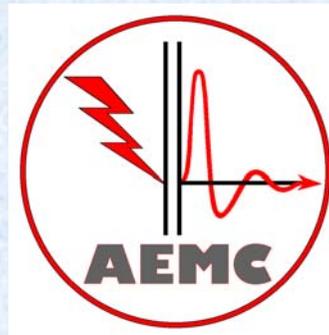


Simulation SPICE de paires et de câbles coaxiaux en MD et en MC

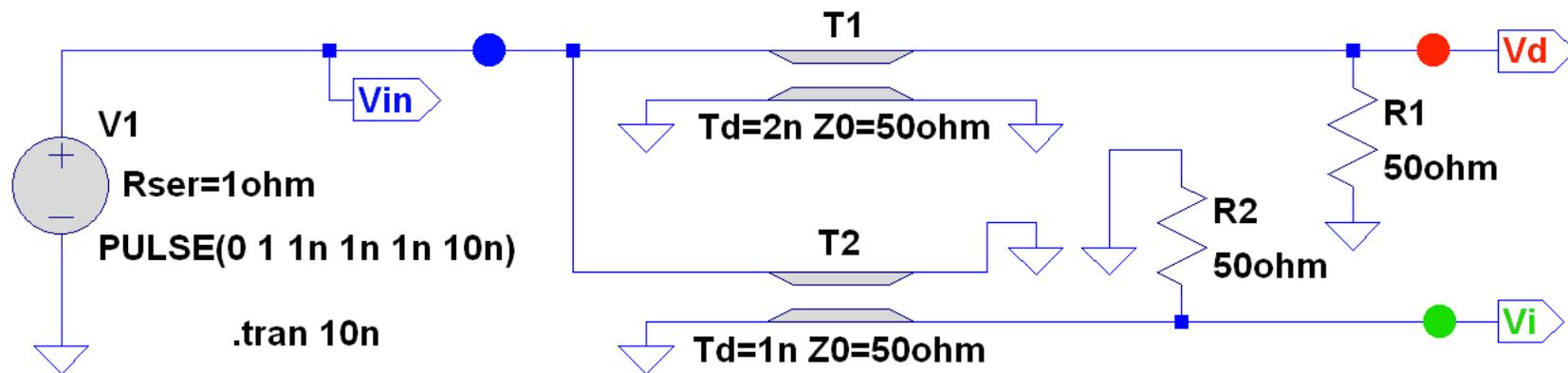
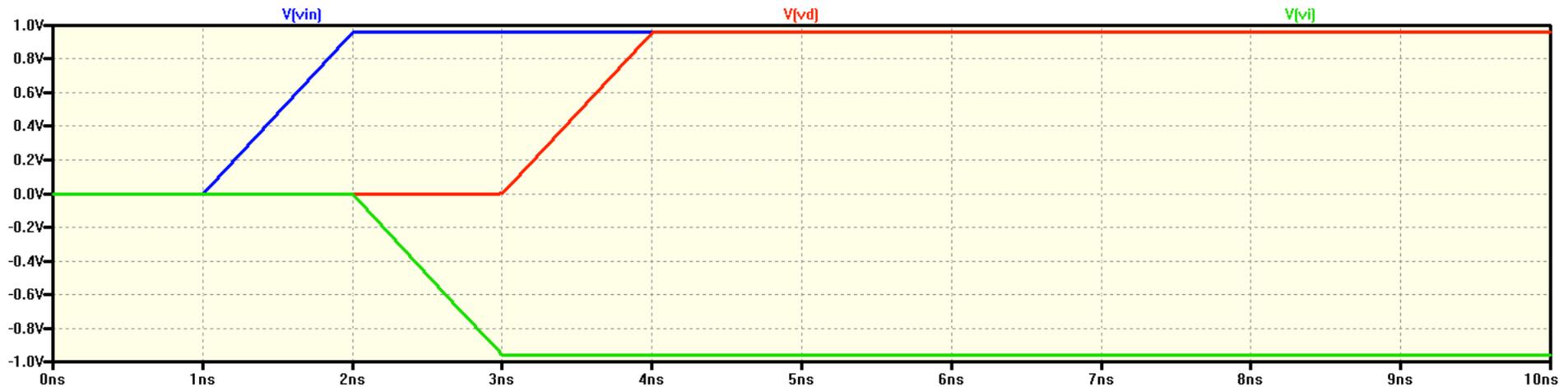


AFCEM

Alain CHAROY - a.charoy@aemc.fr

Microwave
& RF

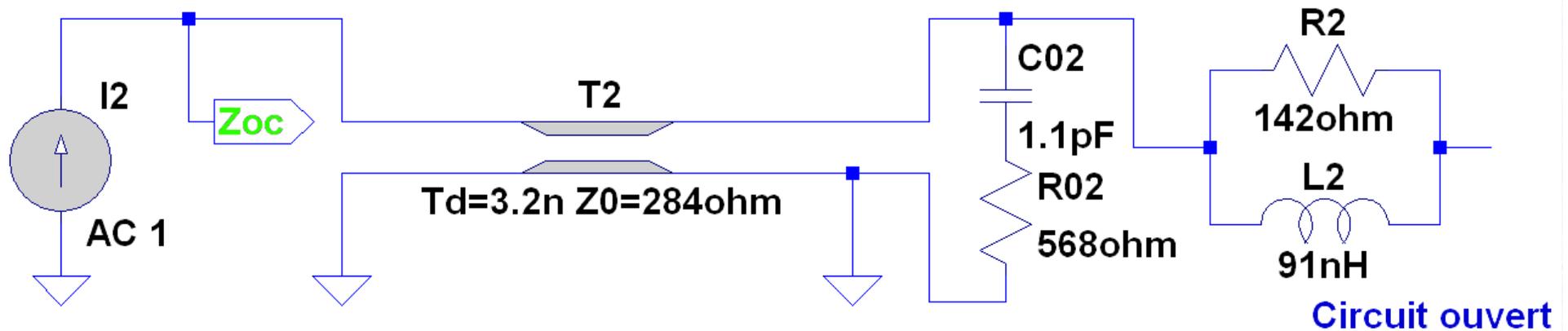
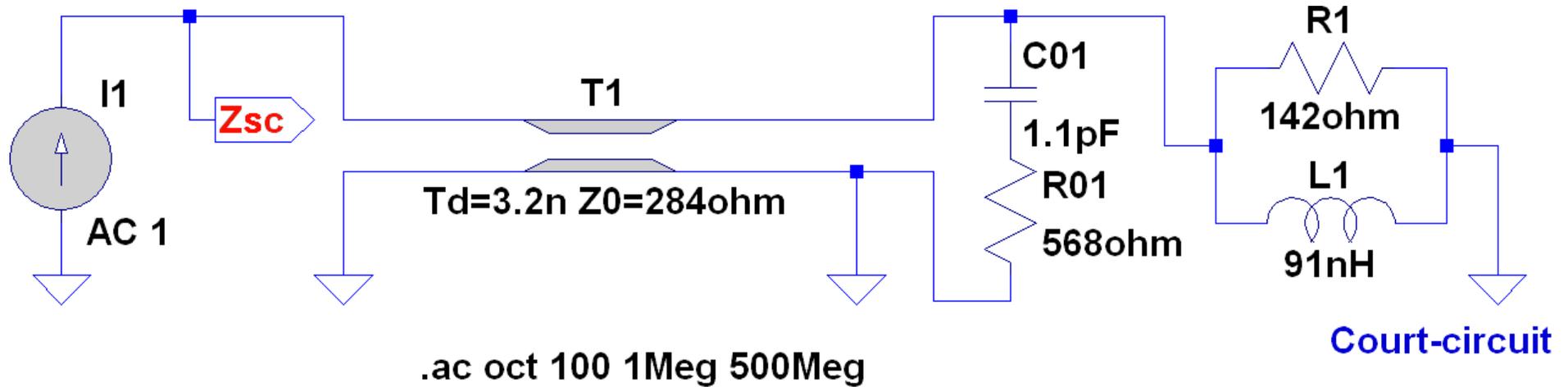
Propriétés des lignes de transmission SPICE



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



Dans l'air : $T_d = 3.2 \text{ ns/m}$

Calculer : $L1 = 0.1 T_d Z_0$

Calculer : $C01 = 0.1 T_d / Z_0$

Calculer : $Z_0 = 138 \log_{10} (4H/D)$

Choisir : $R1 = Z_0 / 2$

Calculer : $R01 = 2 Z_0$

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

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

Diamètre $D = 1.75 \text{ mm}$

Simulation d'un câble en mode commun

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

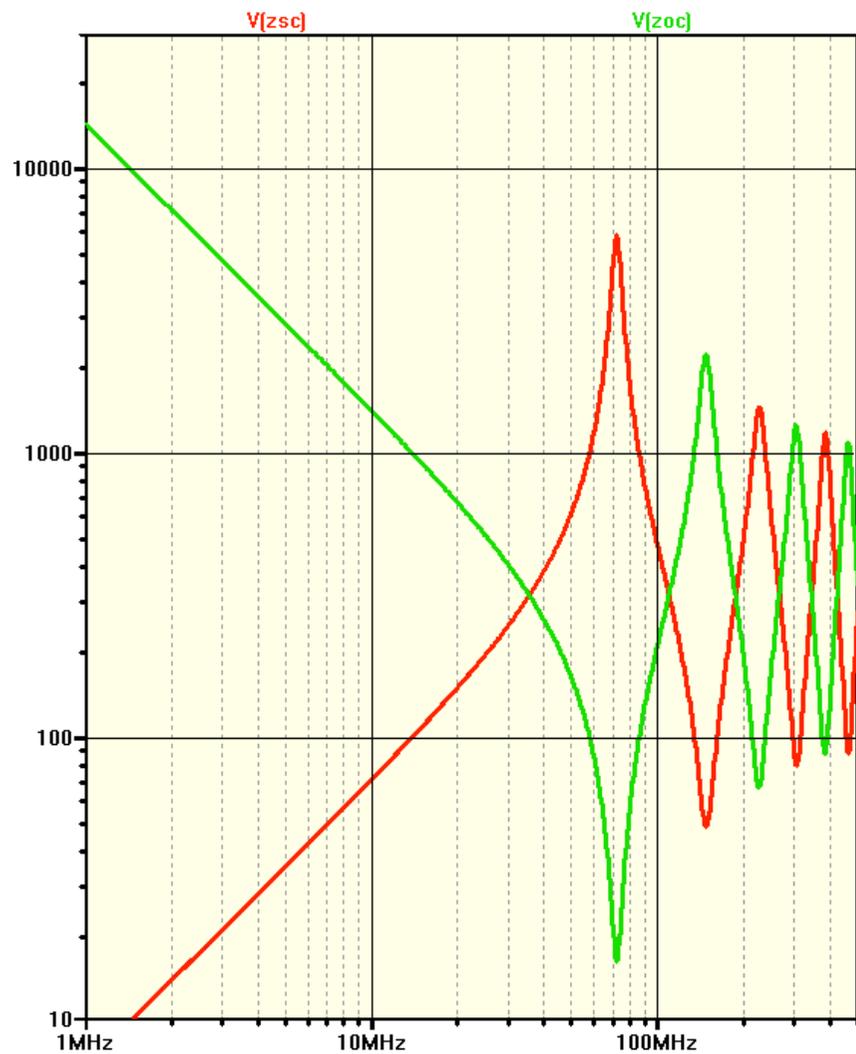
Longueur du fil L (m)	1					
Diamètre du fil D (mm)	7					
Distance/masse H (mm)	Z0	Td (ns)	L1 (nH)	R1 (Ω)	C01 (pF)	R01 (Ω)
12.5	118	3.2	38	59	2.7	236
25	159	3.2	51	80	2.0	319
50	201	3.2	64	100	1.6	402
100	242	3.2	78	121	1.3	485
200	284	3.2	91	142	1.1	568
400	326	3.2	104	163	1.0	651
800	367	3.2	117	184	0.9	734

En encadré : Valeurs recommandées par défaut

Les valeurs Z0, R1 et R01 ne dépendent que de H / D, pas de L

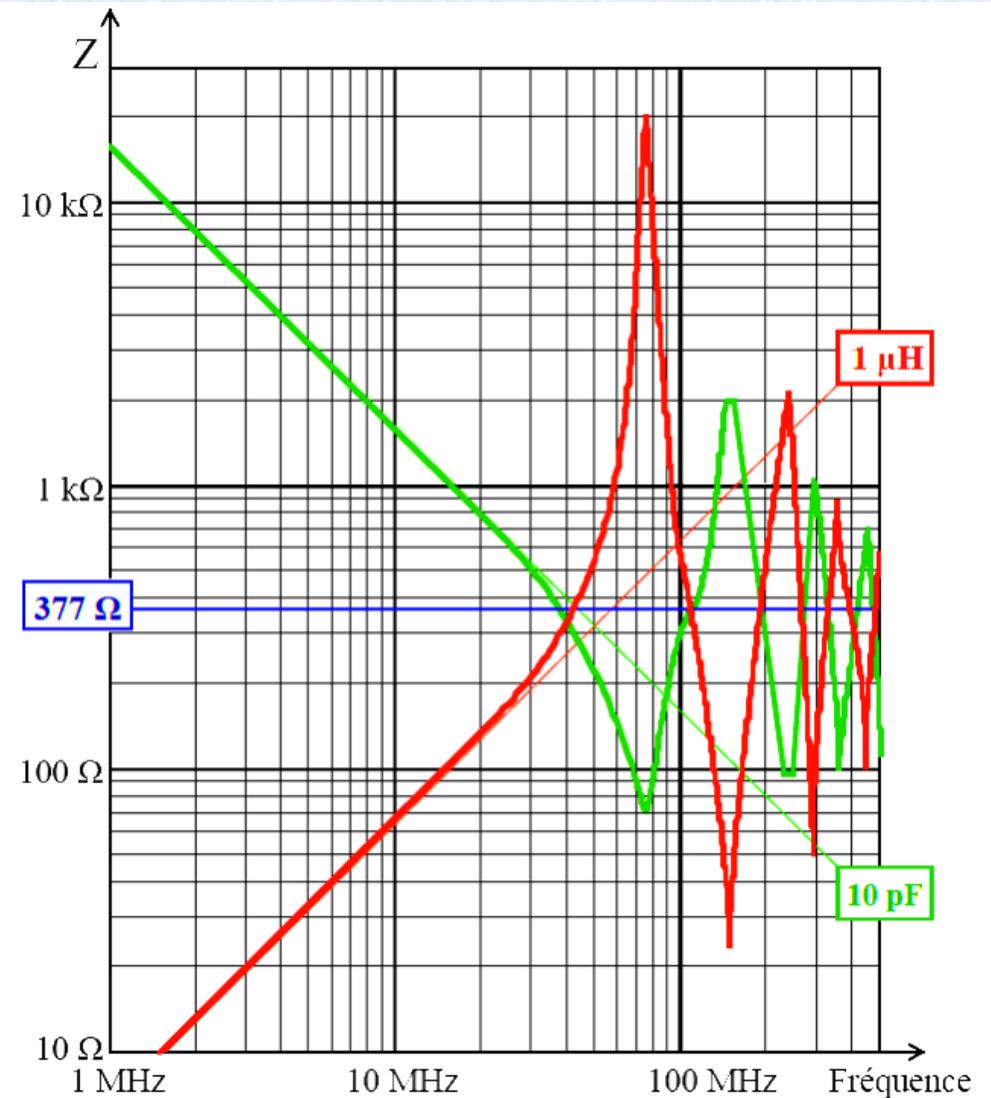
Les valeurs Td, L1 et C01 sont proportionnelles à la longueur L

Comparaison de la simulation à la mesure



Simulation d'un fil de 1 m en circuit ouvert

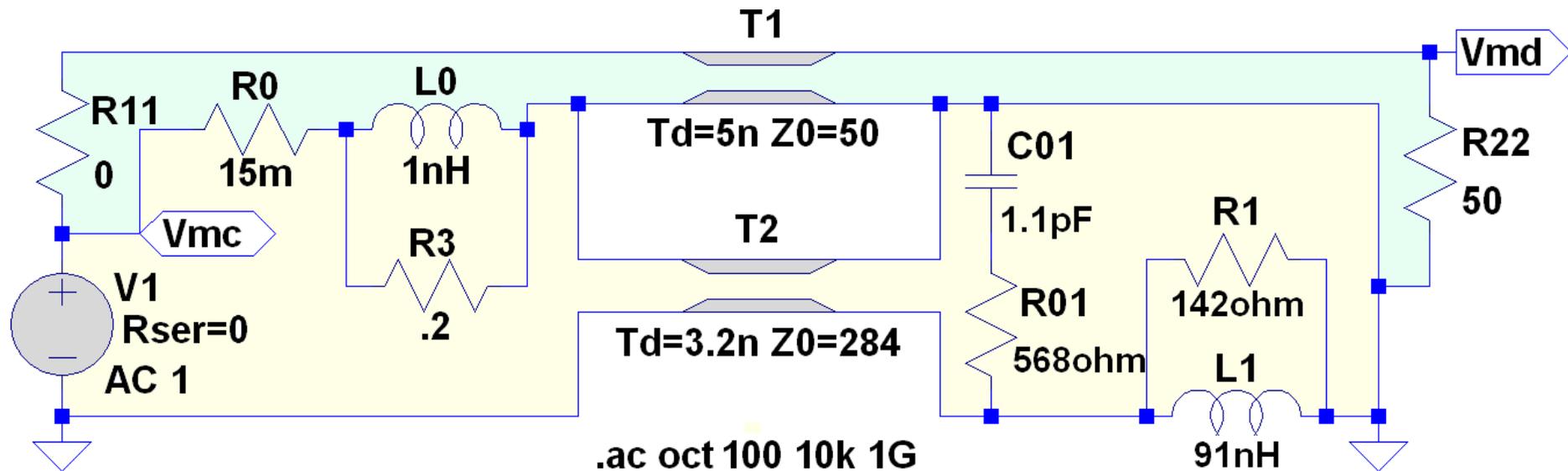
Simulation d'un fil de 1 m en court-circuit



Mesure d'un fil de 1 m en circuit ouvert

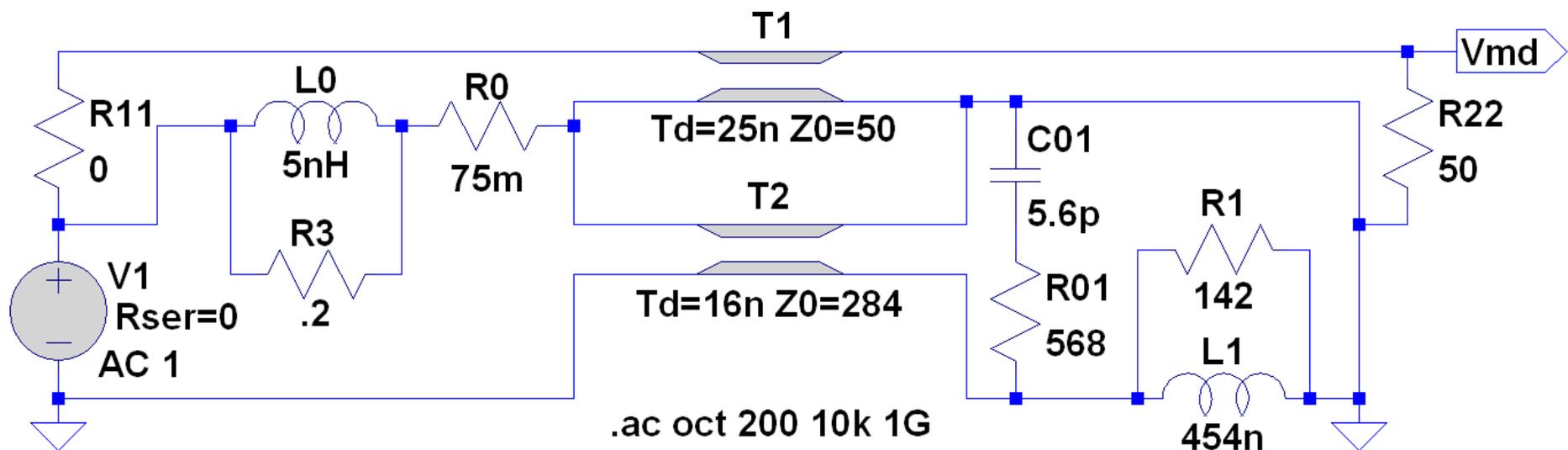
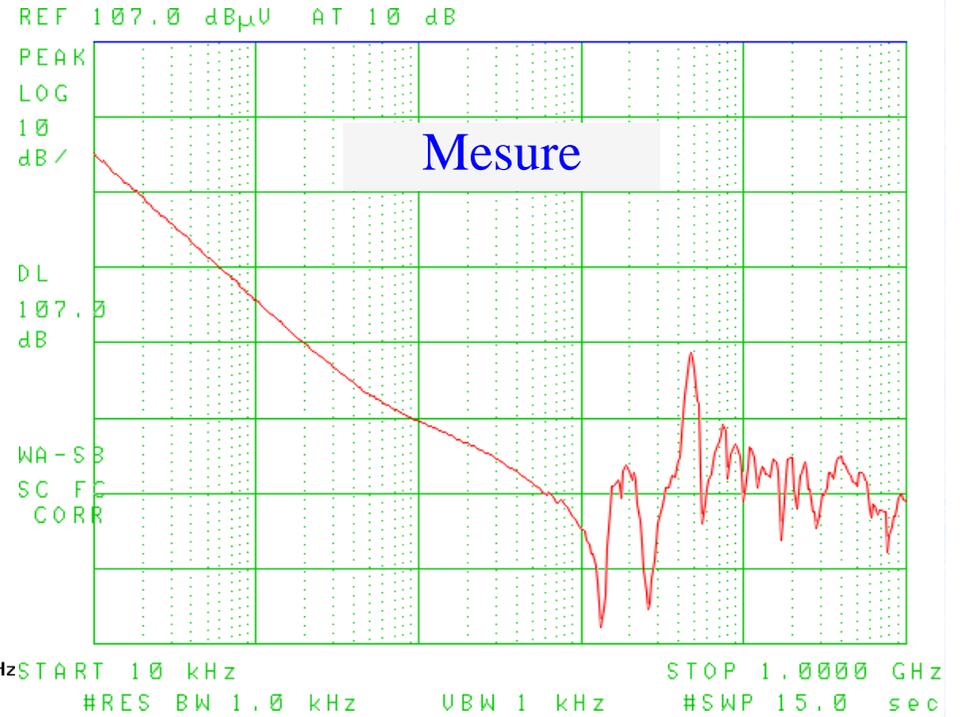
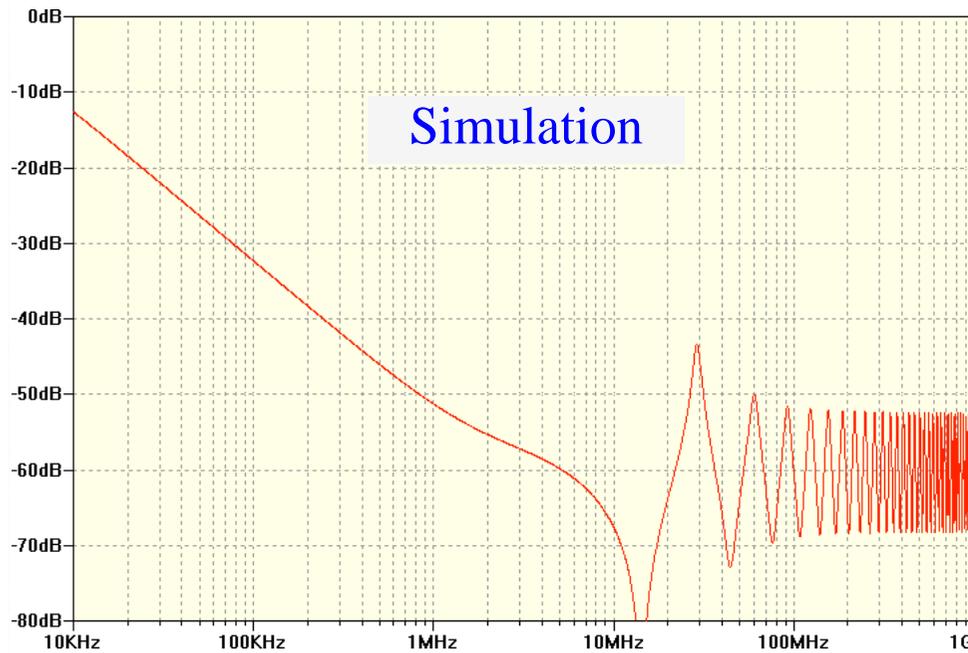
Mesure d'un fil de 1 m en court-circuit

Simulation d'un câble coaxial en MC + MD

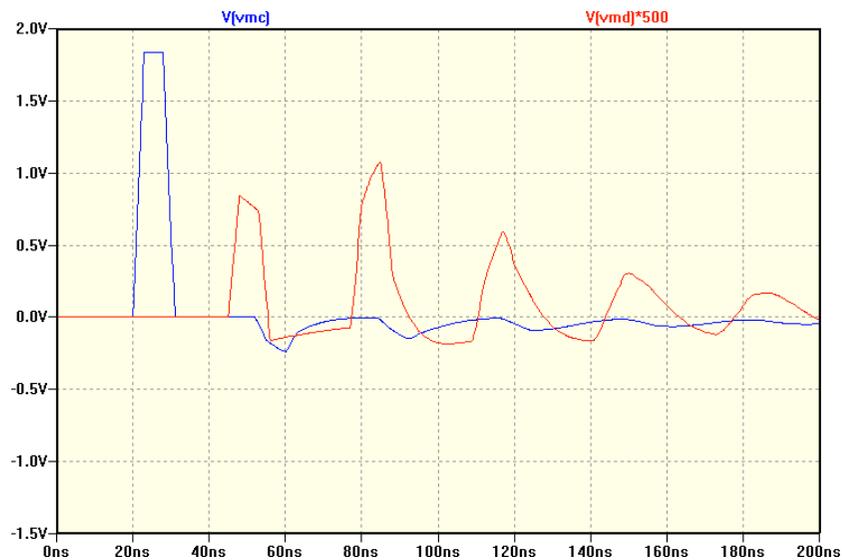


- La ligne T1, bien définie (50Ω et 5 ns pour 1 m) modélise le circuit interne au câble.
- $R11 = 0$ à un bout simule un pire cas. $R22$ à l'autre bout adapte la ligne en HF.
- La ligne T2 modélise la boucle de masse (de géométrie généralement complexe).
- C01 et R01 simulent l'amortissement en mode commun par émission en champ E.
- L1 et R1 simulent l'amortissement en mode commun par émission en champ H.
- $R0 + L0$ simulent l'impédance de transfert entre les deux boucles aux fréquences basses.
- R3 avec L0 est un passe-bas (à 32 MHz de fréquence de coupure pour 1 m de longueur) dû à la vitesse de propagation différente des lignes T1 ($\approx 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) et T2 ($\approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

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

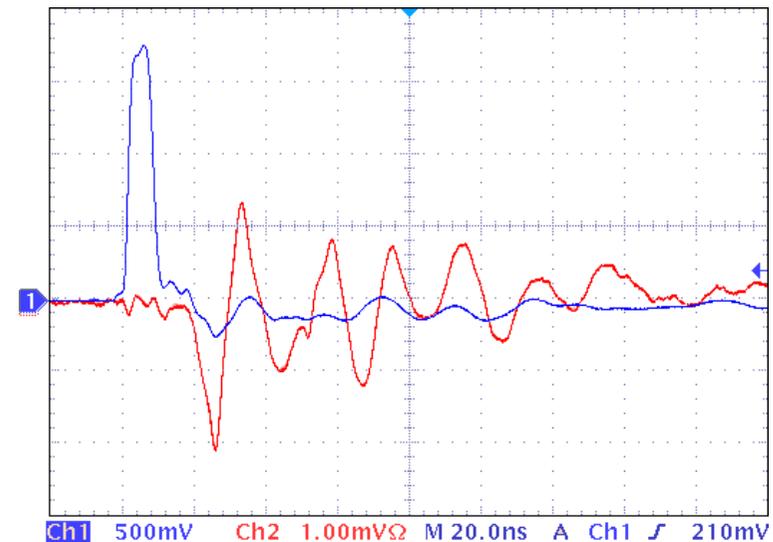


Effet réducteur en temporel d'un câble coaxial



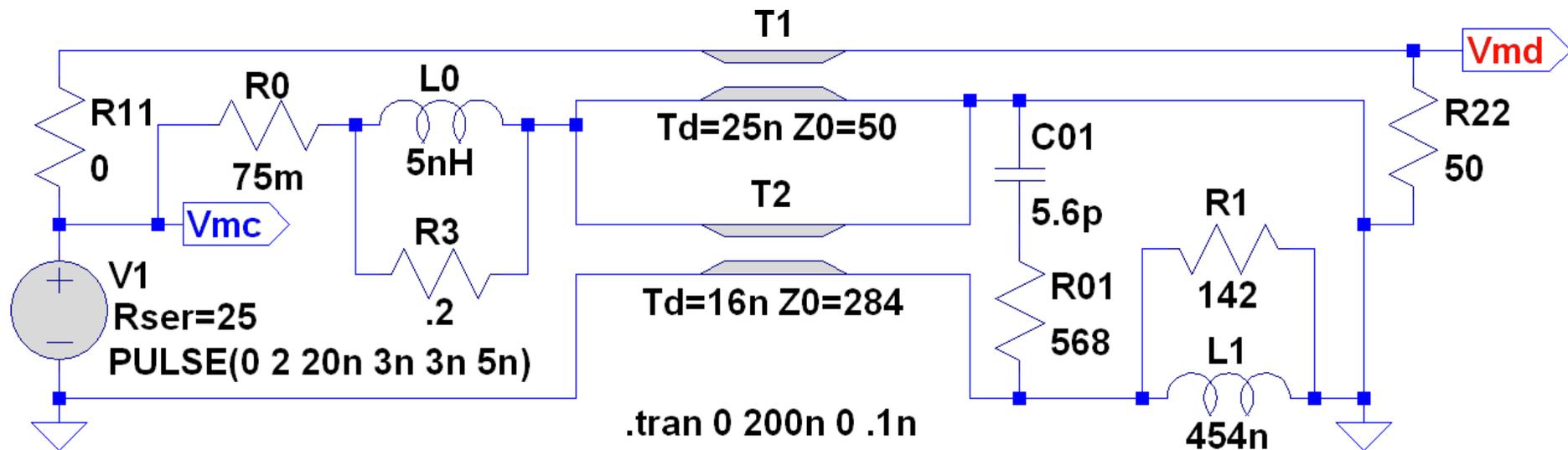
Simulation de 5 m de câble coax simple tresse

Vmc (500 mV/div) – Vmd (1 mV/div)

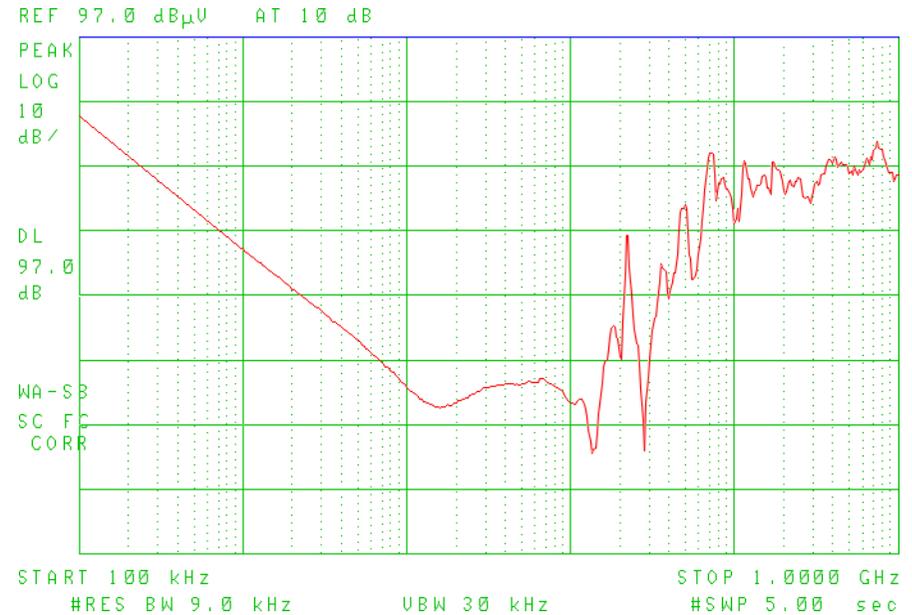
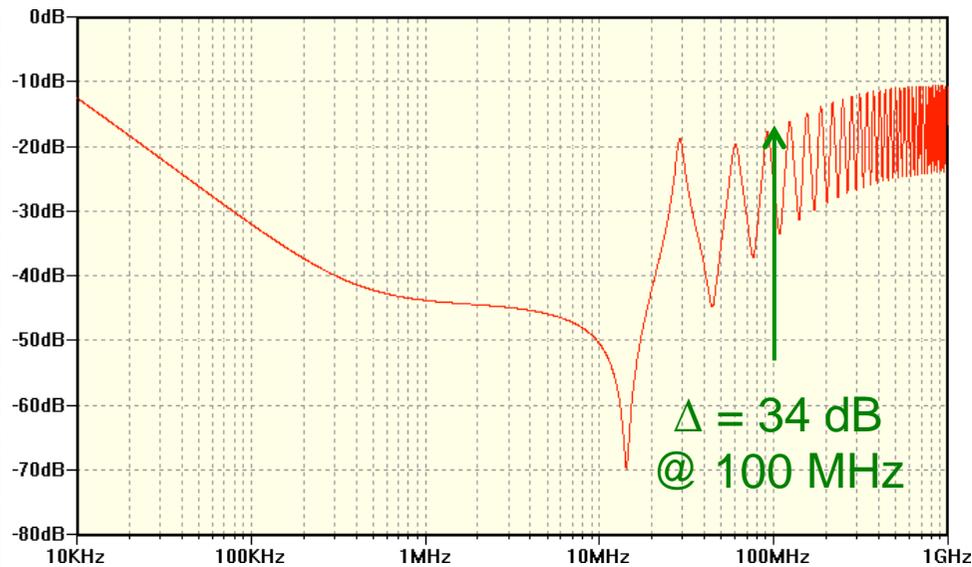


Mesure de l'effet réducteur de 5 m de RG58

Vmc (500 mV/div) – Vmd (1 mV/div)

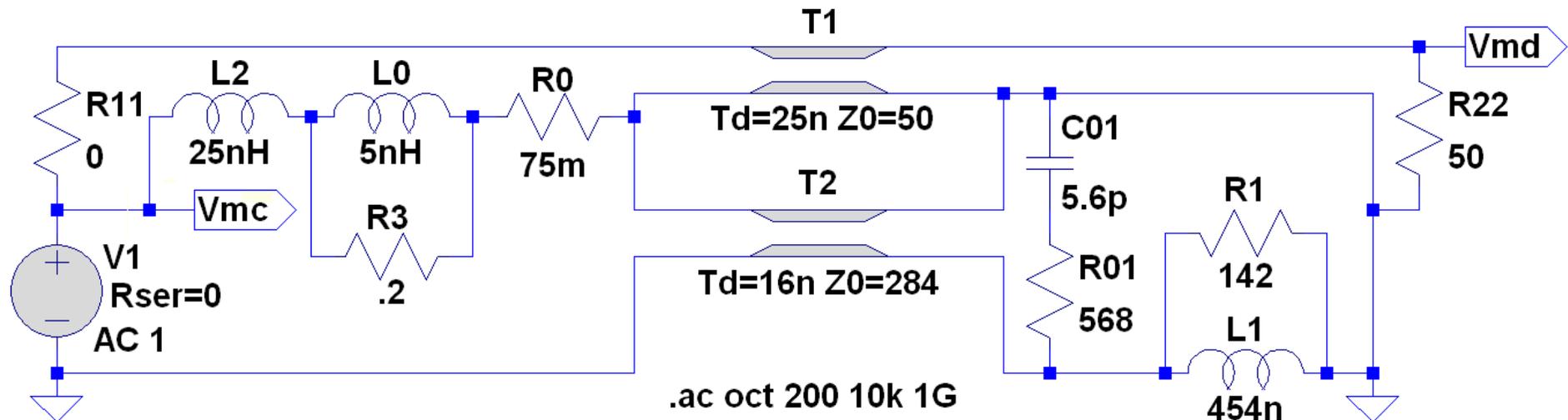


Effet en fréquence d'une queue-de-cochon



Simulation coaxial de 5 m + QdC de 25 nH

Mesure RG58 de 5 m + QdC de 25 mm



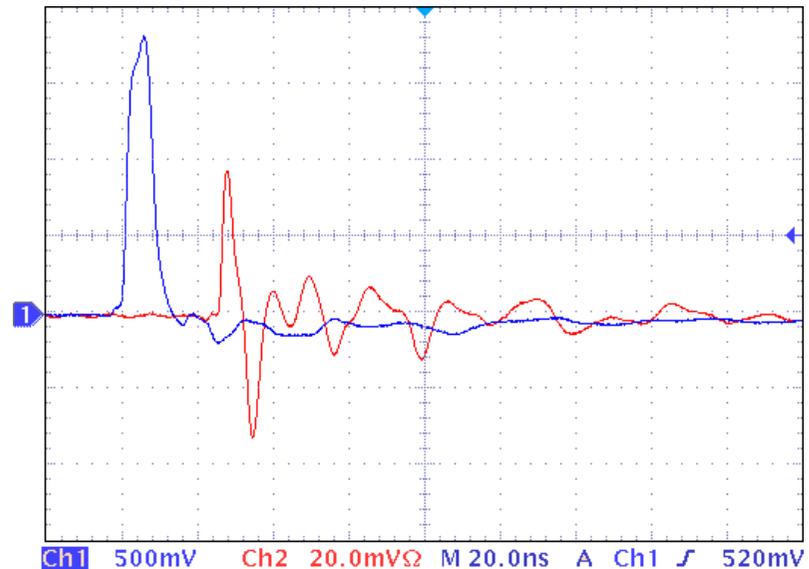
Une valeur de $L2 = 1 \text{ nH}$ par millimètre de longueur de queue-de-cochon est un peu pessimiste.

Effet d'une queue-de-cochon en temporel



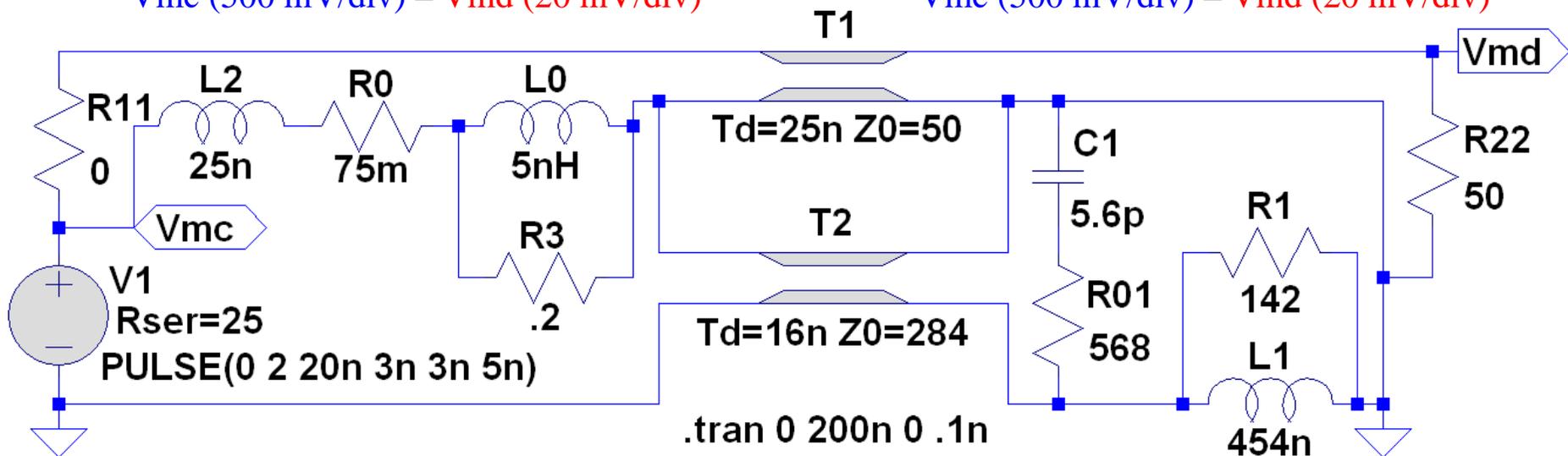
Simulation avec $L2 = 25 \text{ nH}$

V_{mc} (500 mV/div) – V_{md} (20 mV/div)



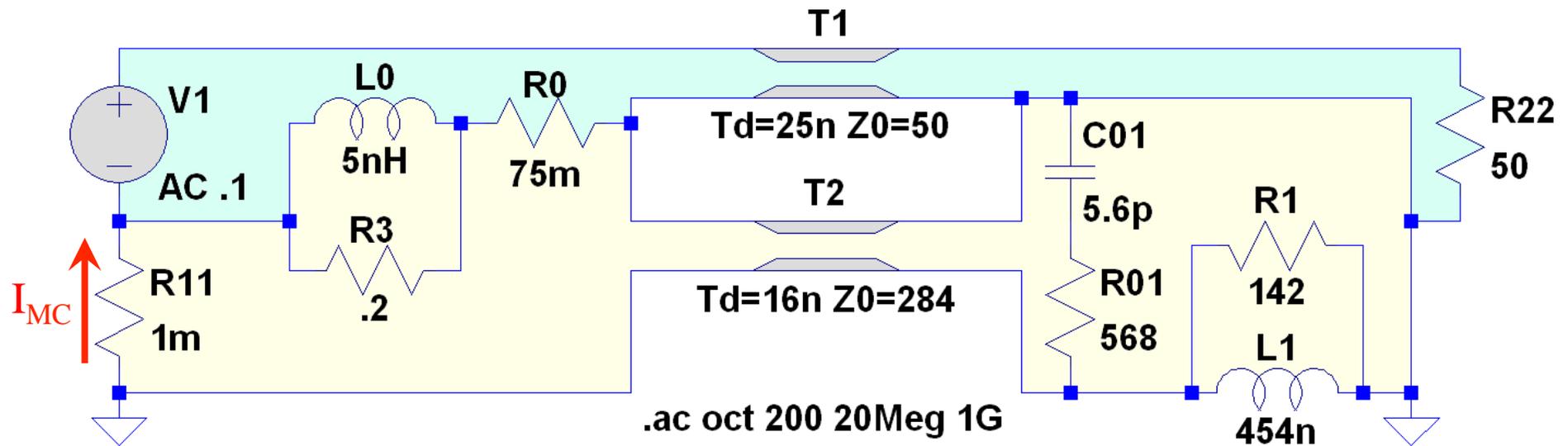
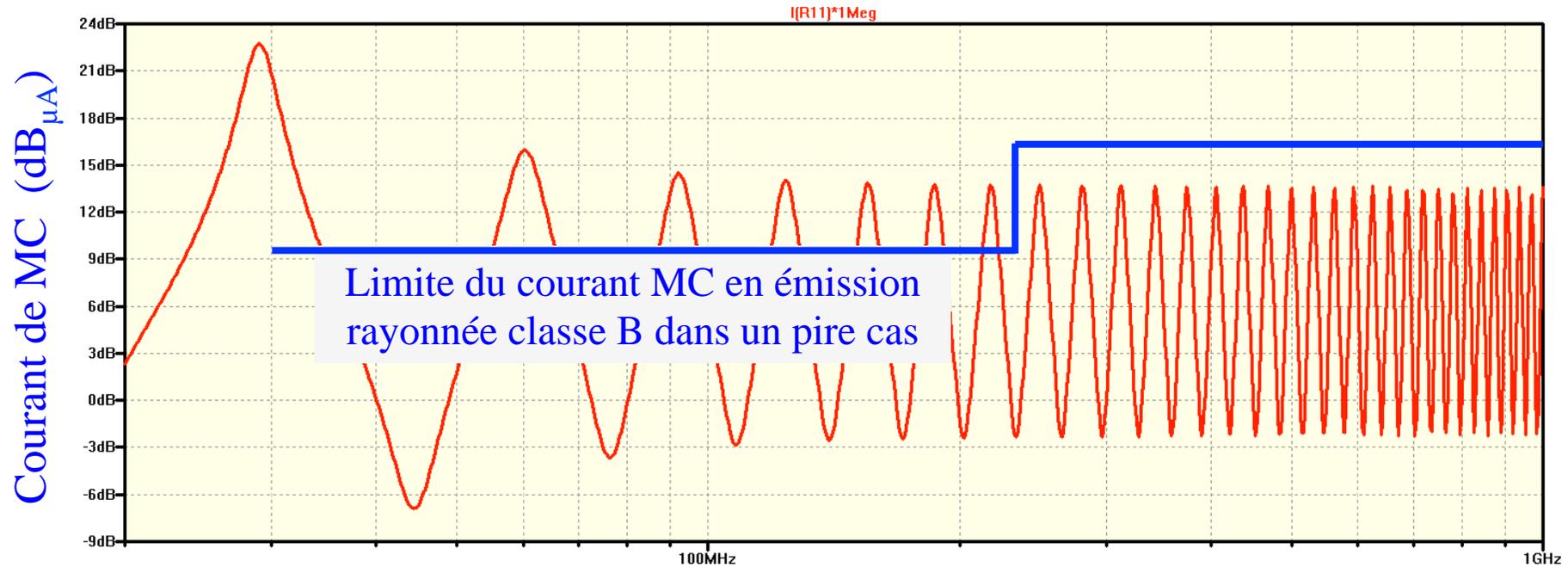
Mesure avec queue-de cochon 25 mm

V_{mc} (500 mV/div) – V_{md} (20 mV/div)



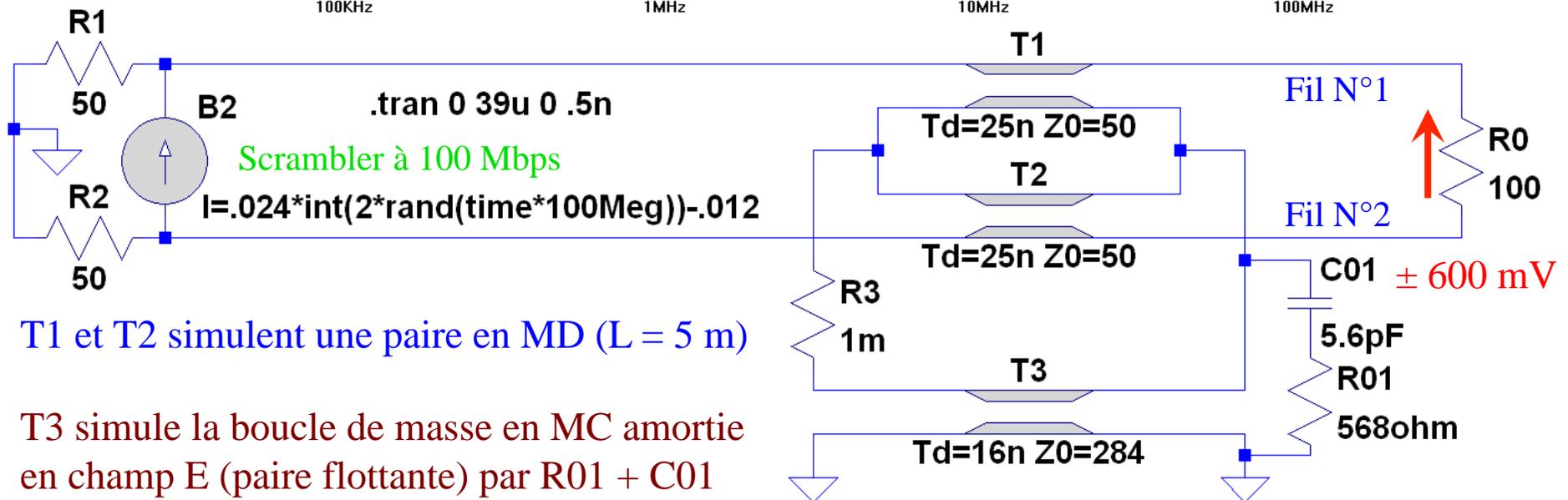
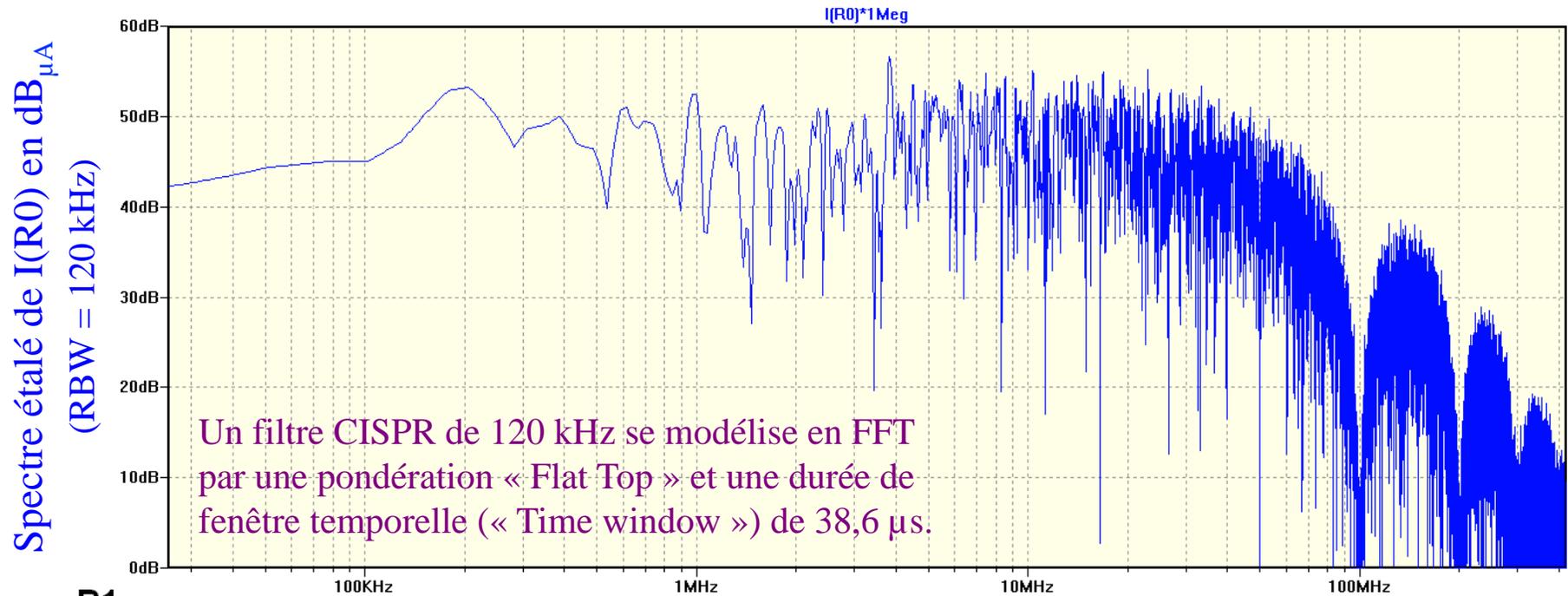
Confirmation que $L2 = 25 \text{ nH}$ pour 25 mm de queue-de-cochon est un peu pessimiste

Courant de MC sur câble coaxial induit par signal de MD

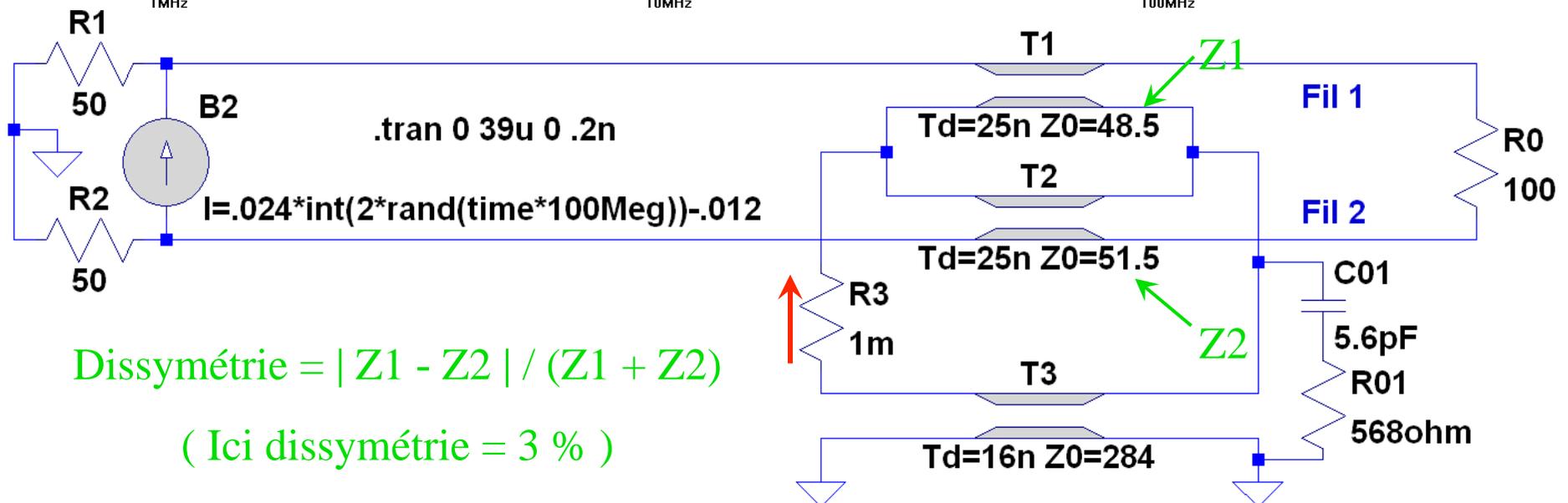
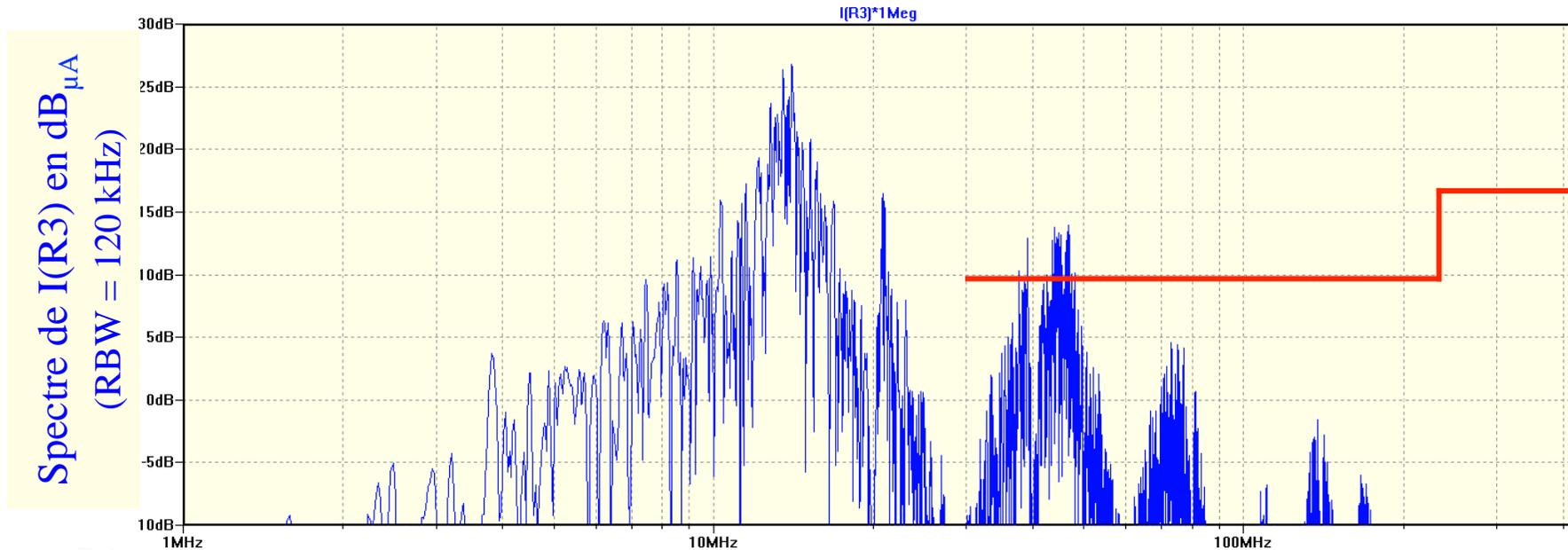


100 mV sinus transmis en câble coaxial simple tresse est souvent excessif en émission rayonnée

Modélisation d'une paire bifilaire symétrique

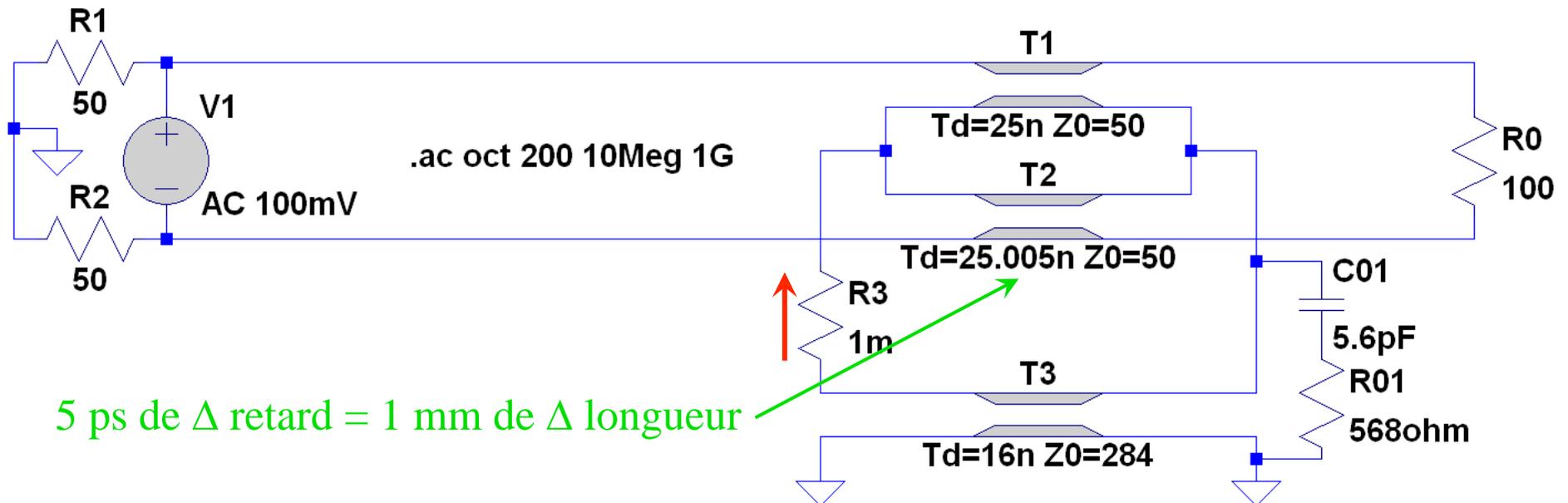
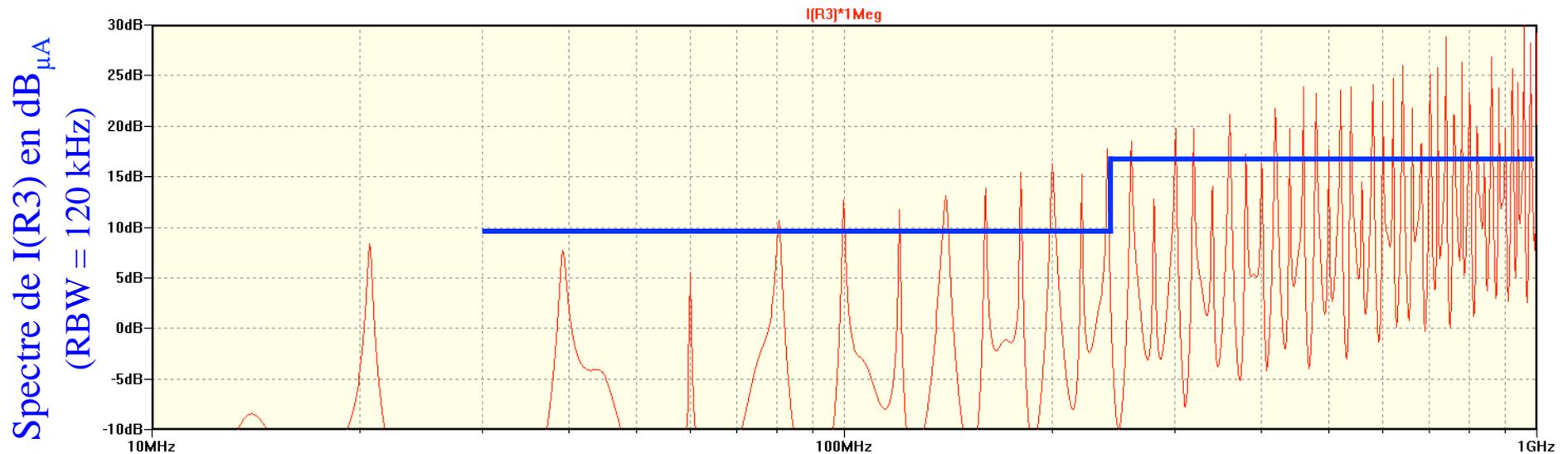


Emission d'un signal LVDS par paire dissymétrique



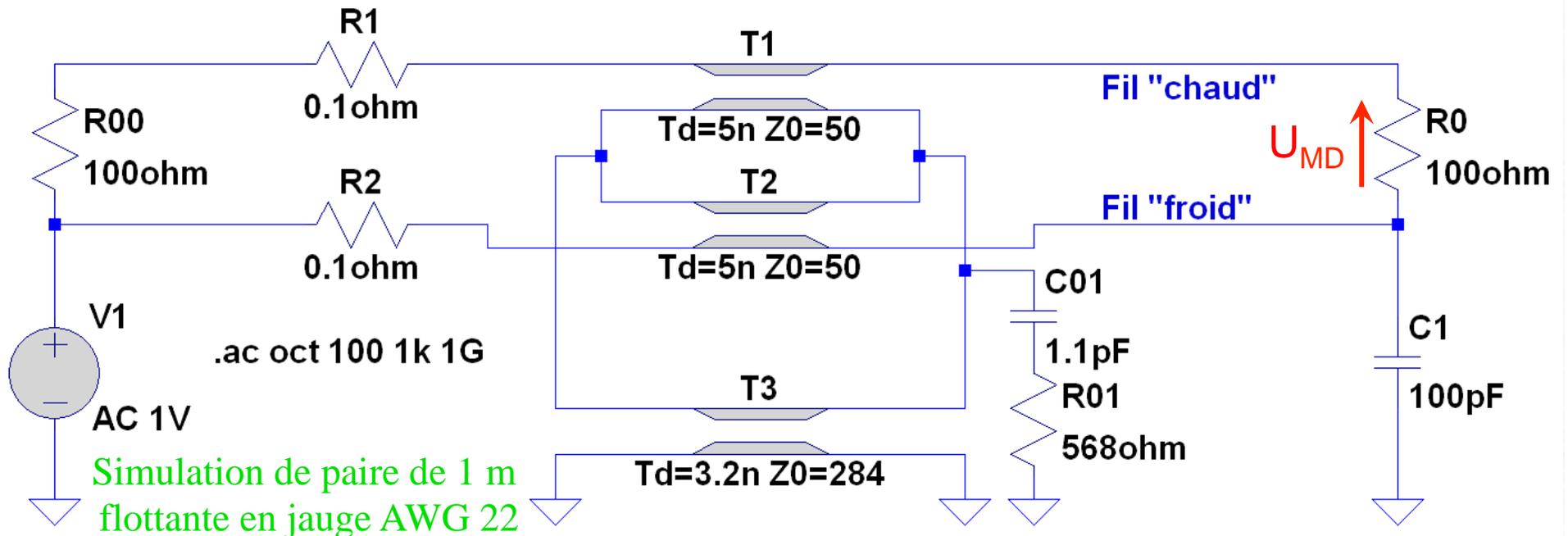
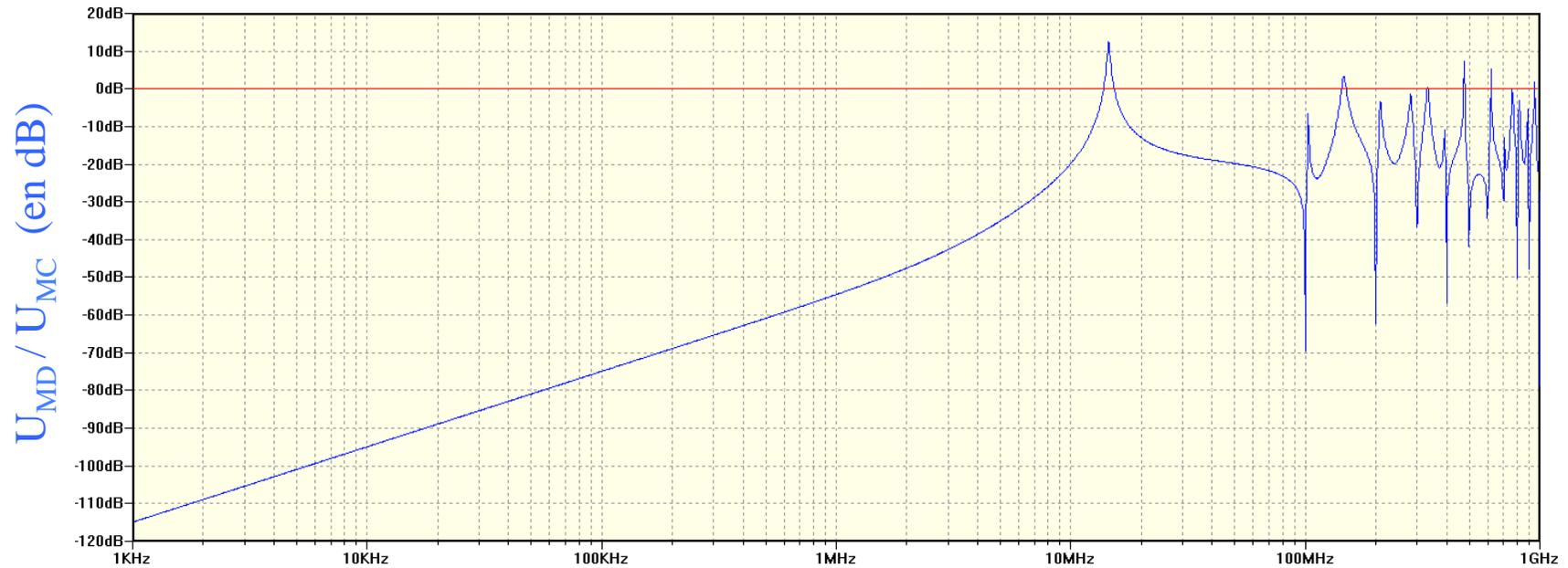
Même embrouillé, 100Mbps LVDS à 3% de dissymétrie atteint la classe B en émission rayonnée

Dissymétrie par différence de longueur de 1 mm



En classe B, 1 mm de différence de longueur est excessive pour signal bande étroite de 100 mV

Réjection du MC par paire bifilaire flottante



CONCLUSION ET SUGGESTIONS

- SPICE permet des simulations correctes de câbles coaxiaux ou de paires bifilaires symétriques.
- Les résultats obtenus en enveloppe sont proches de la réalité, même si en temporel forme et phase des phénomènes sont mal respectées.
- 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 très simples à bien comprendre) correspondent aux mesures.
- Nous restons à votre service pour discuter de tous ces modèles.