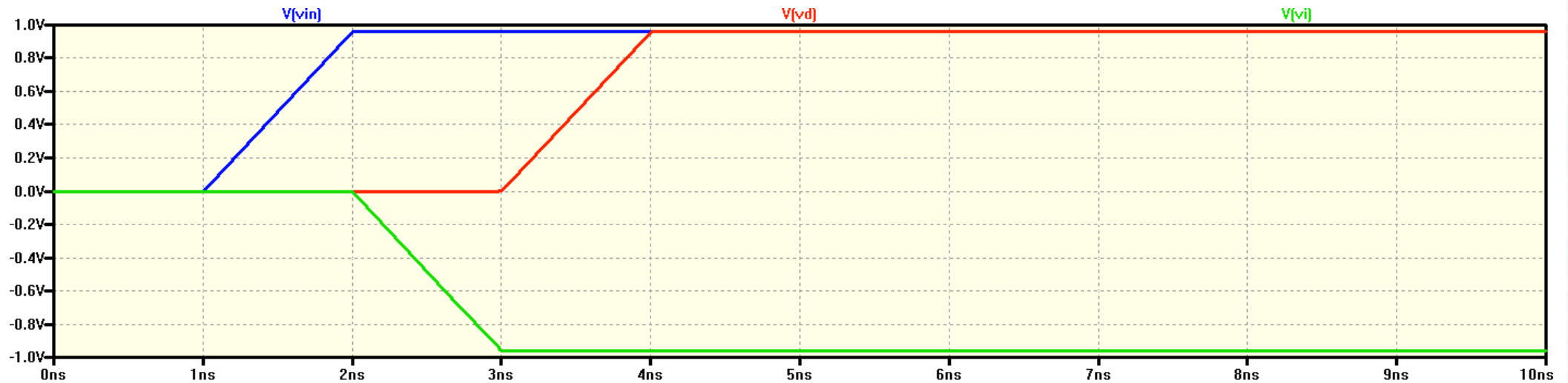
Alain CHAROY

charoy@sopemea.fr (a.charoy@aemc.fr)

AFCEM

**RF &
Microwave**

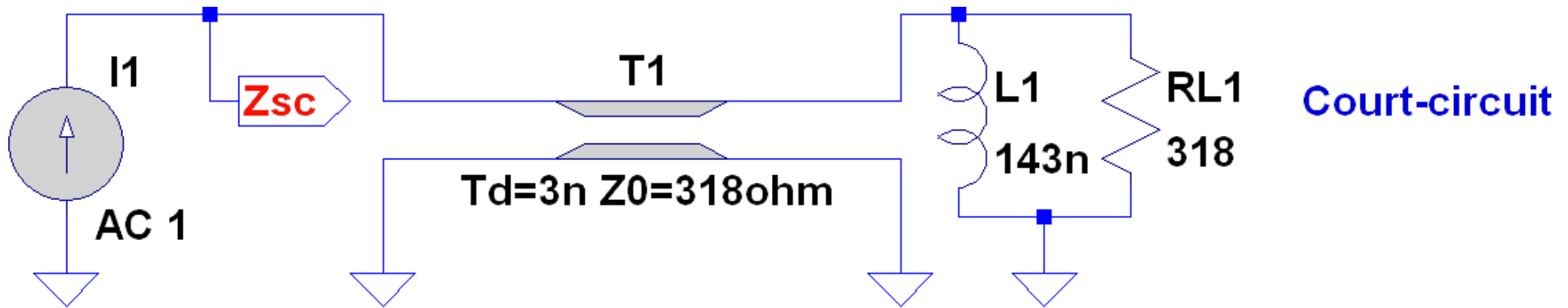
Propriétés des lignes de transmission SPICE



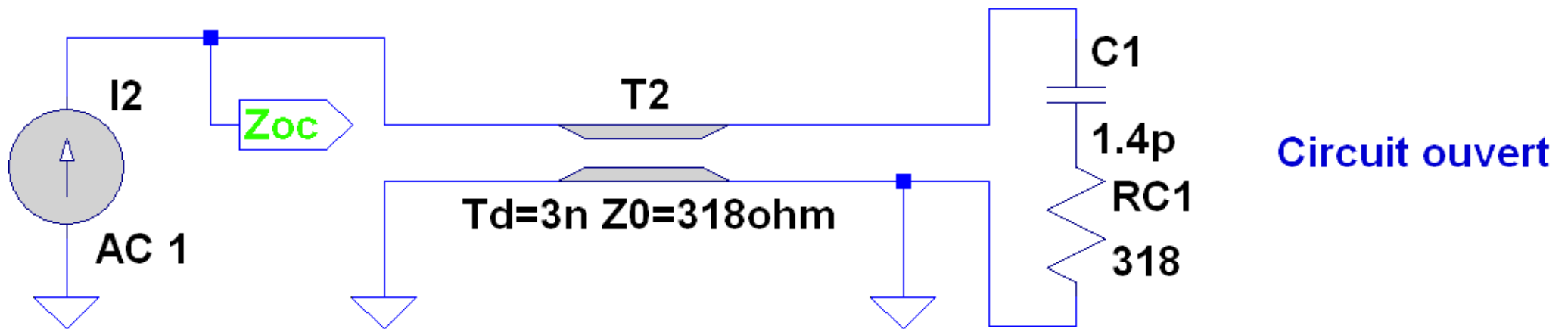
Une ligne SPICE en mode différentiel est nativement sans perte, non dispersive, sans limite en fréquence, avec une impédance caractéristique purement résistive.

L'impédance d'une ligne de transmission SPICE en mode commun est infinie !

Simulation de l'impédance d'un fil à haute fréquence



.ac oct 100 1Meg .5G



Dans l'air : $Td = 3 \text{ ns/m} \times \text{Longueur}$

Calculer : $L1 = 0,15 Td \times Z0$

$RL1 = RC1 = Z0$

Calculer : $Z0 = 138 \times \log_{10} (4H/D)$

Calculer : $C1 = 0,15 Td / Z0$

Ici : longueur $L = 1 \text{ m}$

Hauteur fil / masse $H = 50 \text{ mm}$

Diamètre fil $D = 1 \text{ mm}$

Valeurs pour simuler un câble en mode commun

Considérons un câble de diamètre $D = 7$ mm (par exemple RG58 ou câble Ethernet)

Longueur du fil L (m)	1	Valeurs recommandées pour la planche précédente		
Diamètre du fil D (mm)	7			
Distance/masse H (mm)	Z0 (Ω)	Td (ns)	L1 (nH)	C1 (pF)
12.5	118	3.0	53	3.8
25	159	3.0	72	2.8
50	201	3.0	90	2.2
100	242	3.0	109	1.9
200	284	3.0	128	1.6
400	326	3.0	146	1.4
800	367	3.0	165	1.2

En encadré : Valeurs recommandées par défaut

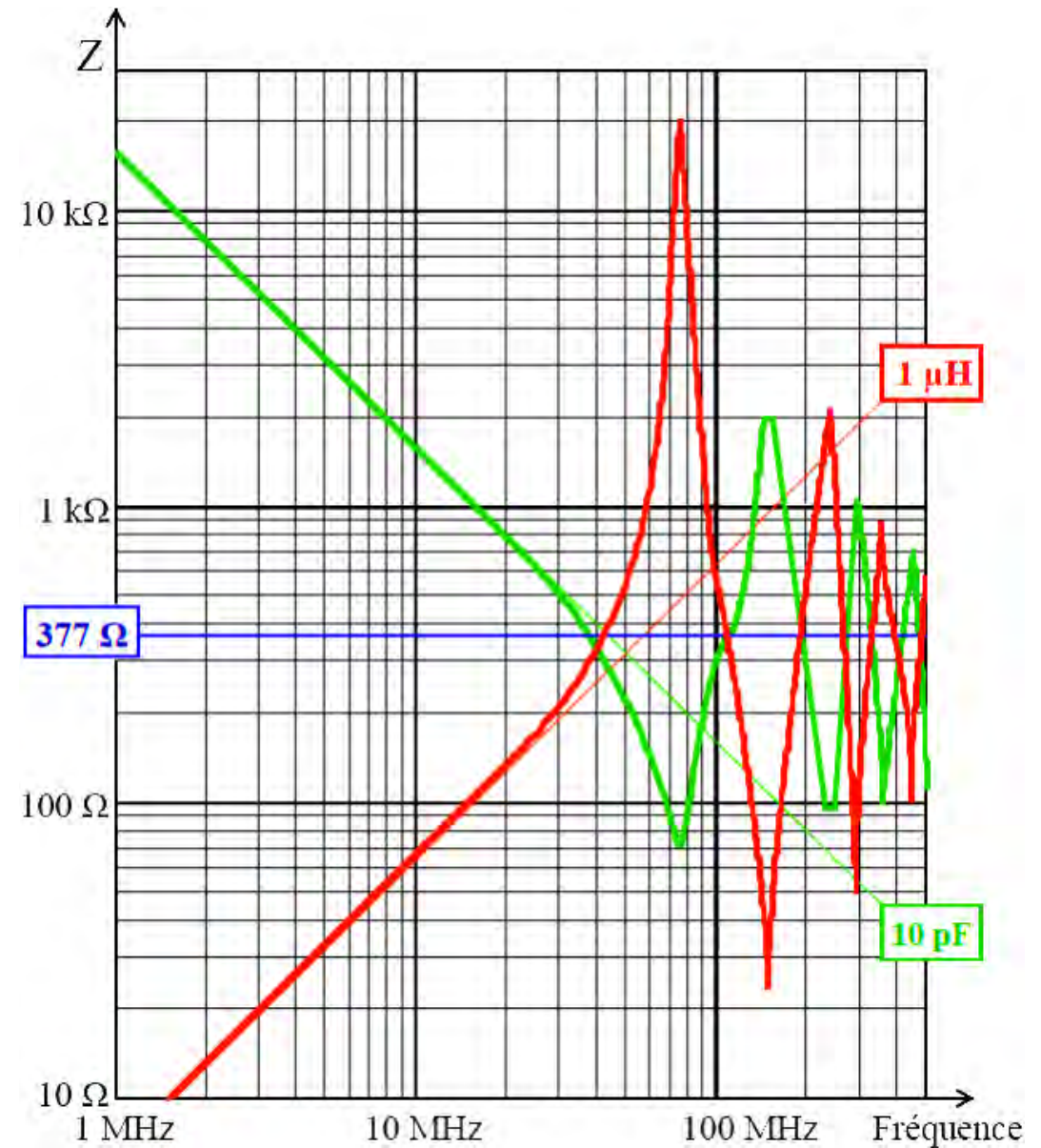
La valeur $Z0 = RC1 = RL1$ ne dépend que de H / D , pas de L

Les valeurs Td, L1 et C1 sont proportionnelles à la longueur L

Comparaison d'une simulation à une mesure

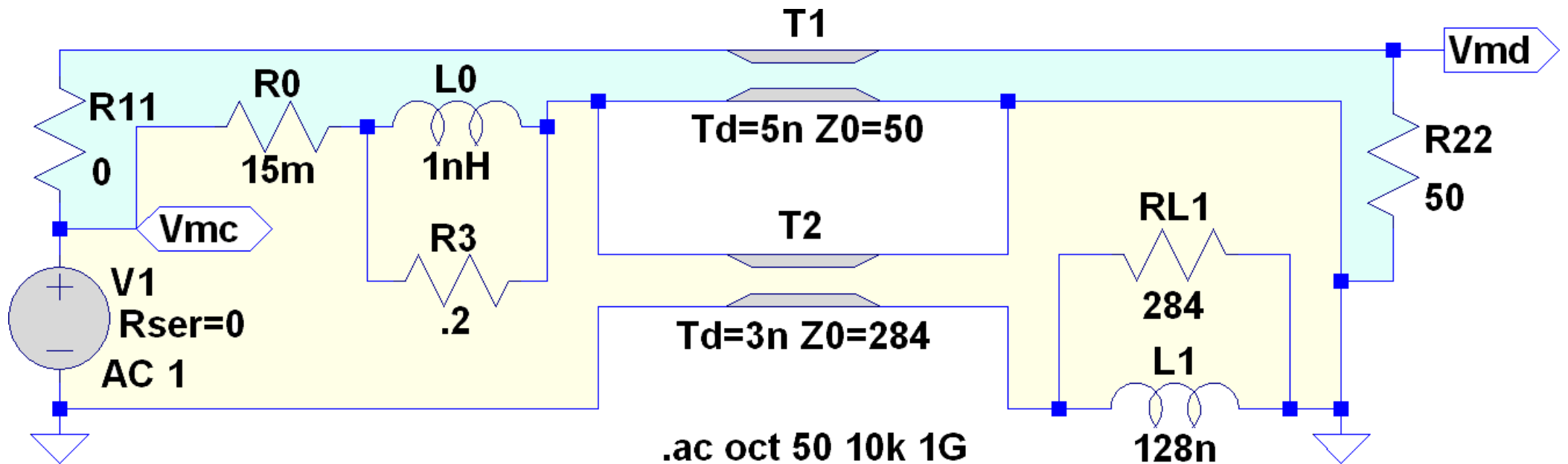


Simulation d'un fil de 1 m en circuit ouvert
Simulation d'un fil de 1 m en court-circuit



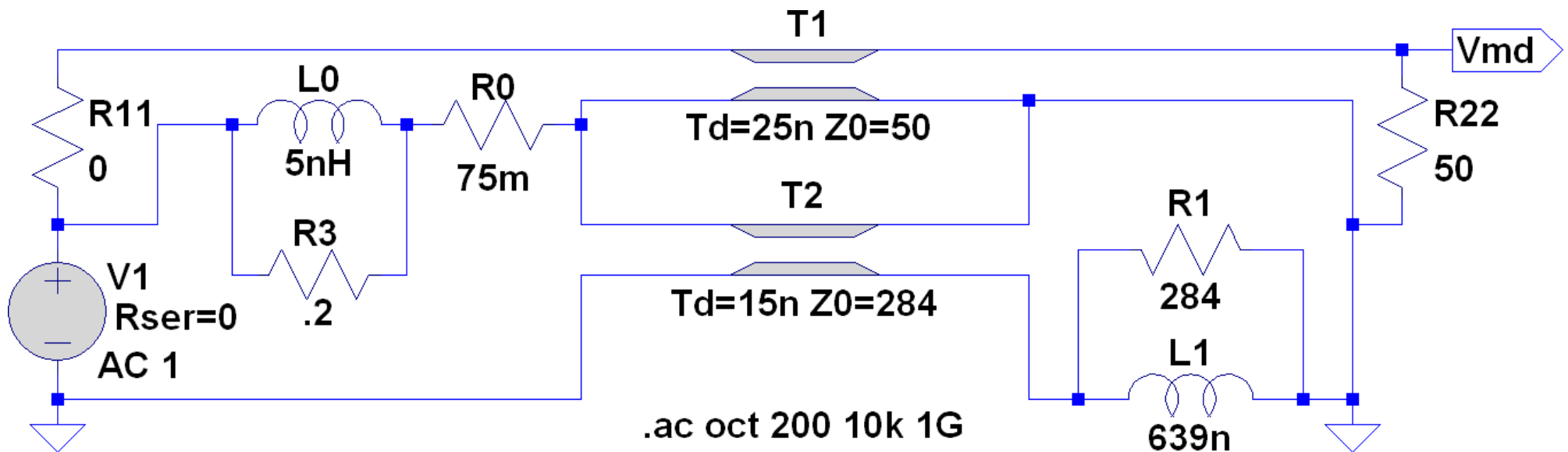
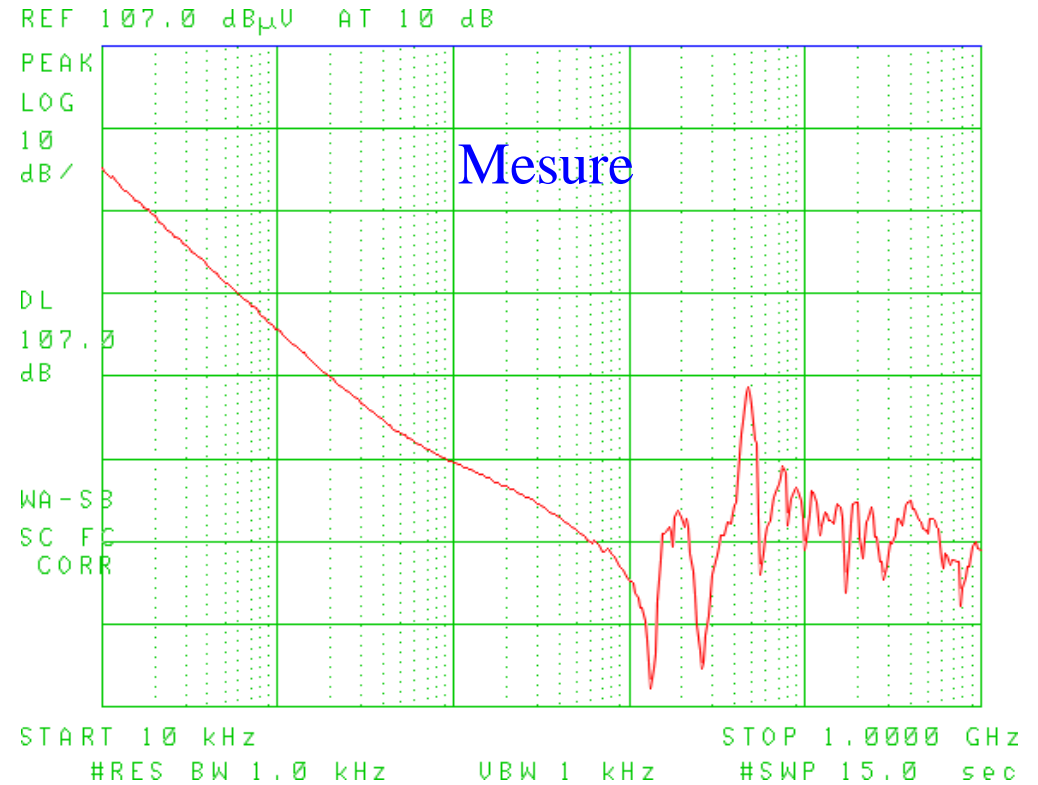
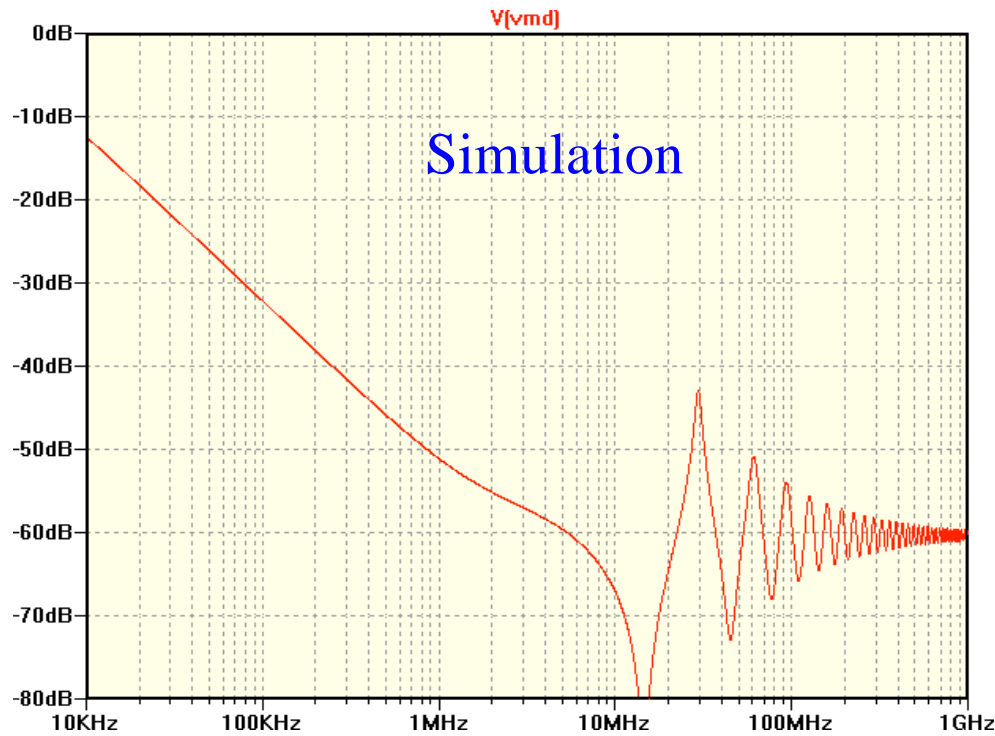
Mesure d'un fil de 1 m en circuit ouvert
Mesure d'un fil de 1 m en court-circuit

Simulation « simple » d'un câble coaxial en MC + MD

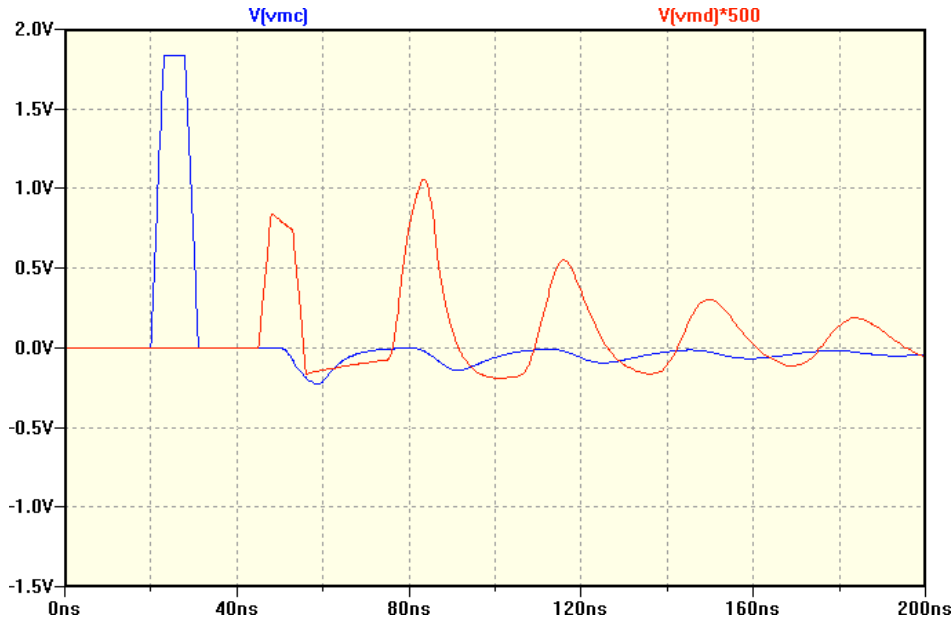


- T1 = ligne bien définie ($Td = 5 \text{ ns/m}$, $Z0 = 50 \Omega$) modélise le circuit interne au câble.
- $R11 = 0$ à un bout simule un pire cas ; $R22$ à l'autre bout adapte la ligne en HF
- La ligne T2 modélise la boucle de masse (généralement de géométrie complexe).
- Cette boucle de MC étant fermée, elle est amortie par $L1 // RL1$.
- $R0 + L0$ simulent l'impédance de transfert (Z commune) entre les deux boucles.
- $R3$ avec $L0$ est un passe-bas (fréquence de coupure $Fc = 32 \text{ MHz}$ / longueur en m) à cause des vitesses différentes entre lignes T1 ($\approx 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) et T2 (près de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Simulation d'effet réducteur d'un câble coaxial de 5 m

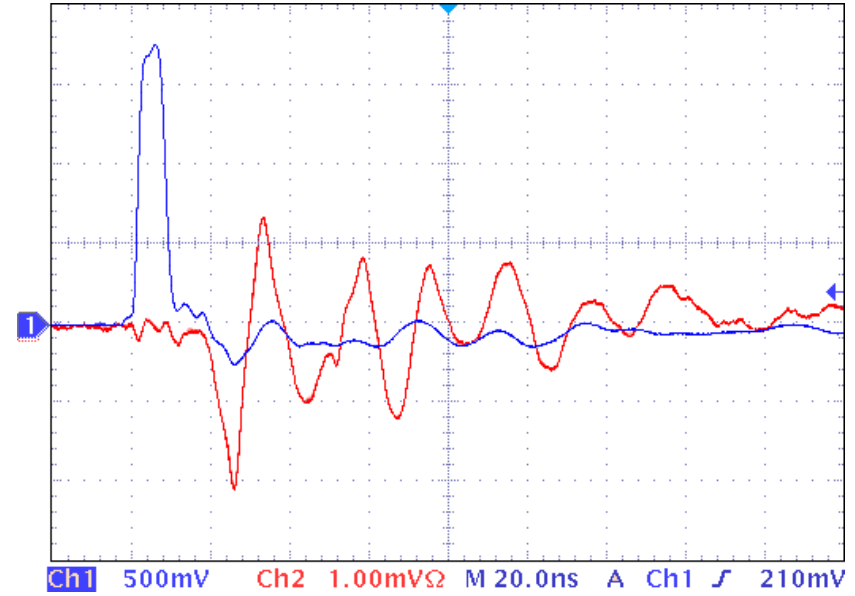


Effet réducteur en temporel d'un câble coaxial



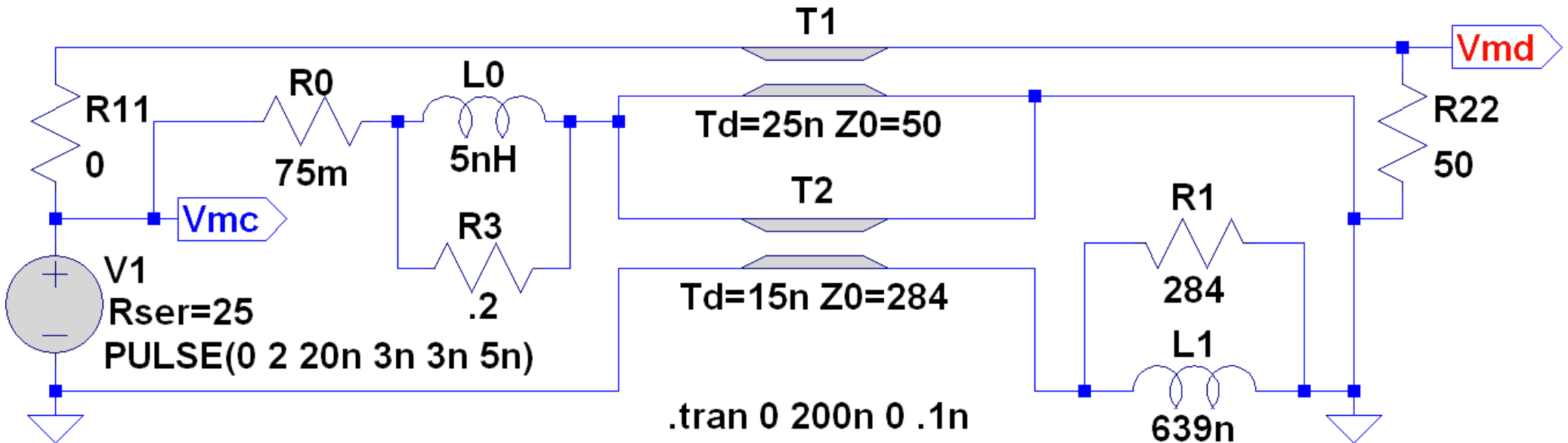
Simulation de 5 m de câble coax simple tresse

Vmc (500 mV/div) – Vmd (1 mV/div)



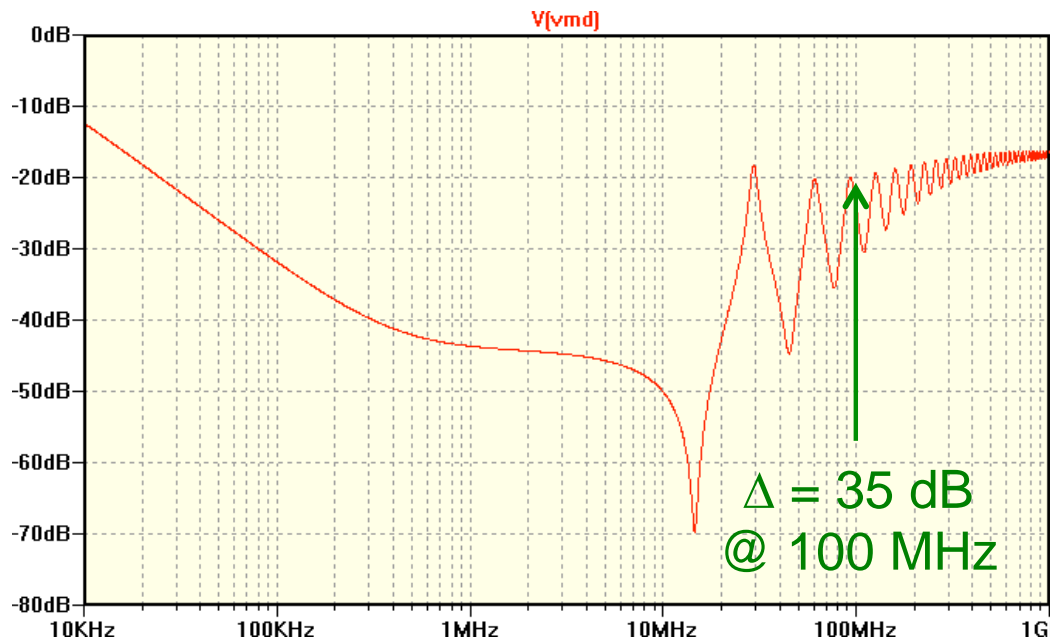
Mesure de l'effet réducteur de 5 m de RG58

Vmc (500 mV/div) – Vmd (1 mV/div)

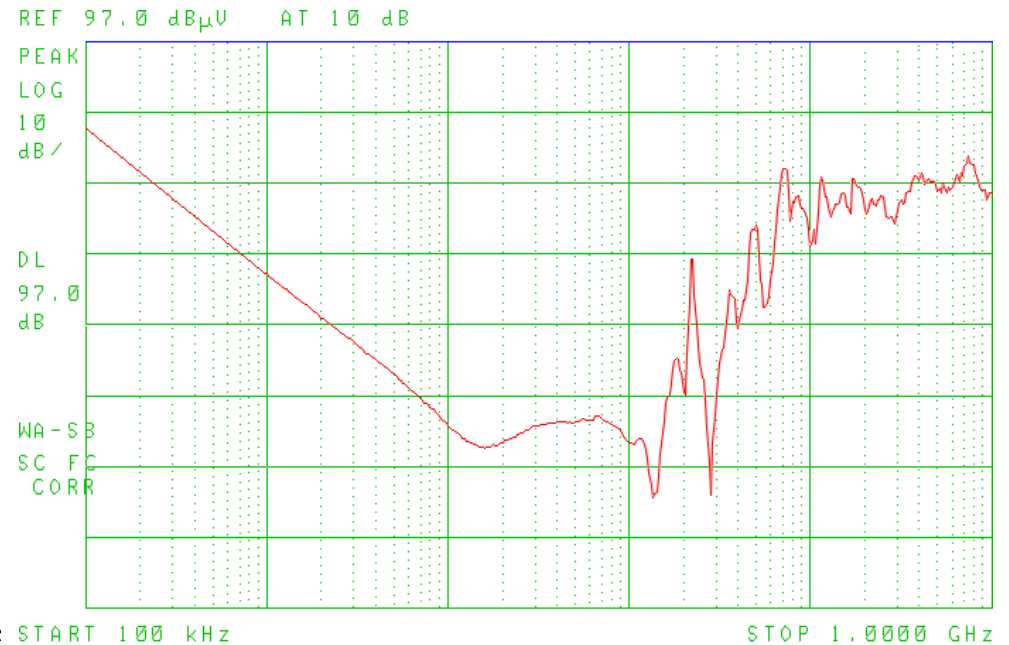


Les amplitudes simulées et mesurées sont voisines, mais leurs formes sont assez différentes.

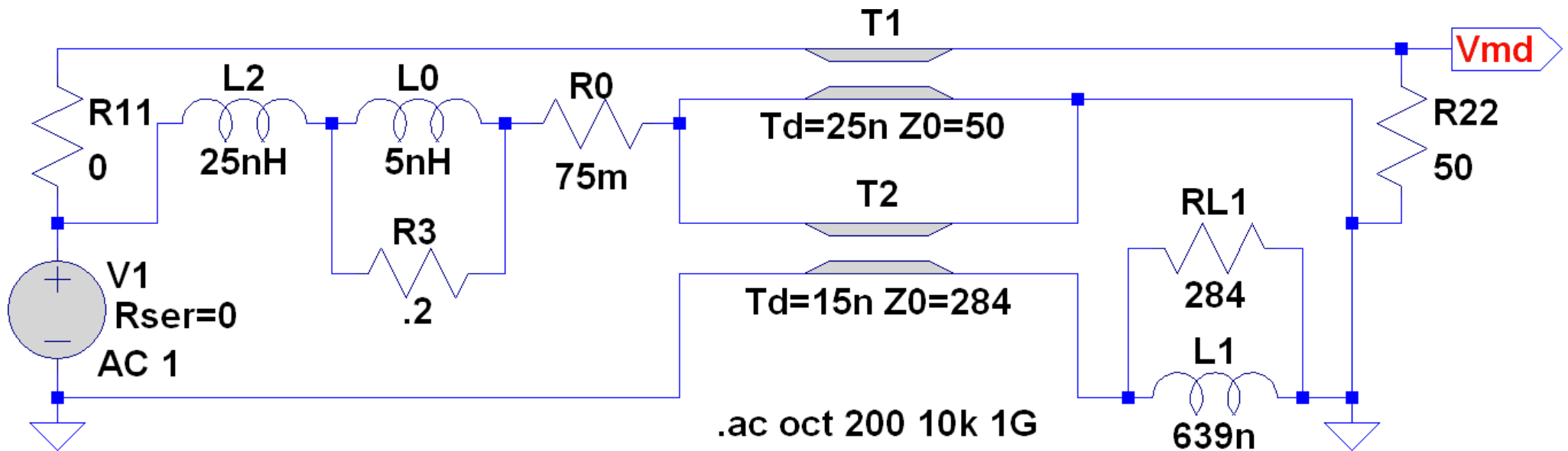
Effet en fréquence d'une queue-de-cochon



Simulation coaxial de 5 m + L2 de 25 nH

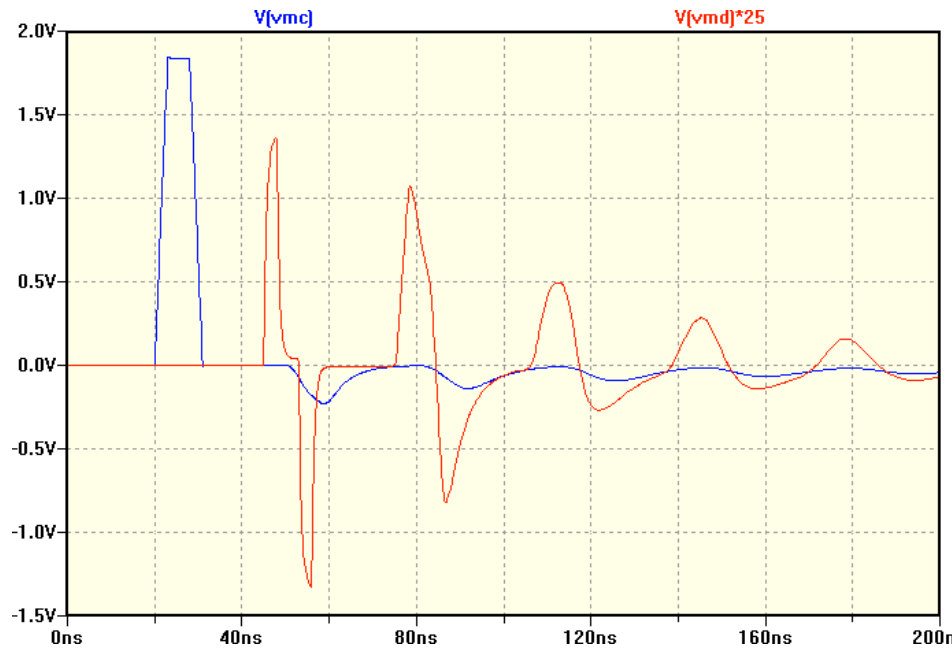


Mesure RG58 de 5 m + QdC de 2,5 cm



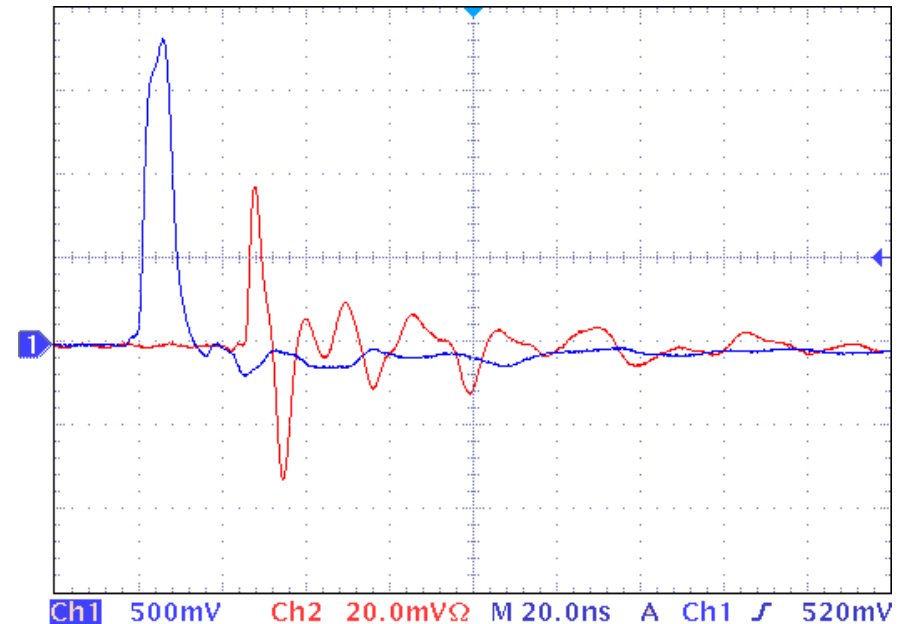
L2 simule une queue-de-cochon de 25 mm. Une valeur de 1 nH / mm est un peu pessimiste.

Effet d'une queue-de-cochon en temporel



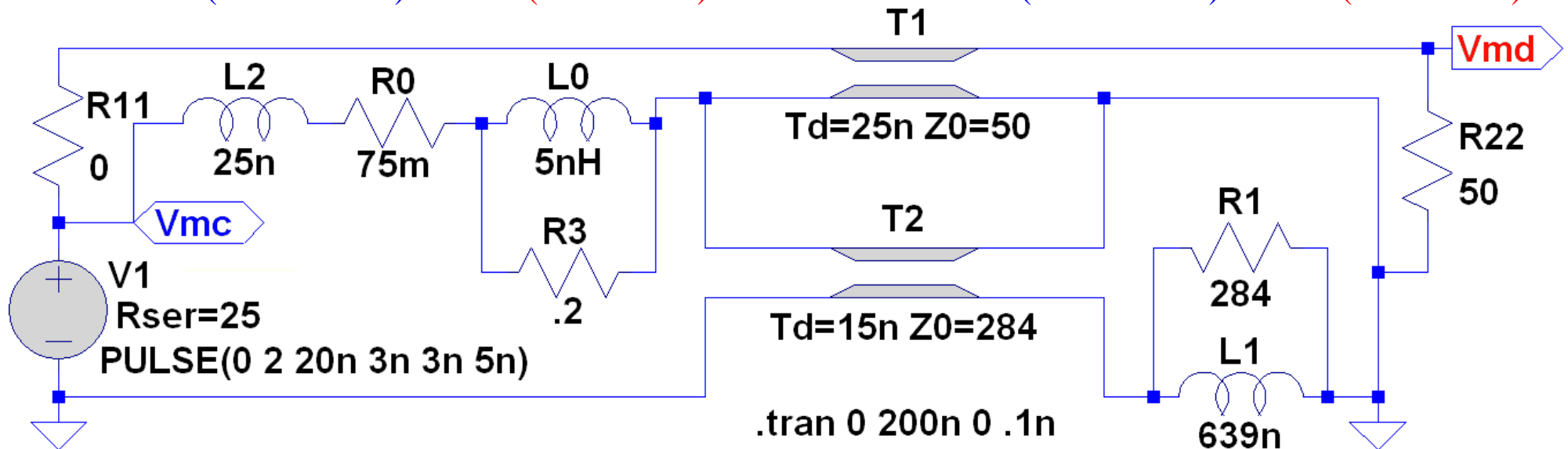
Simulation avec $L2 = 25 \text{ nH}$

Vmc (500 mV/div) – Vmd (20 mV/div)



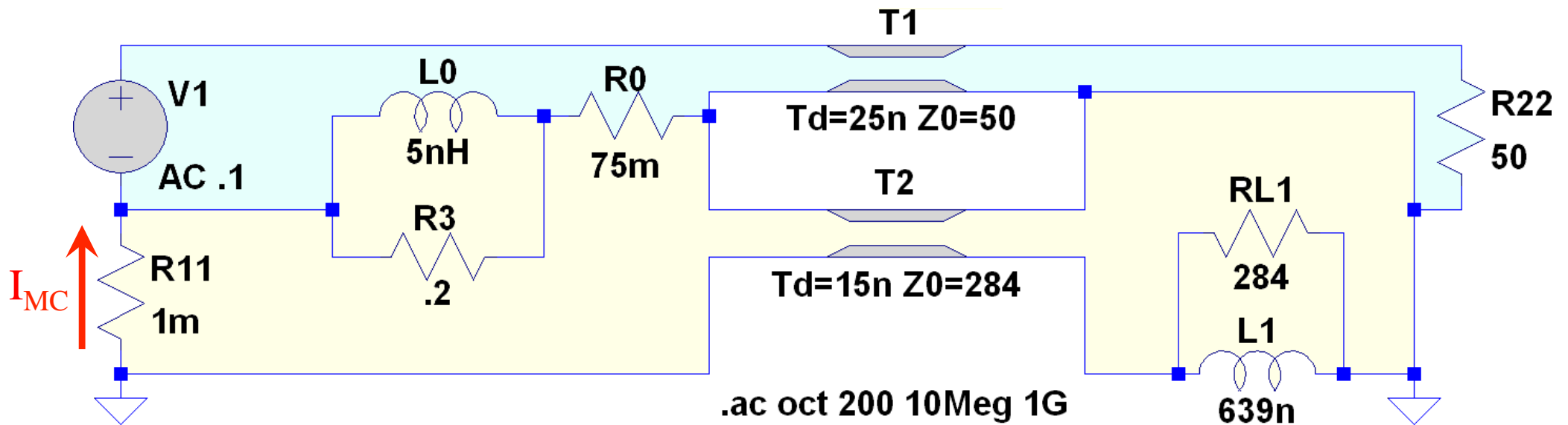
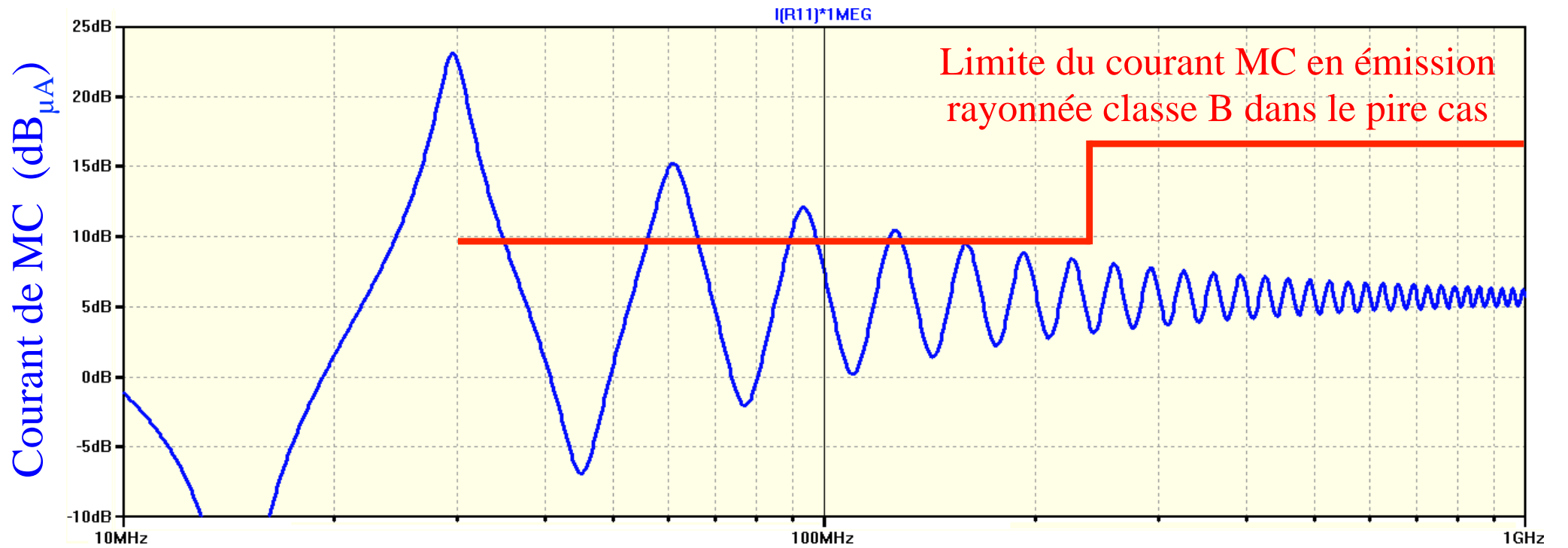
Mesure avec queue-de cochon 25 mm

Vmc (500 mV/div) – Vmd (20 mV/div)



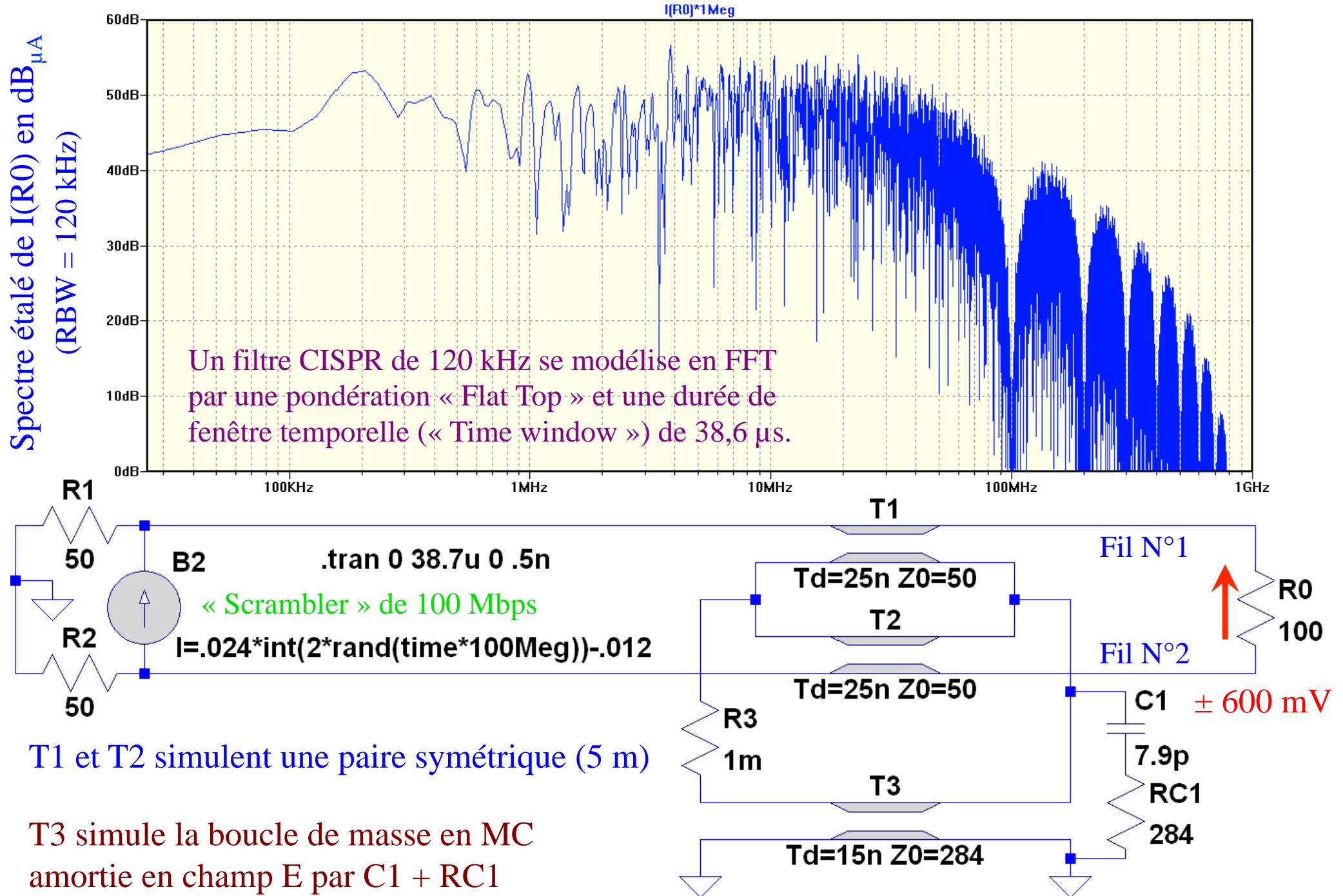
$L2 = 25 \text{ nH}$ simule de façon un peu pessimiste ($\approx 3 \text{ dB}$) une queue-de-cochon de 25 mm

Conversion signal MD en courant MC sur câble coaxial

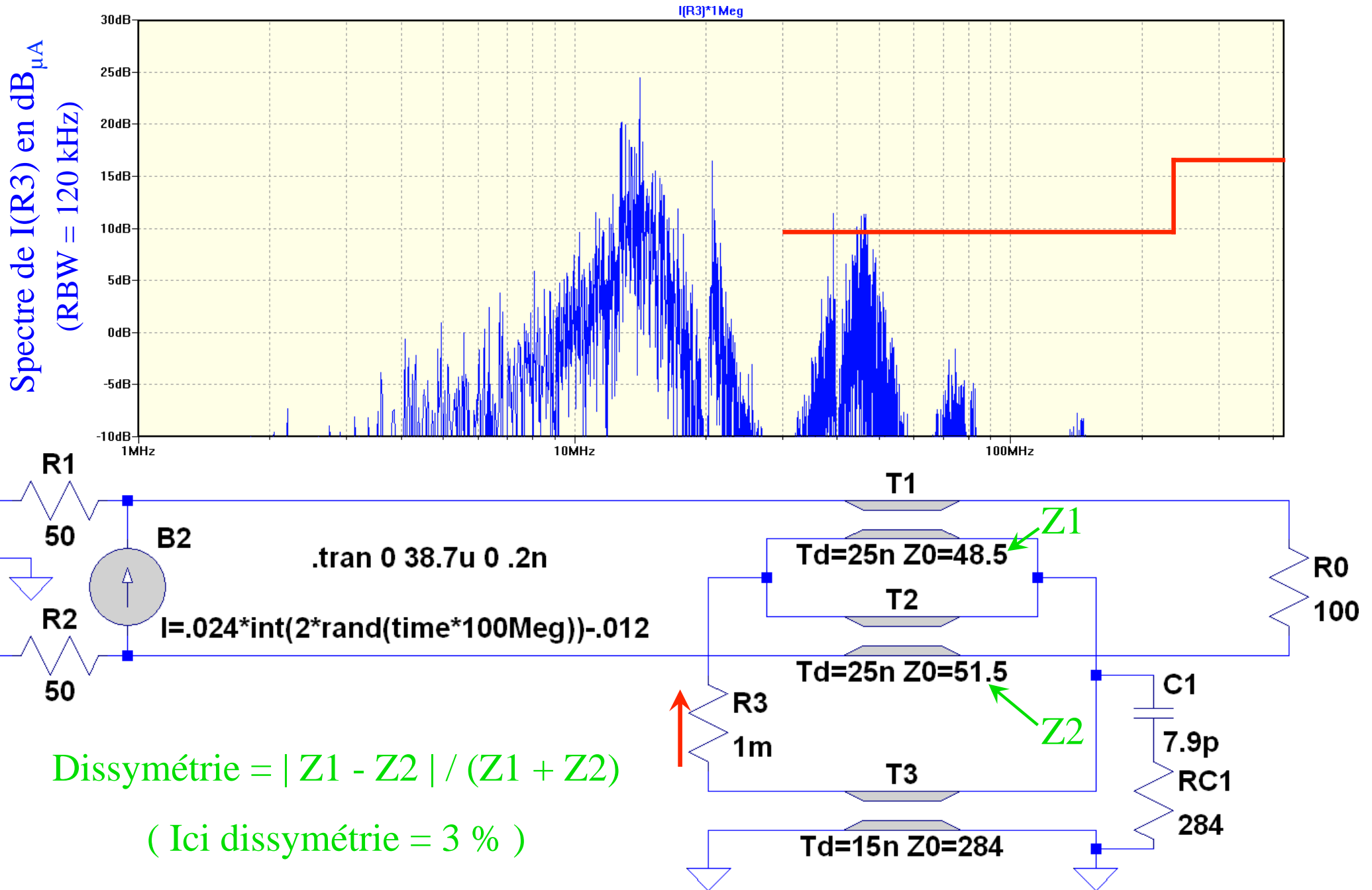


100 mV sinus transmis en coaxial simple tresse sont souvent excessifs en émission rayonnée

Modélisation « simple » d'une paire bifilaire symétrique

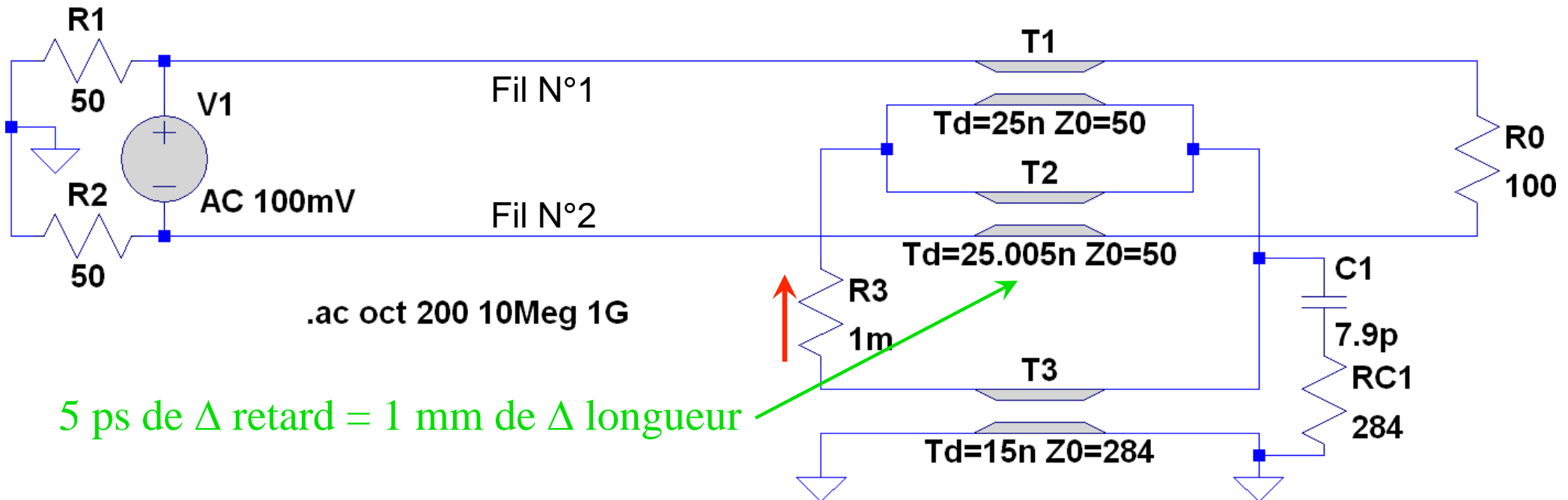
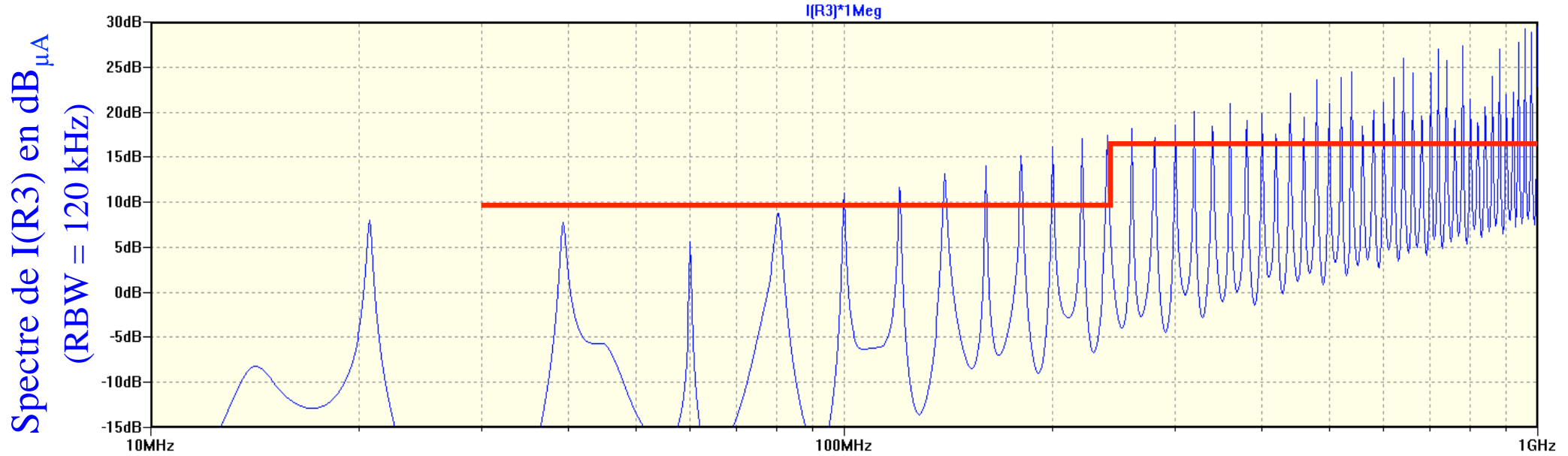


Conversion de signal MD sur paire dissymétrique en MC



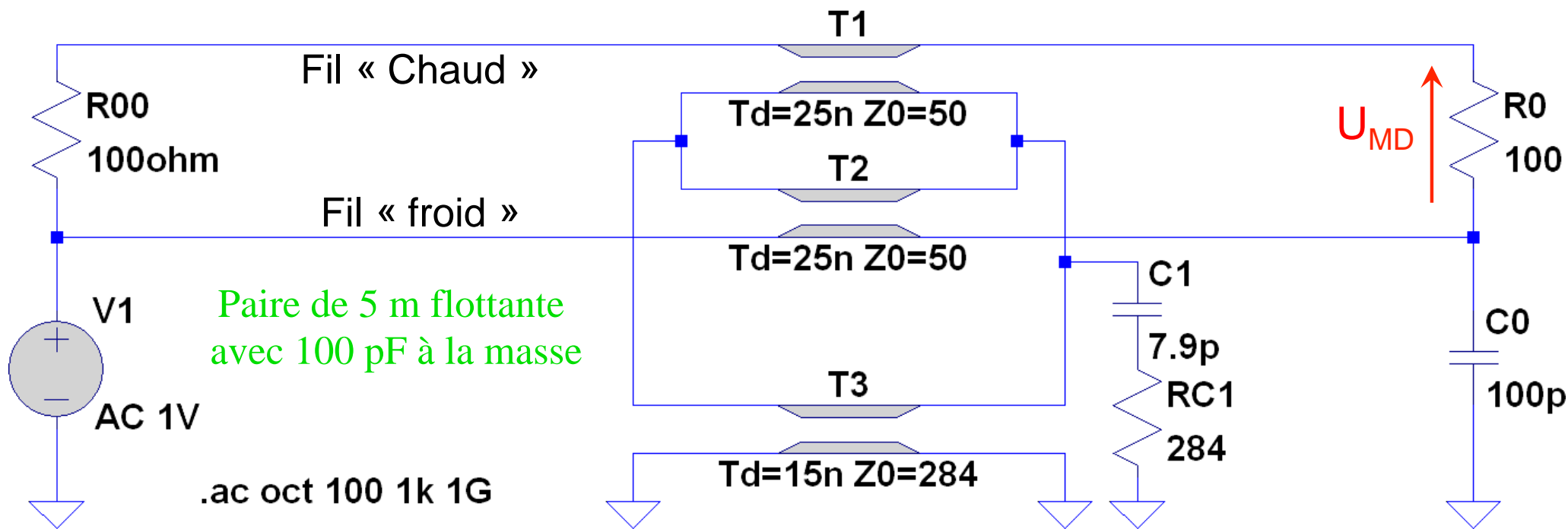
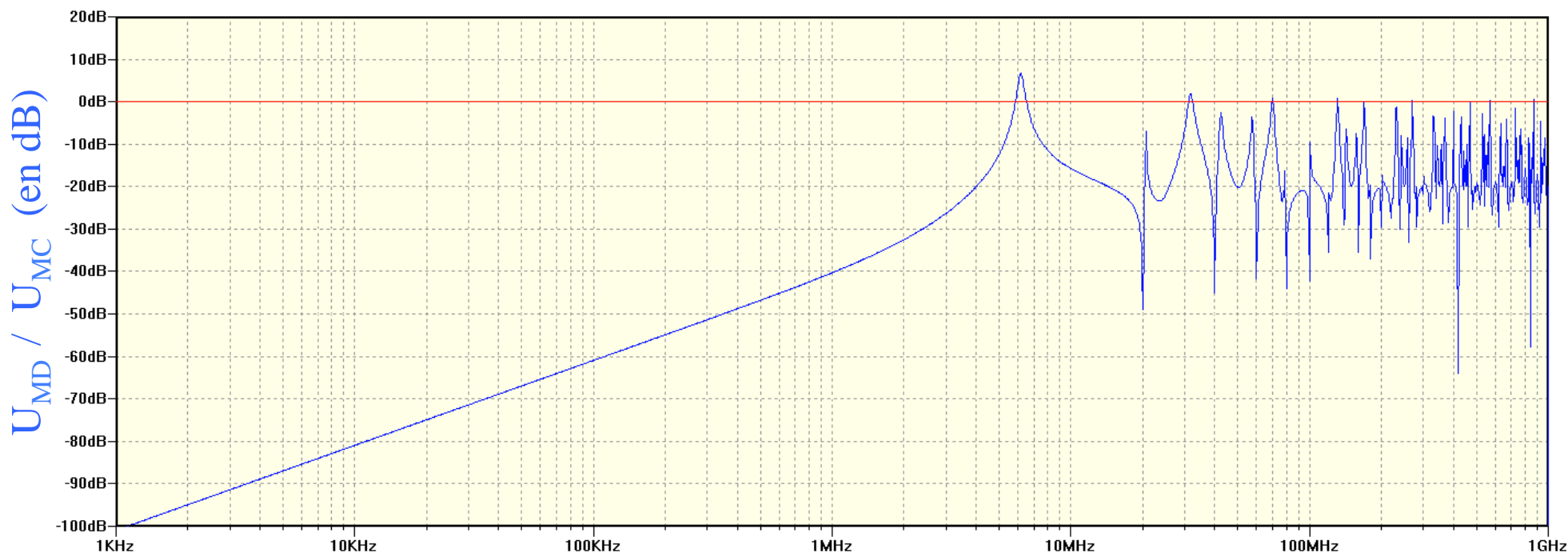
Même embrouillé, 600mV à 100 Mbps et 3% de dissymétrie peuvent atteindre la limite classe B

Dissymétrie par différence de longueur de 1 mm



En classe B, 1 mm de Δ de longueur est excessif pour un signal HF à bande étroite de $100 \text{ mV}_{\text{rms}}$

Réjection du MC par paire bifilaire flottante



CONCLUSION ET SUGGESTIONS

- SPICE permet des simulations simples, rapides, avec une précision correcte de câbles coaxiaux et paires bifilaires, symétriques ou non.
- Les résultats obtenus en enveloppe sont proches de la réalité, même si en temporel la forme et la phase des phénomènes sont imparfaits.
- Ne pas hésiter à simuler les câbles et leurs connecteurs lors des choix initiaux en début de projet, y compris en émission rayonnée.
- Les niveaux simulés en émission rayonnée par les modèles proposés (pas si simples à bien comprendre) correspondent aux mesures.
- Nous restons à votre service pour discuter de tous ces modèles.