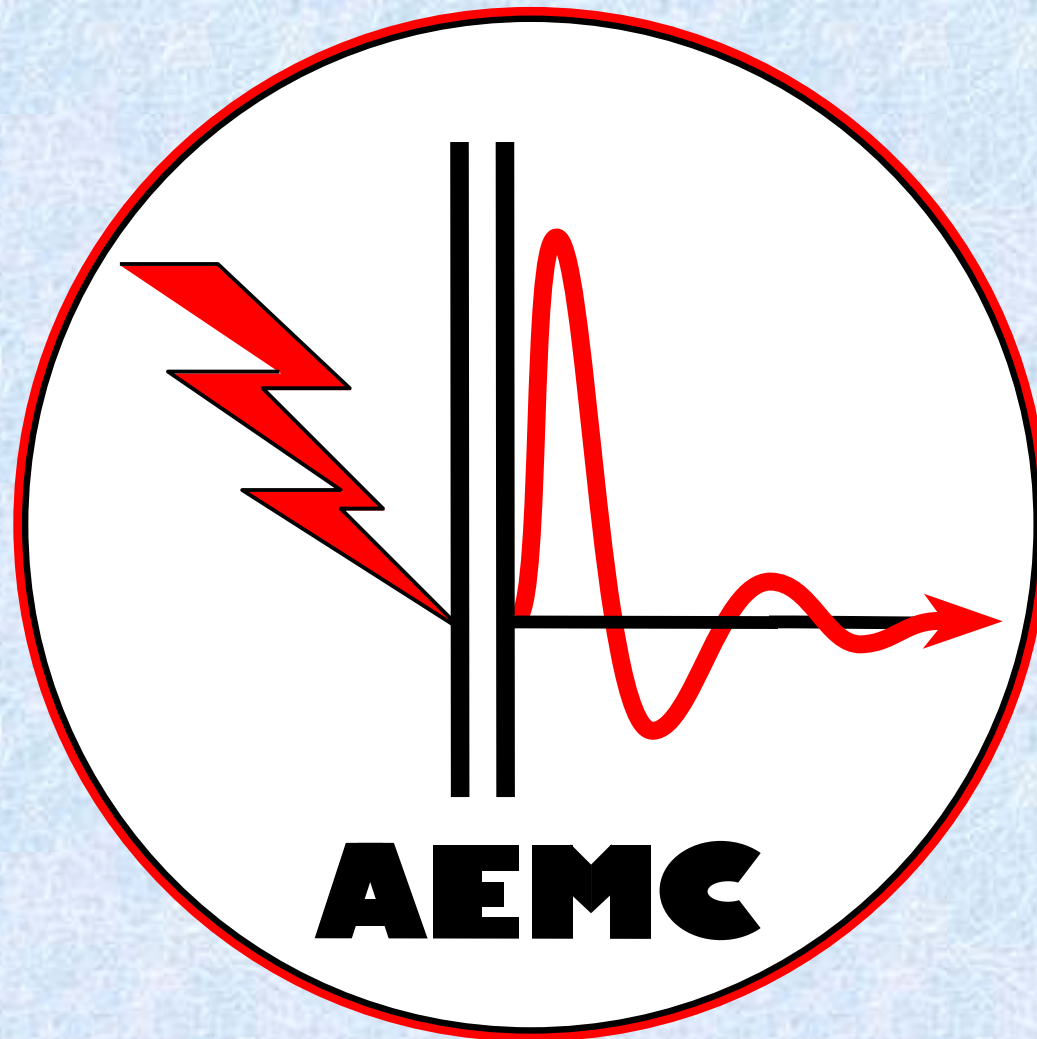
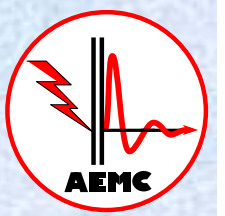


SPICE en intégrité du signal

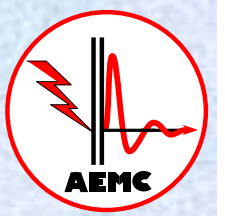


Pourquoi simuler l'intégrité de signaux ?

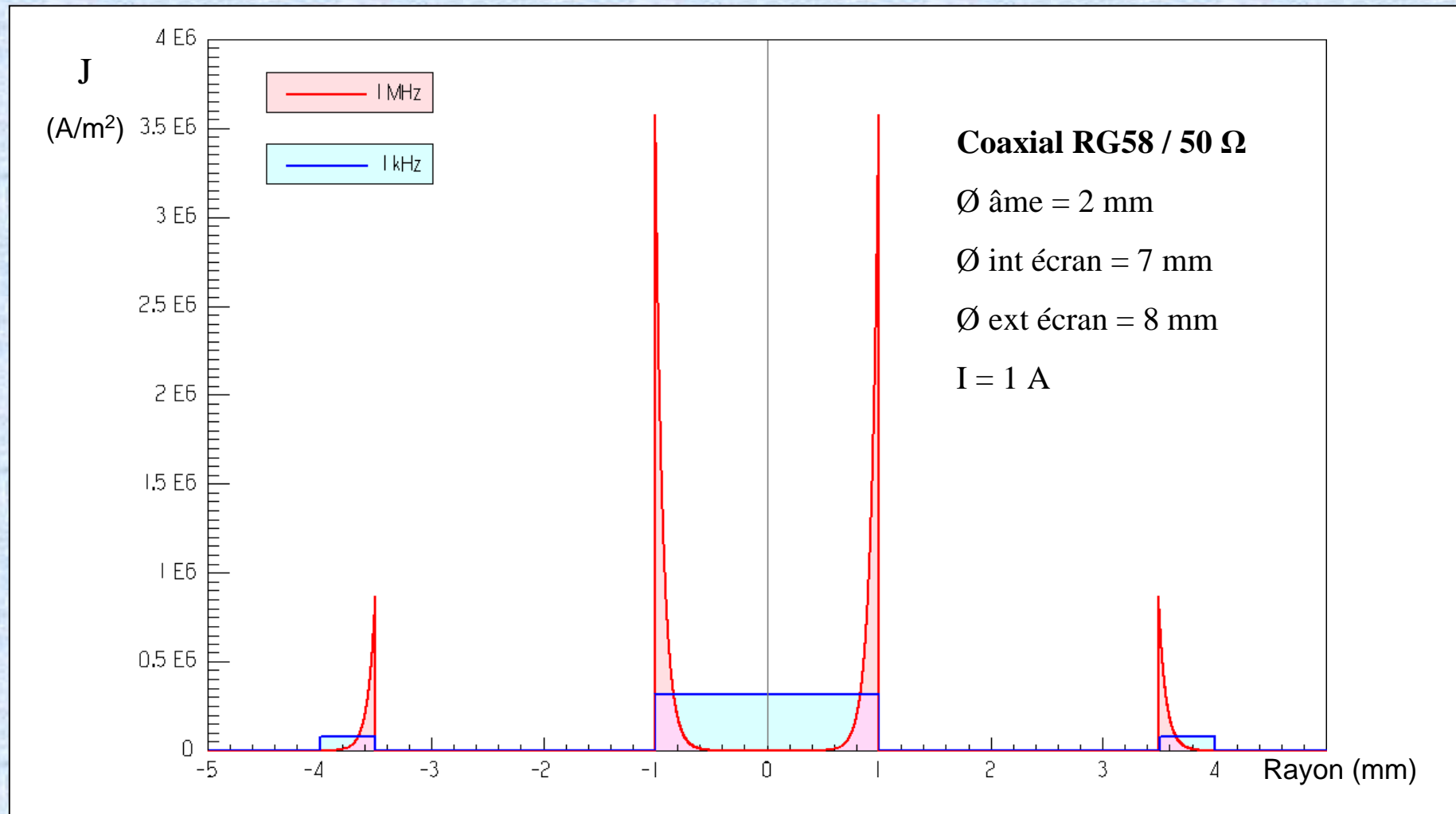


- Irréaliste de mesurer plus de 1000 points...
- Irréaliste de mesurer des évènements trop rares.
- Irréaliste de mettre au point un circuit HF à tâtons...
- Impossible de mesurer un point inaccessible d'une carte.
- Inutile d'effectuer une mesure que l'on ne sait pas exploiter.
- Impossible de mesurer les effets (enveloppes) des dispersions.
- Inutile de mesurer avec une bande passante ou une sonde inadaptée.
- Impossible de mesurer sans disposer d'une première carte (ou système).
- Inutile de mesurer un signal dans des conditions trop irréalistes (câbles...).
- Impossible de mesurer une carte qui ne démarre pas, ou ne fonctionne pas !

Où circulent les courants ?

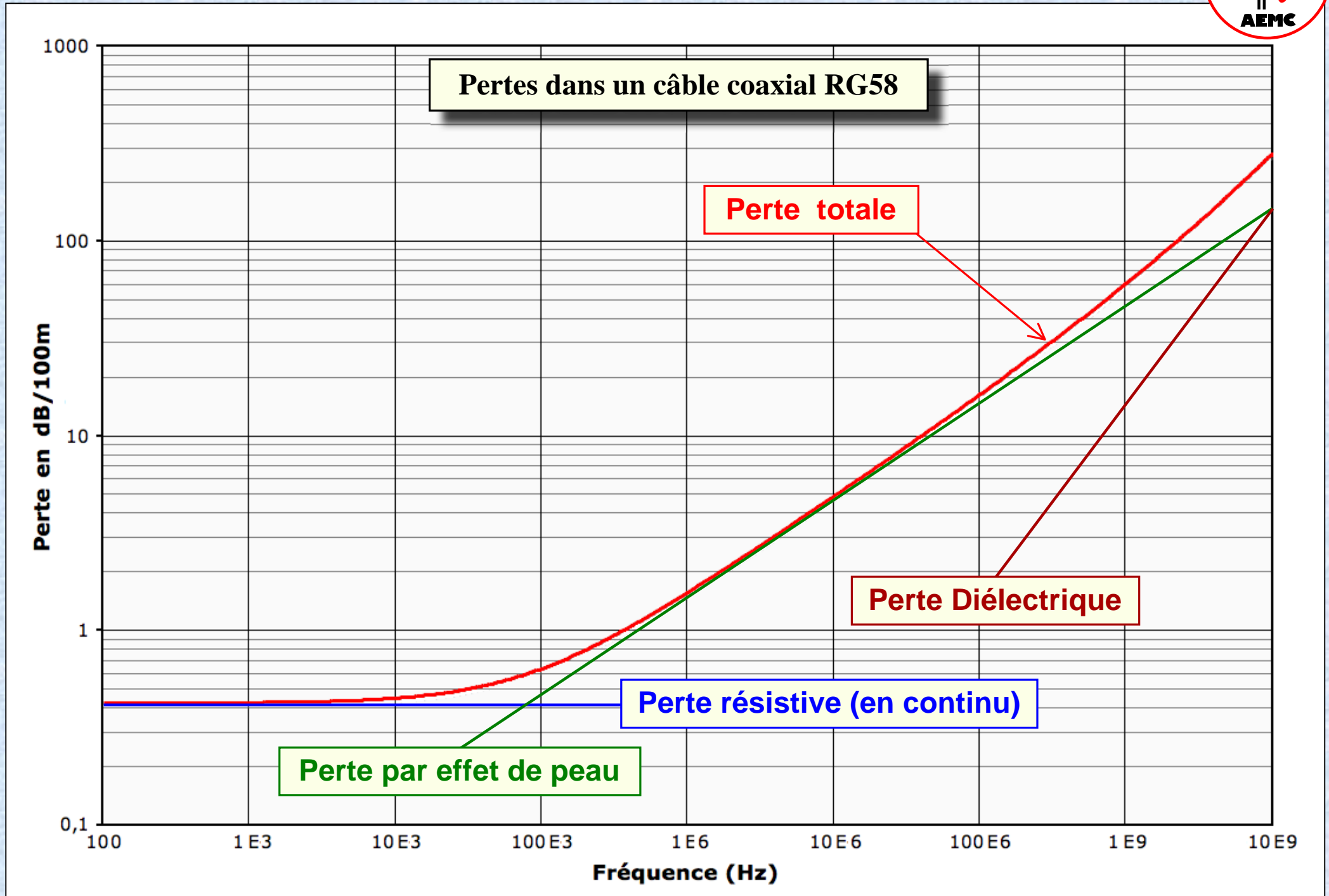
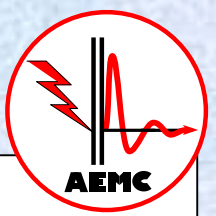


Dès quelques dizaines de kHz, les courants ne circulent plus *dans* les métaux, mais *en surface* : les champs ne se propagent que dans les isolants (à leur vitesse propre)

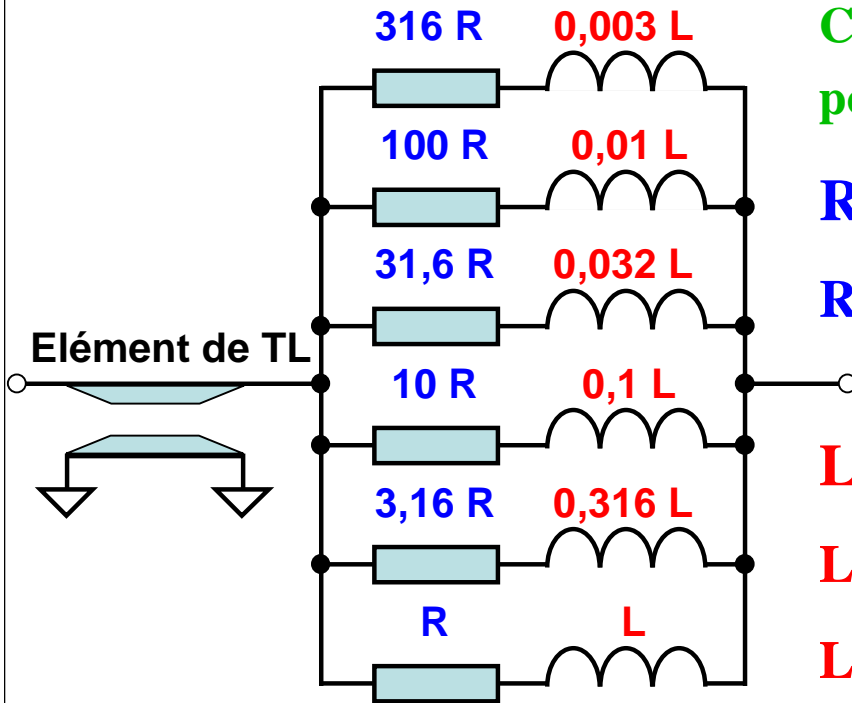
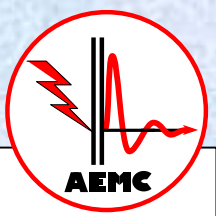


Dans un coffret métallique, les courants RF ne se propagent que par les câbles et nappes, trous, ouvertures, fentes, interstices et joints (surtout aux F de résonance)

Pertes dans une ligne de transmission



Simulation SPICE des pertes par effet de peau



Ce réseau en échelle simule les pertes dans les conducteurs pour le domaine temporel, du continu à plus de 1 GHz.

$$R = 1,461 R_0$$

R_0 = résistance en continu de chaque élément de ligne

$$L = 2,07 L_0$$

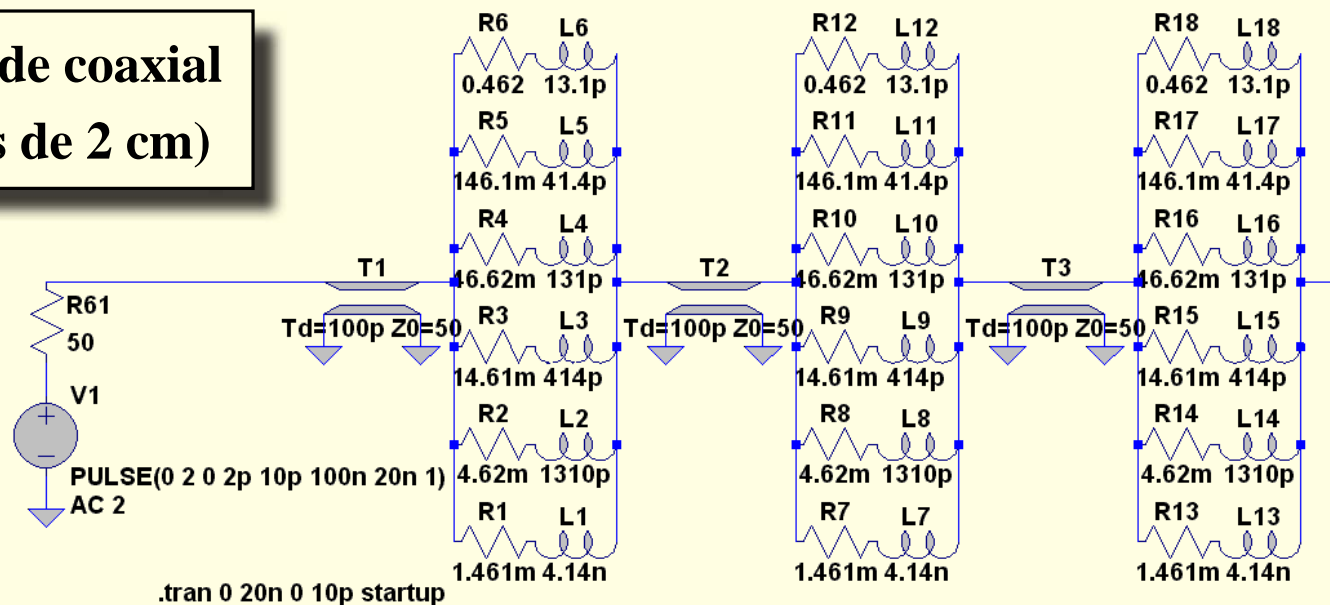
L_0 = Self interne BF des conducteurs d'un élément ligne

$L_0 = 100 \text{ nH/m}$; $L = 2,07 \text{ nH/cm}$ (de l'élément de ligne)

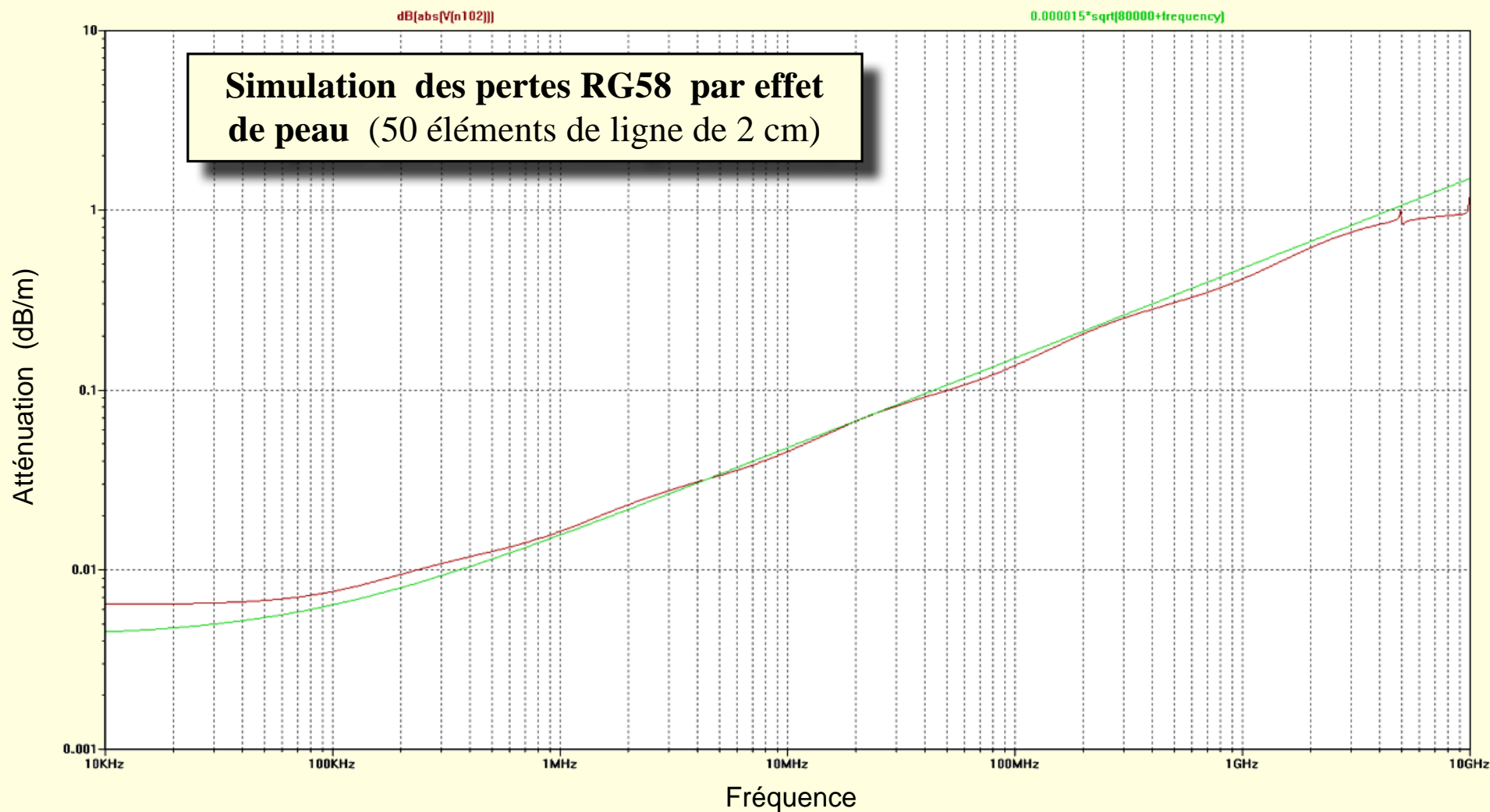
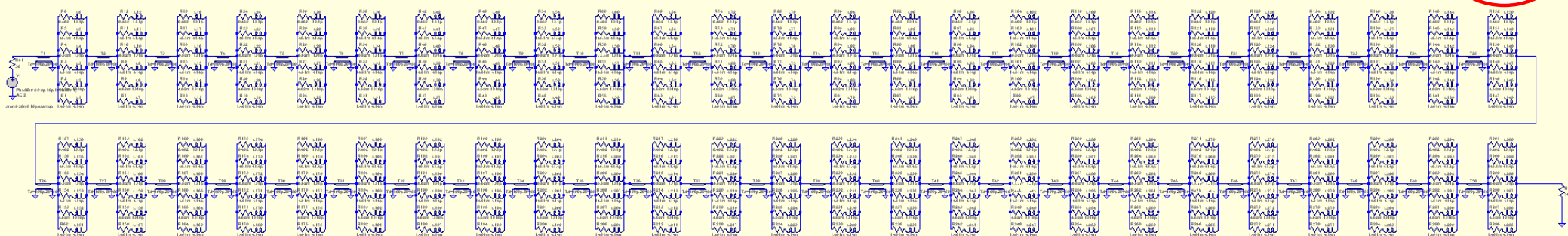
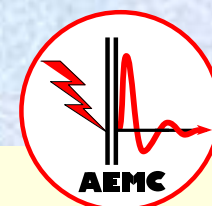
Exemple de modélisation de coaxial type RG58 (par éléments de 2 cm)

Ce modèle fonctionne aussi bien pour des lignes différentielles que pour des lignes asymétriques (pistes ou câbles)

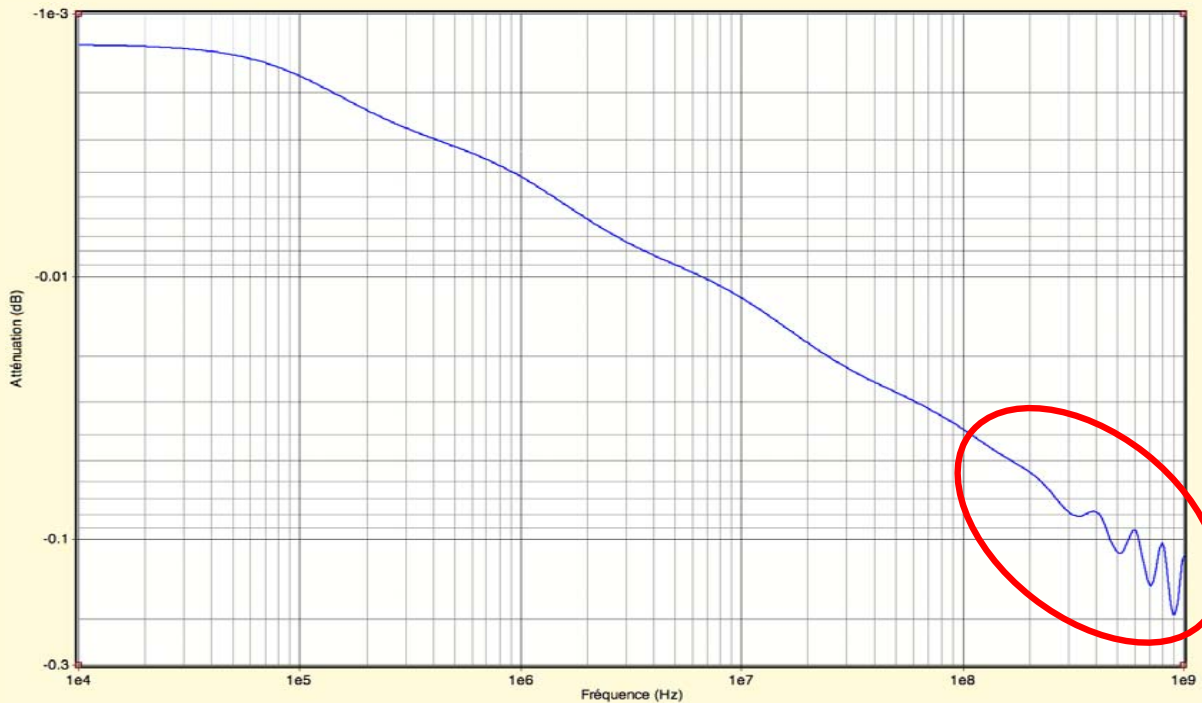
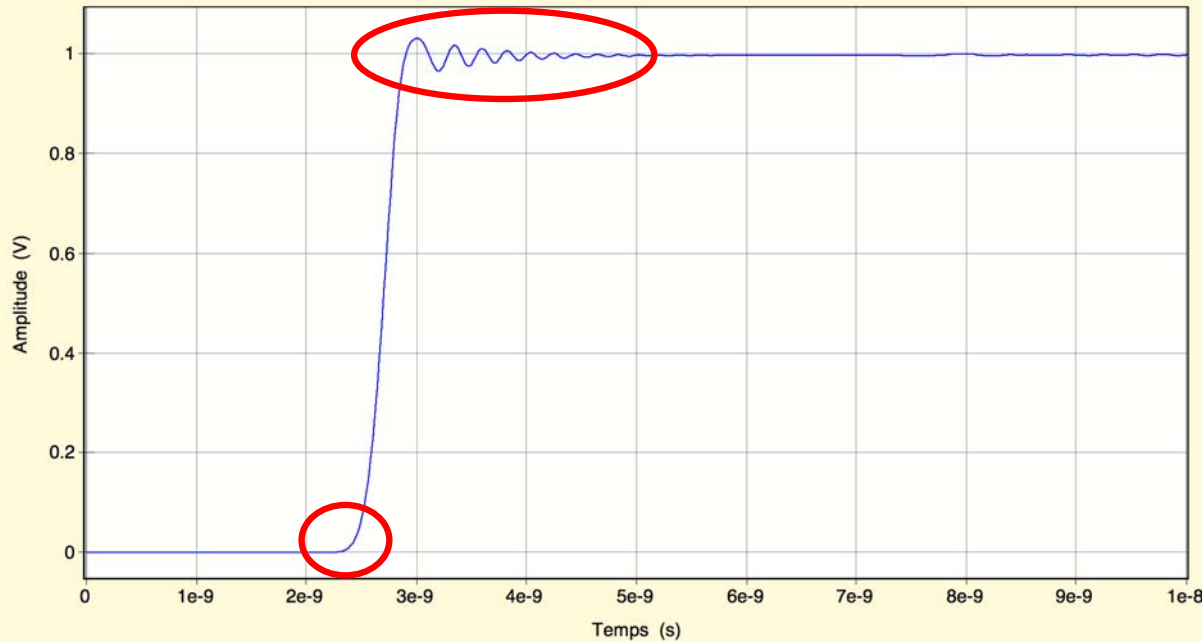
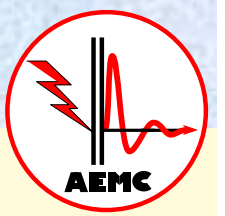
Source: Bidyut K. Sen - Skin Effects models for Transmission Line Structures using Generic SPICE Circuit Simulators



Simulation de l'effet de peau en fréquence



Eviter les artefacts...



La plupart des artefacts des résultats de simulation sont dus au programmeur :

Dans tous les cas :

- Utiliser un nombre suffisant de cellules.
- Calculer un nombre suffisant de points.
- Attention aux composants non linéaires.

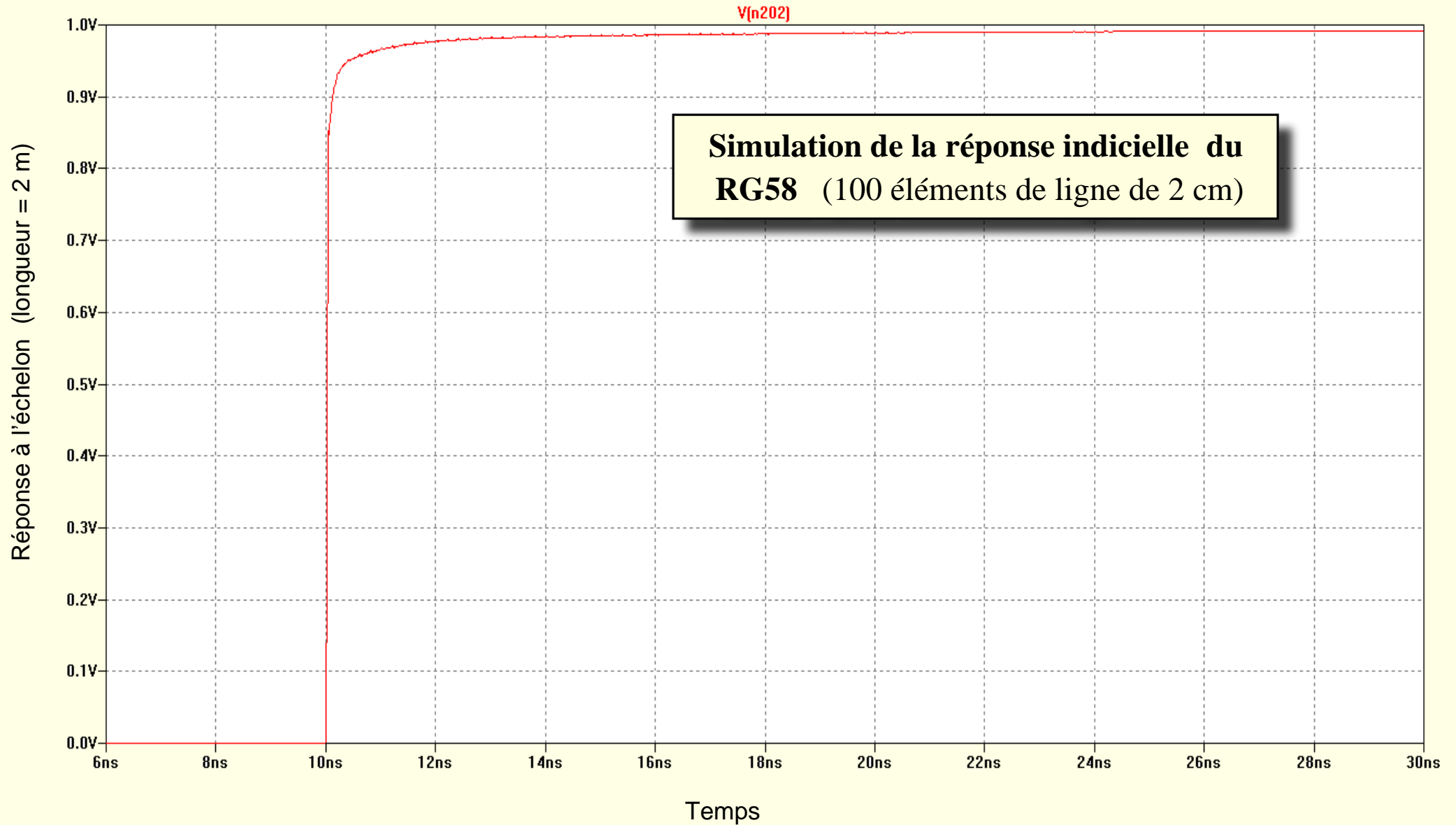
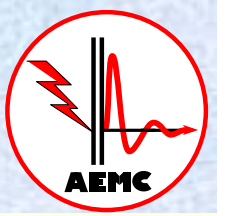
En temporel :

- Choisir un temps de montée adapté.
- Fixer un pas temporel maximal correct.

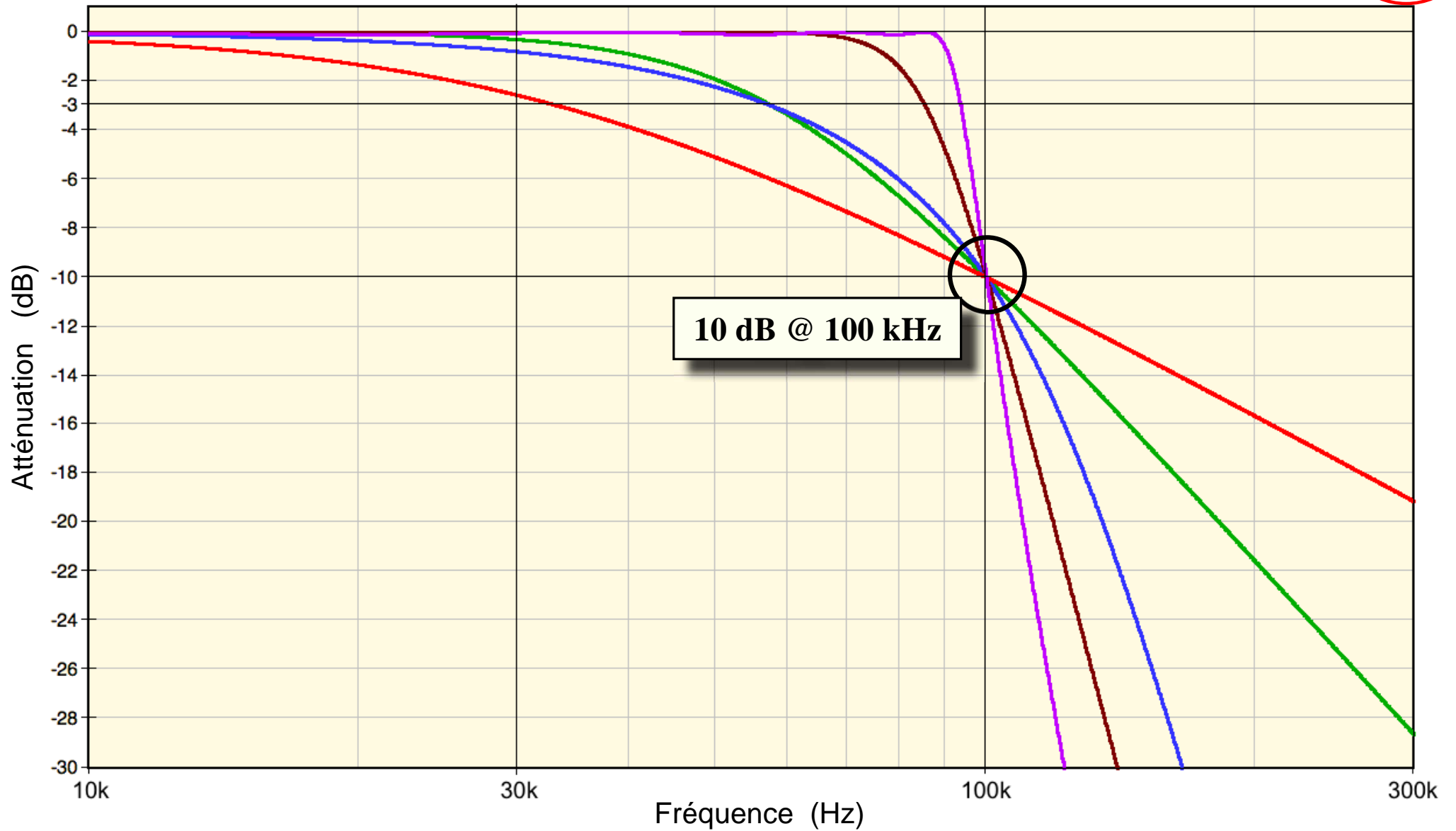
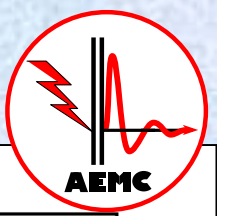
En fréquentiel :

- Attention au repliement de spectre.
- Attention à la « RBW » équivalente

Réponse à l'échelon avec pertes par effet de peau



Réponse fréquentielle de 5 filtres passe-bas



— R - C (du 1^{er} ordre)

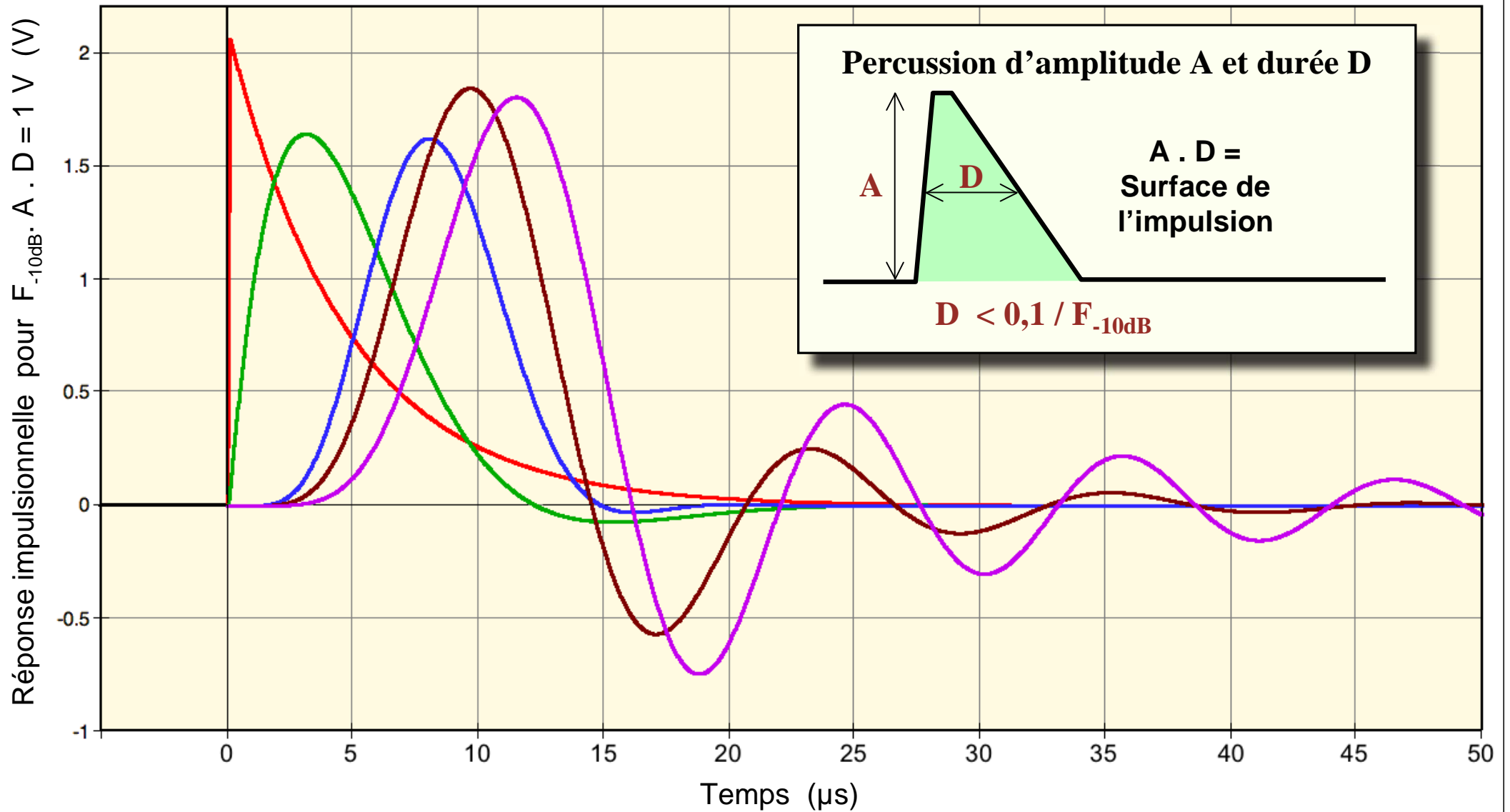
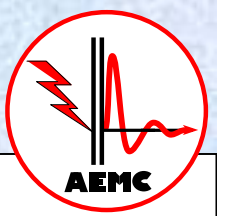
— L - C (Butterworth d'ordre 2)

— Bessel d'ordre 7

— Butterworth d'ordre 7

— Chebyshev 0,1 dB d'ordre 7

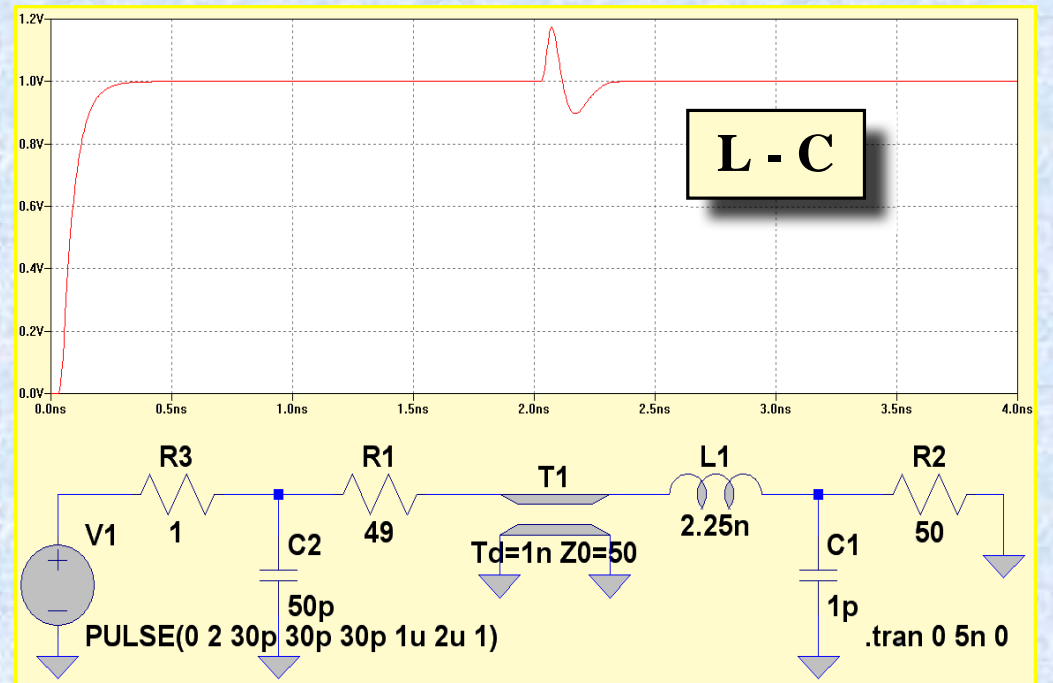
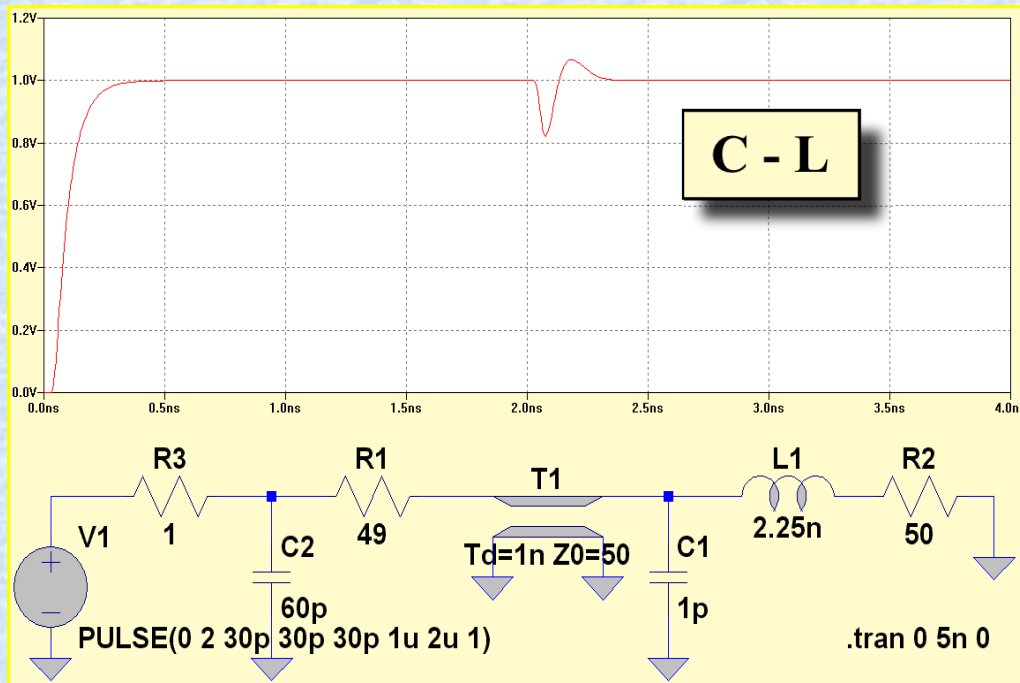
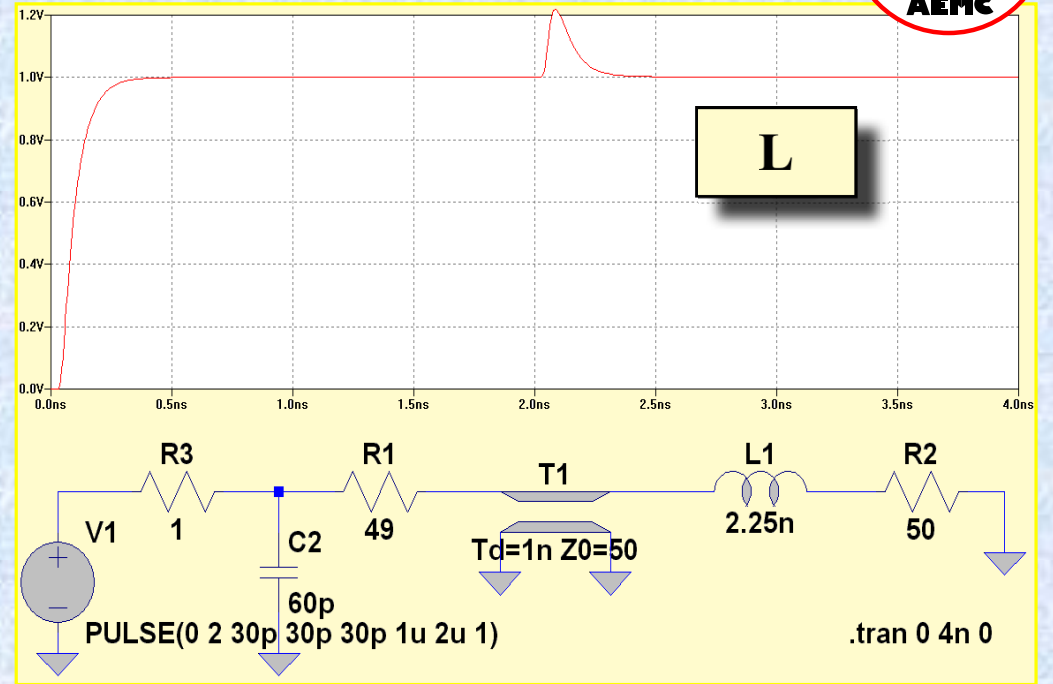
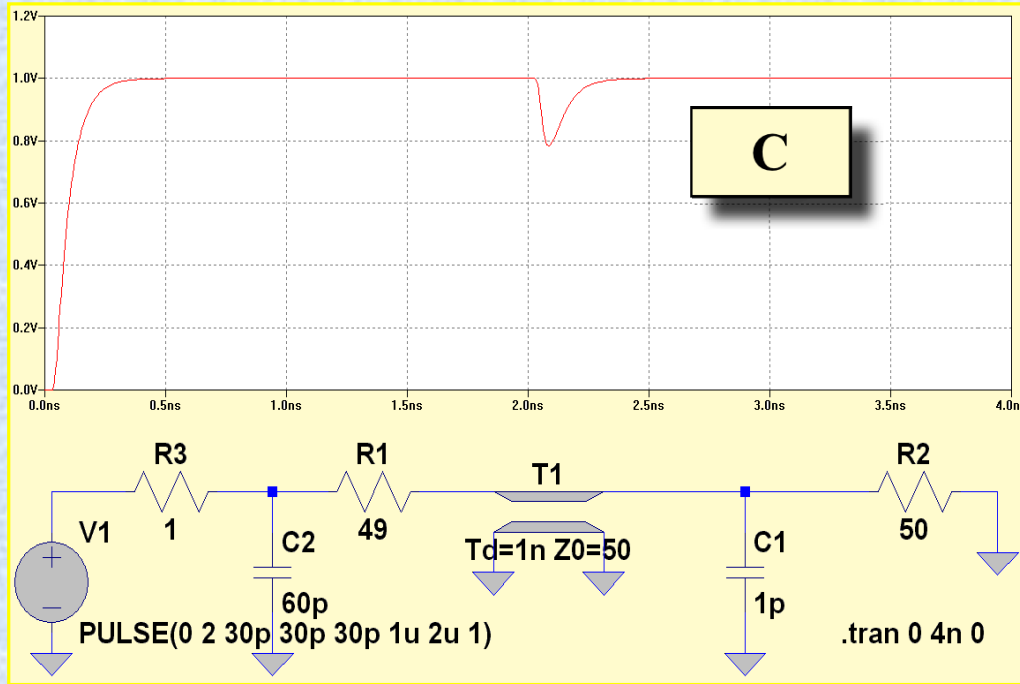
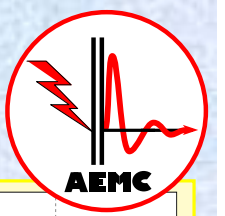
Réponse impulsive des 5 filtres passe-bas



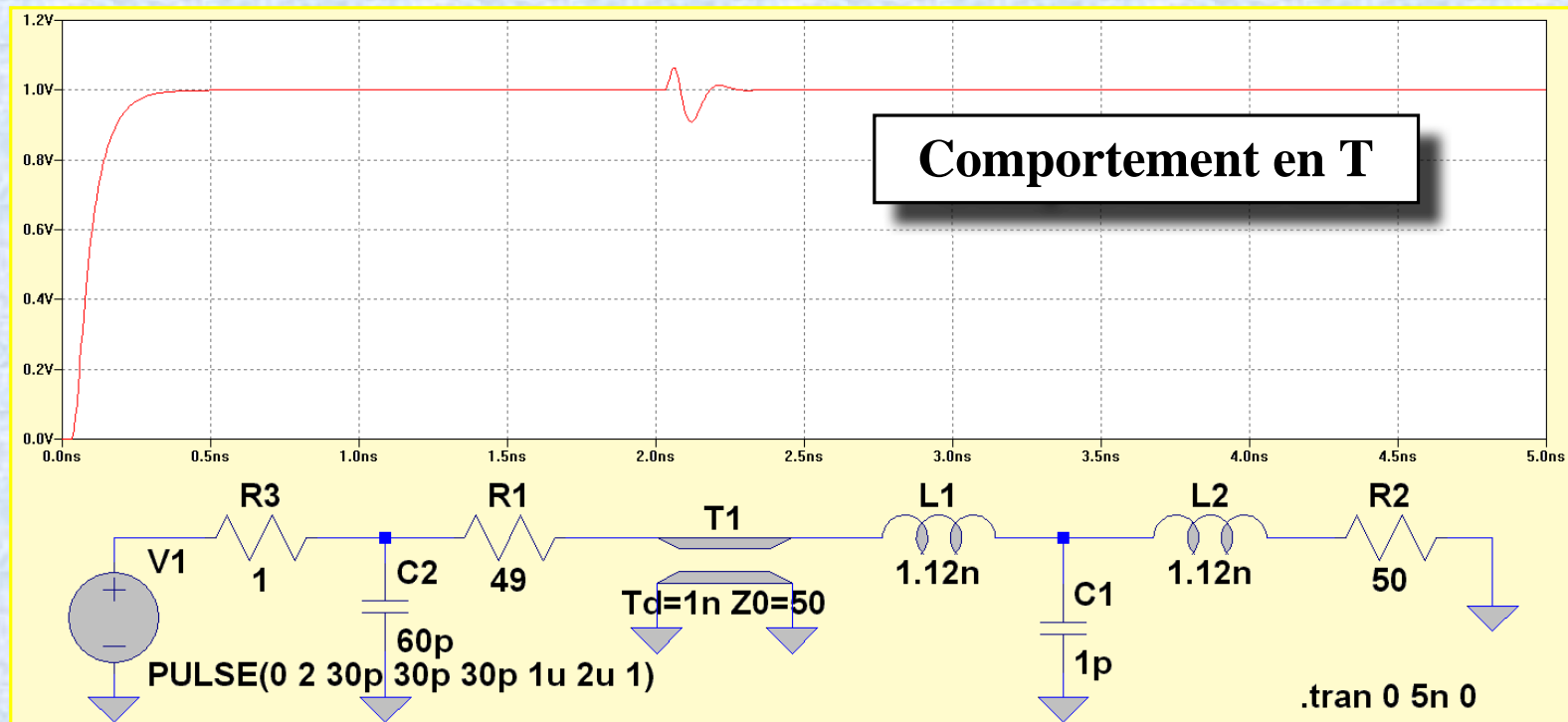
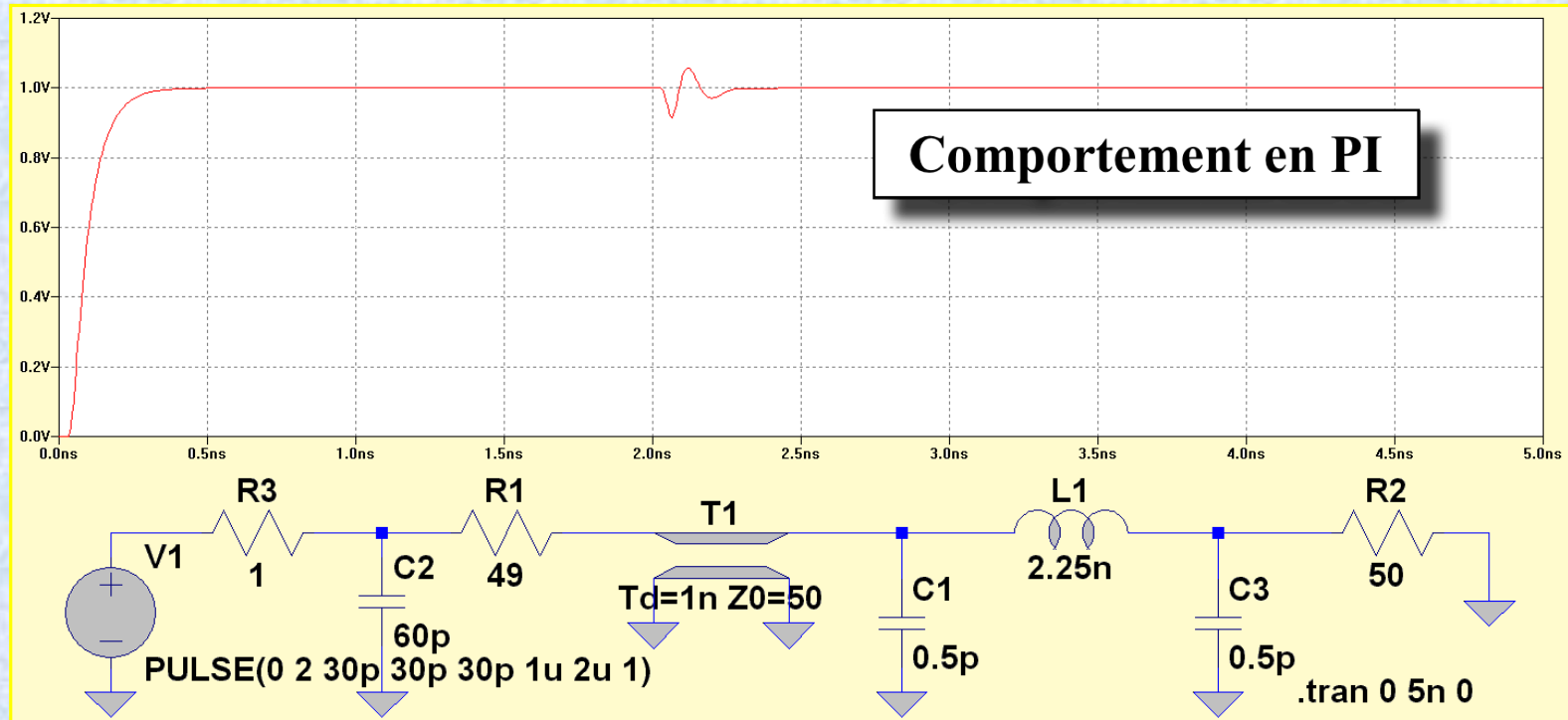
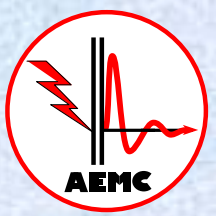
**R = Amplitude résiduelle crête
en sortie de tout filtre passe-bas**

$$\mathbf{R \approx 2 A \cdot D \cdot F_{-10 \text{ dB}}}$$

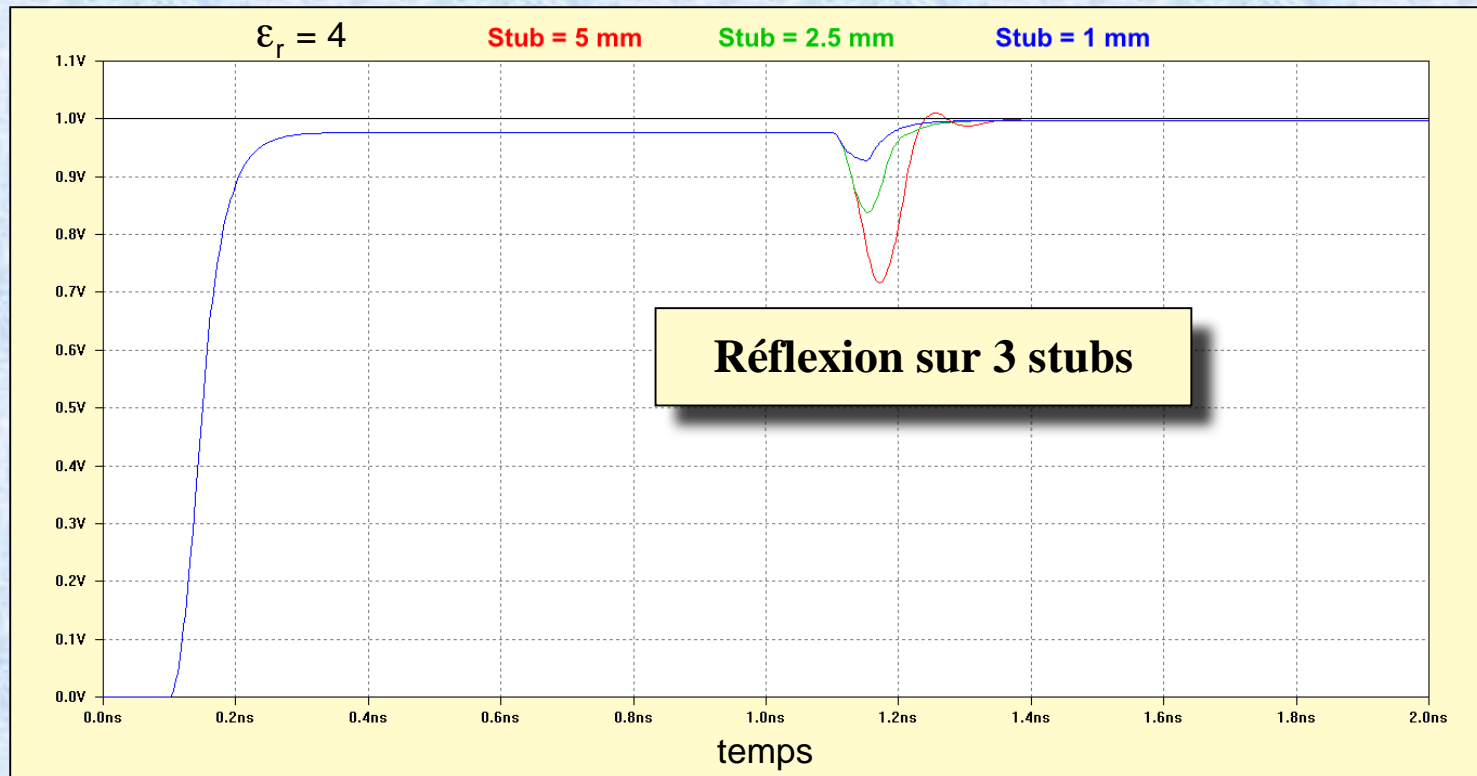
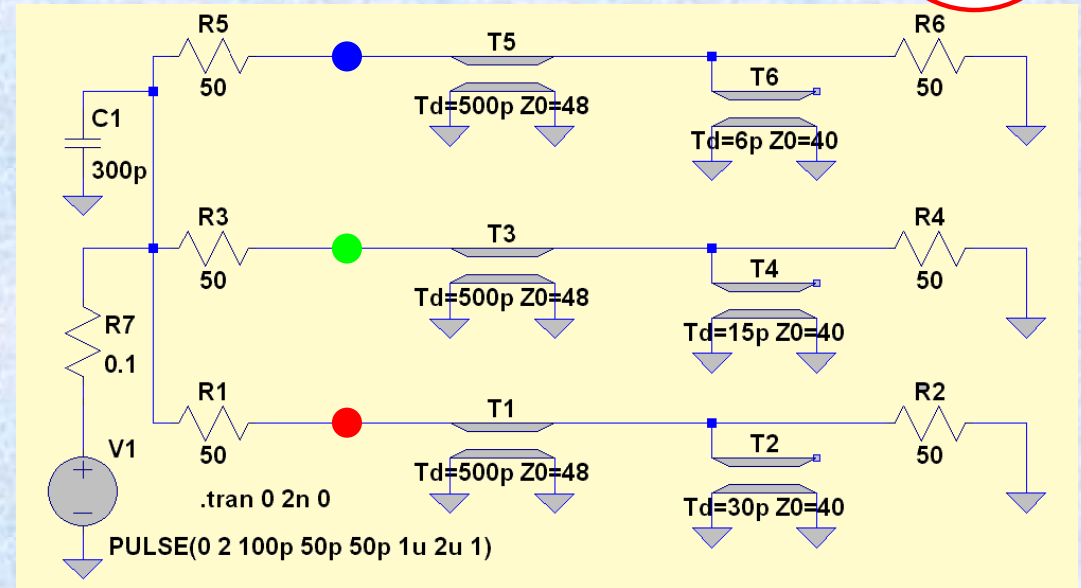
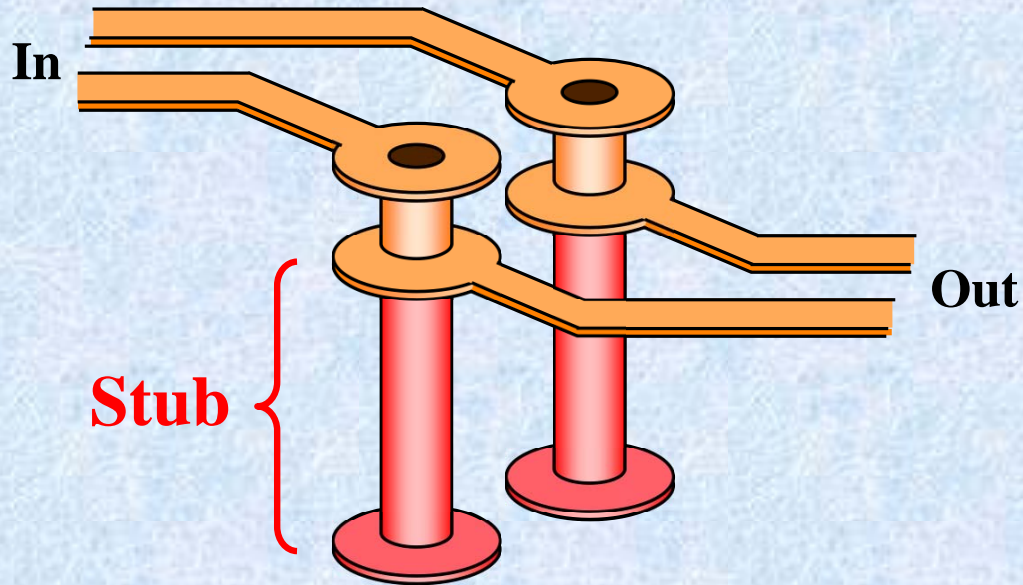
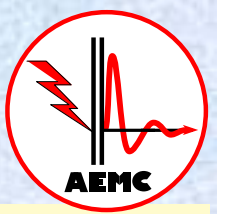
Bases de TDR



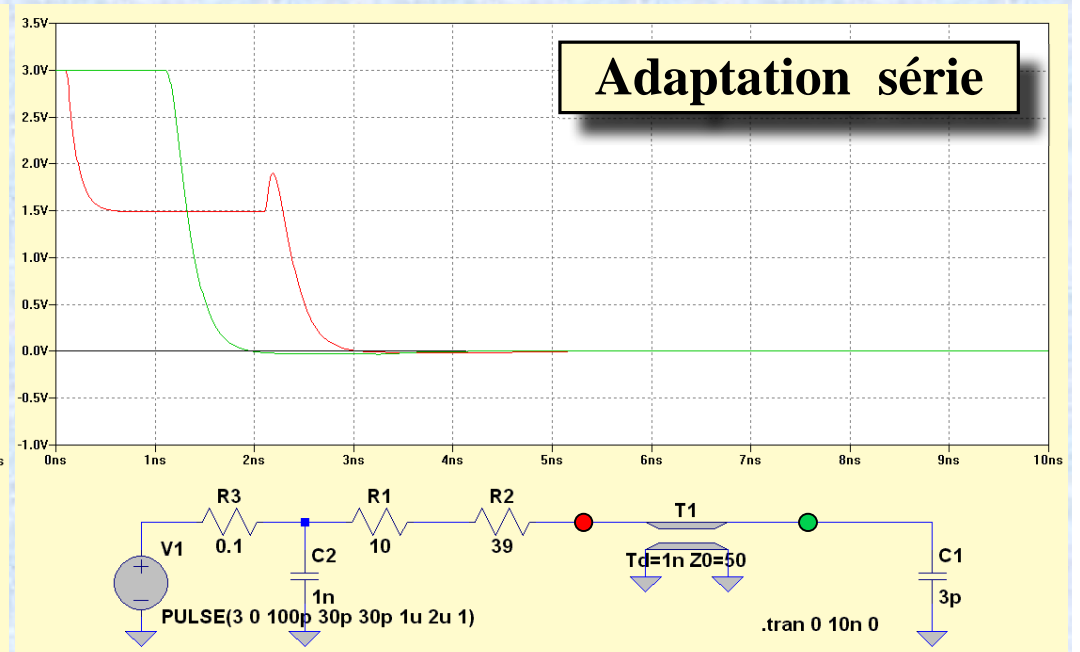
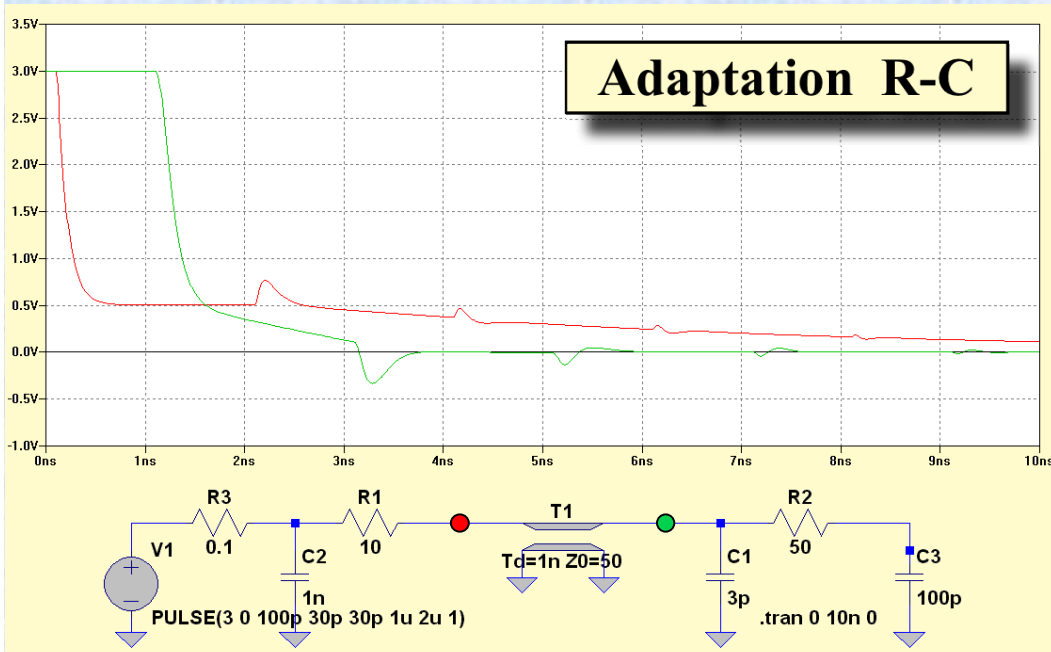
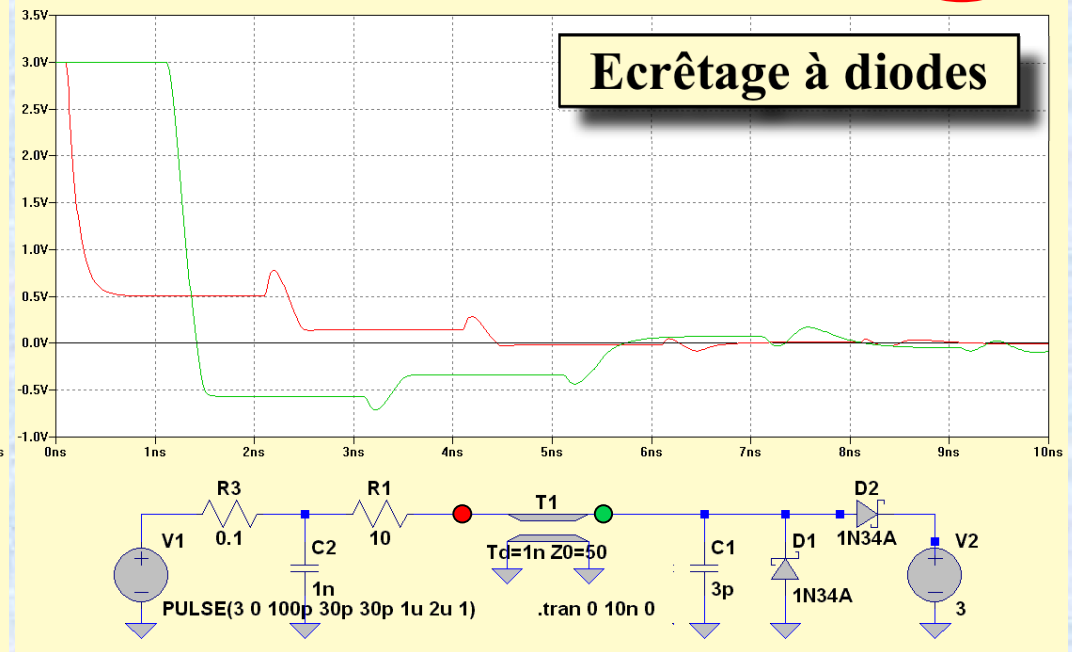
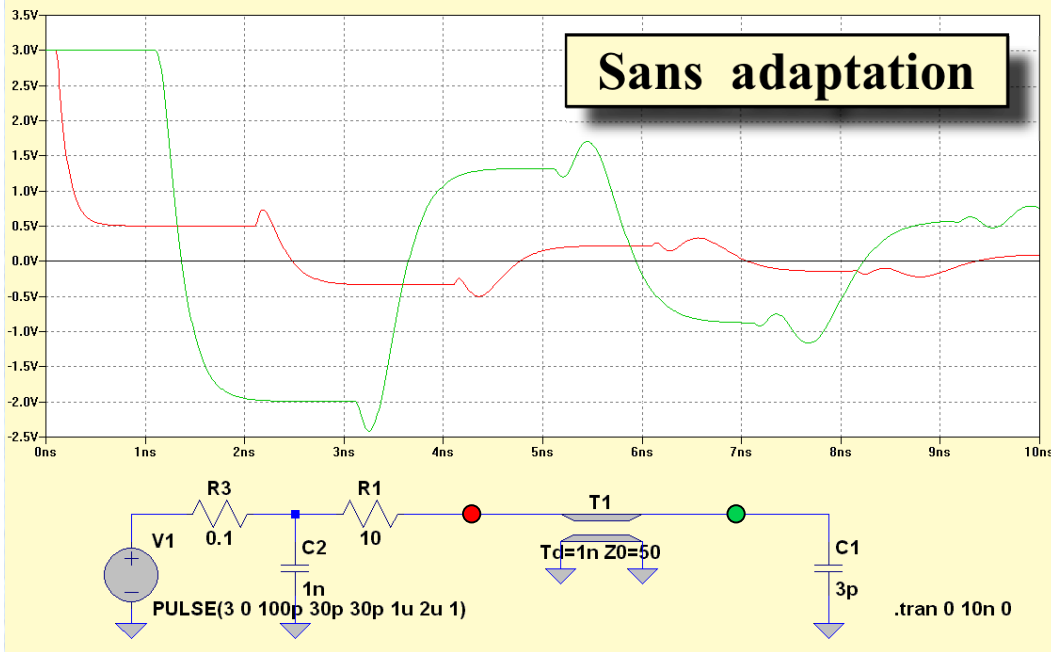
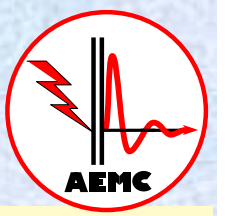
TDR de connecteurs à haute fréquence



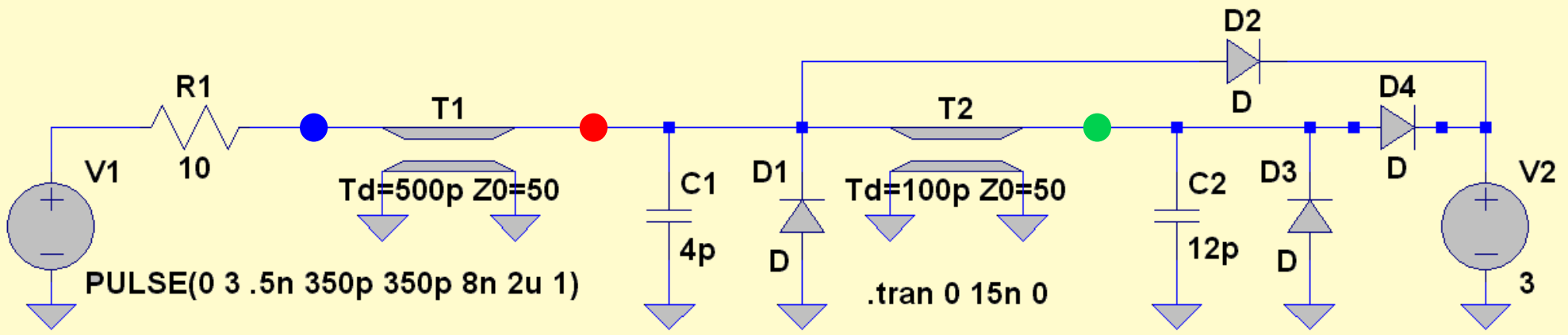
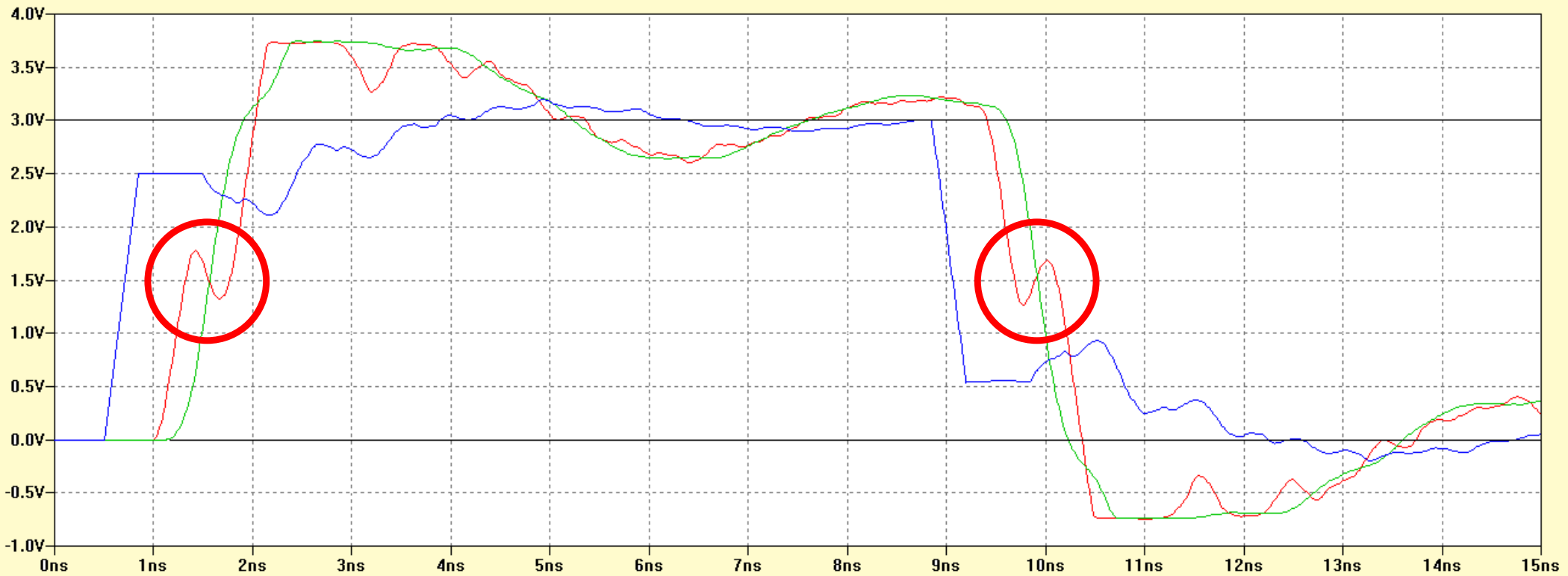
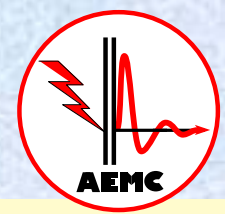
Effet de stub en temporel d'un via



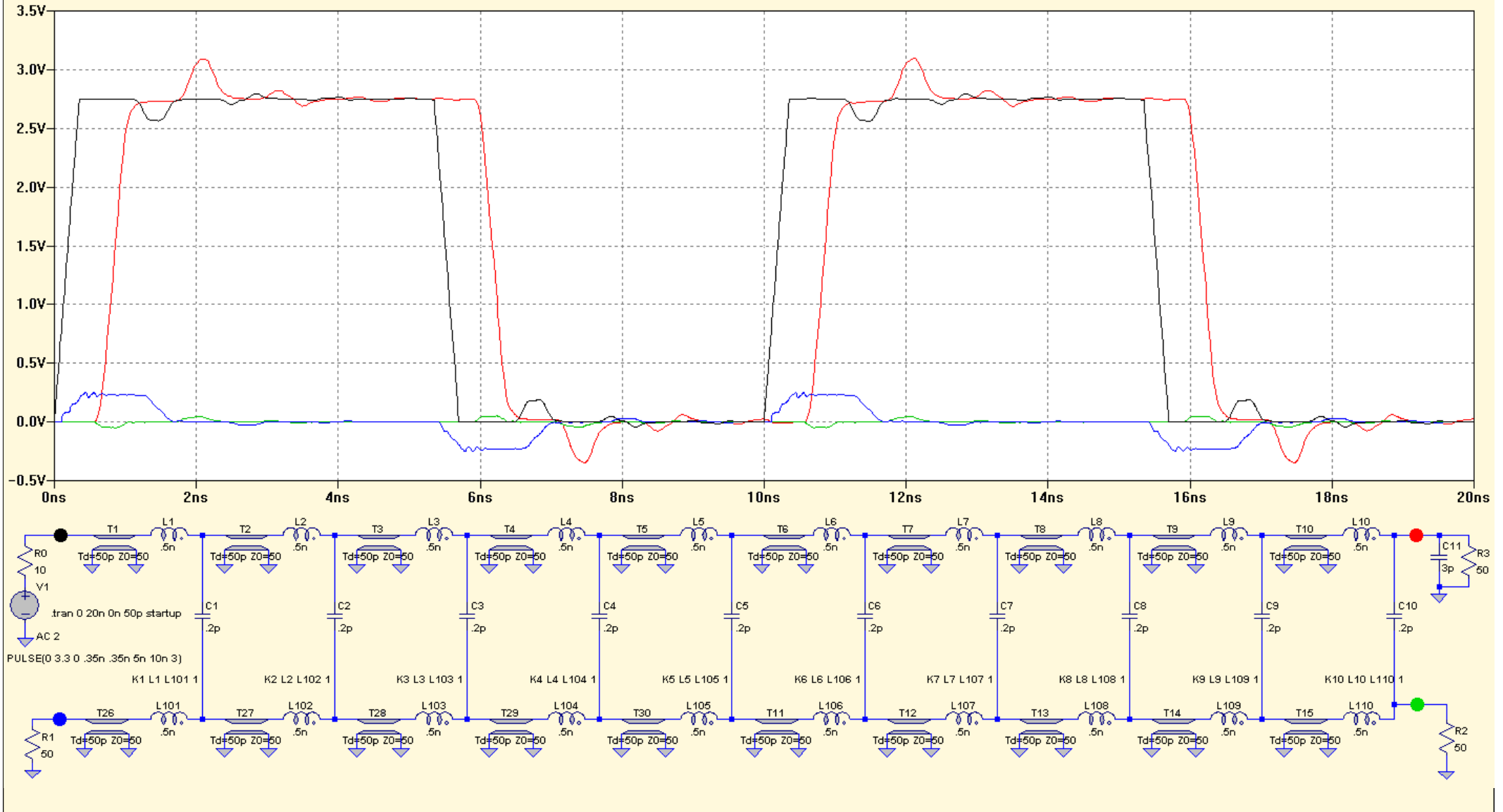
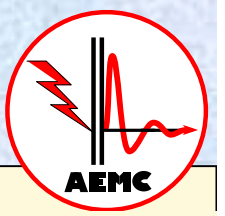
Adaptation d'un driver à basse impédance



Risque de double basculement par réflexion

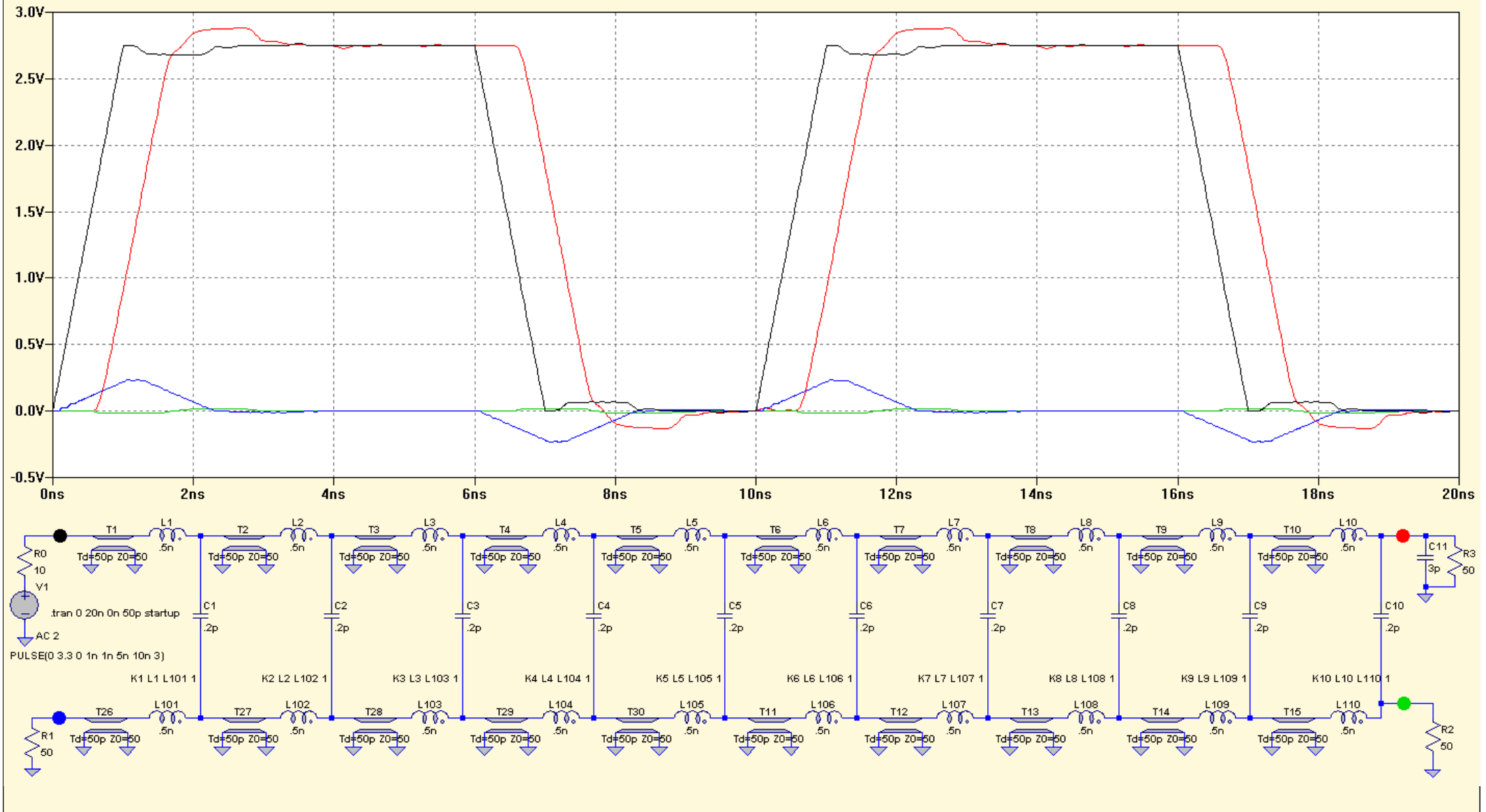
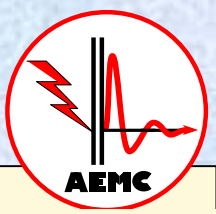


Diaphonie entre lignes adaptées



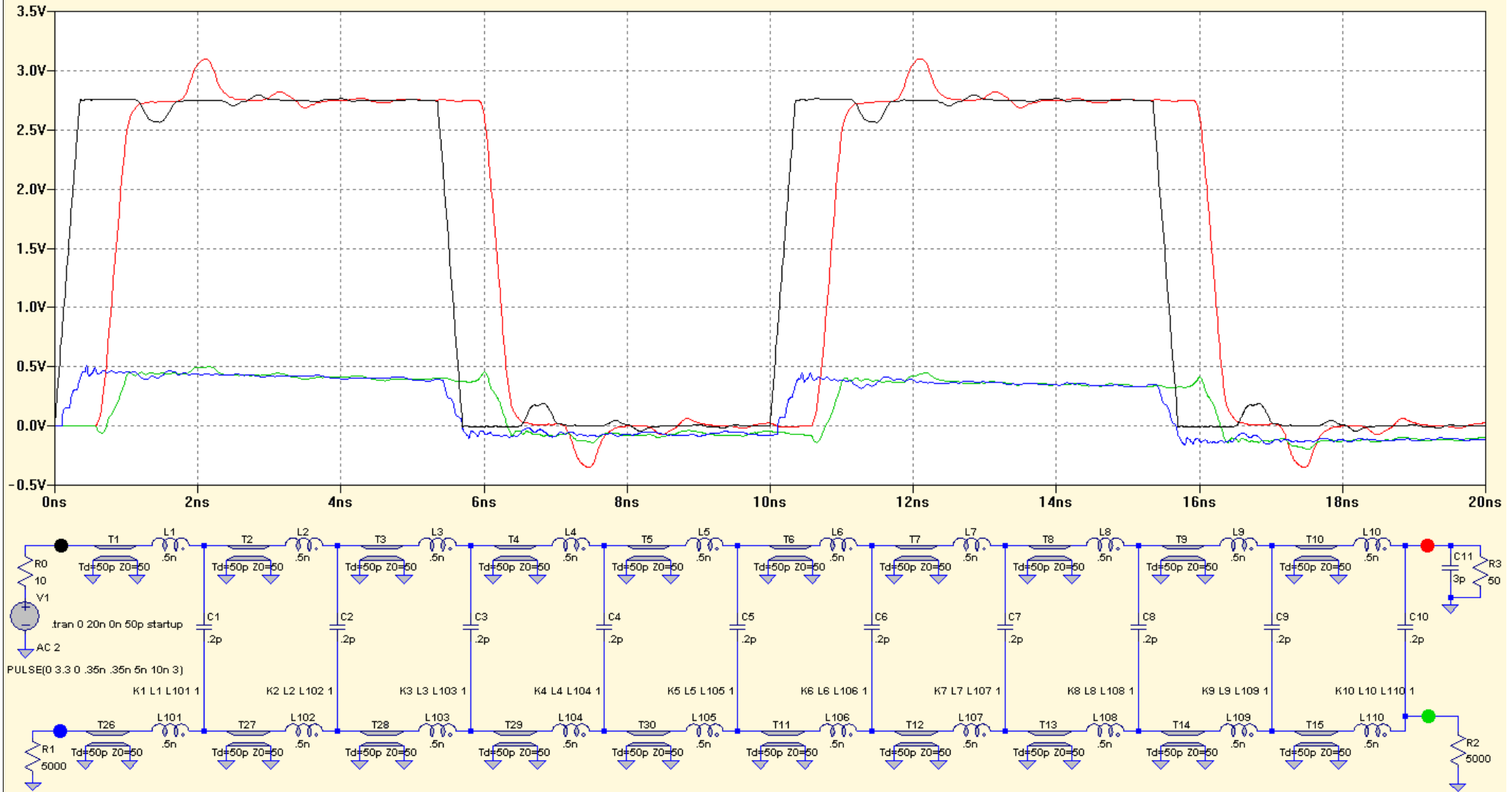
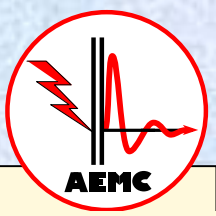
- La diaphonie entre lignes adaptées est directionnelle (paradiaphonie >> télédiaphonie).
- Durée des impulsions de paradiaphonie = Durée A + R le long de la partie commune.

Transitions plus longues = diaphonie moins forte



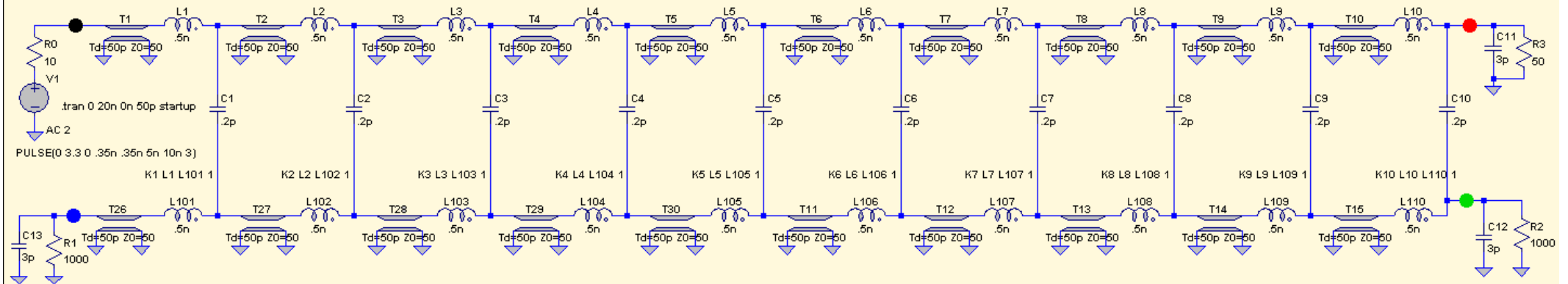
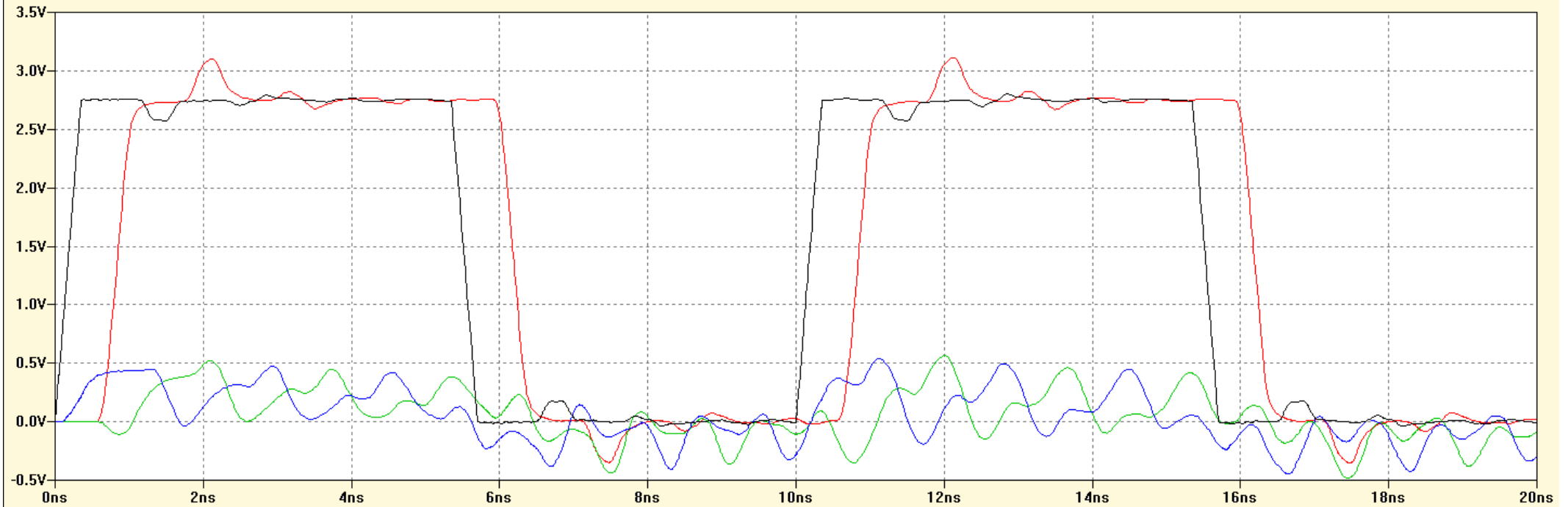
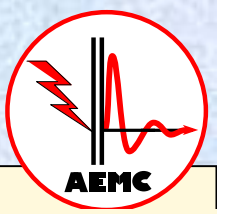
- Le **rebond** par désadaptation d'impédance **augmente** quand le **temps de transition diminue**.
- **L'amplitude** des diaphonies **diminue** si le temps de transition > 2 retard de propagation.

La diaphonie dépend des impédances de charge



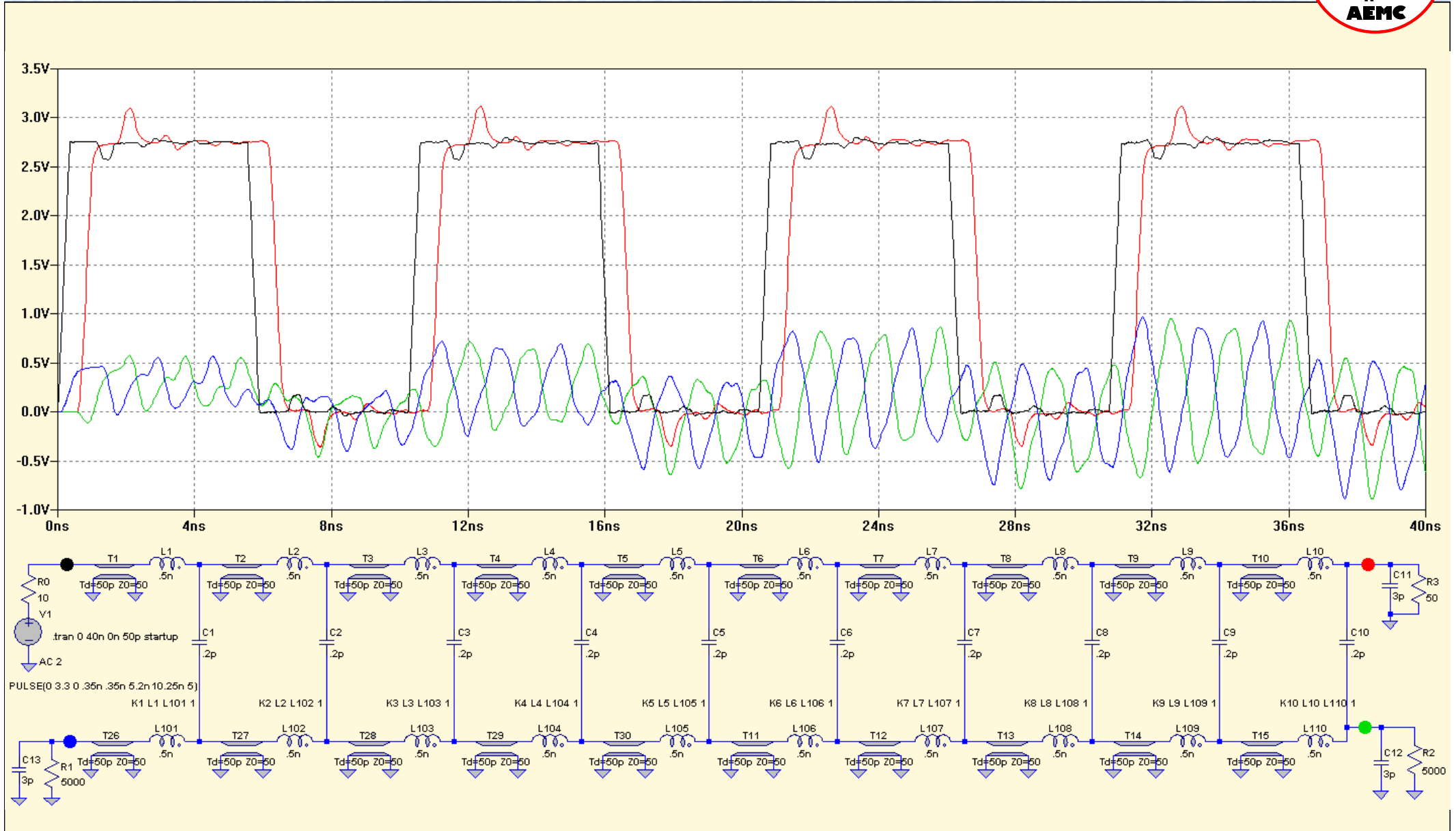
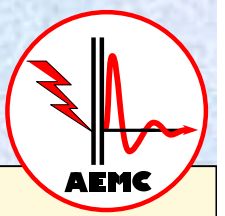
- Forme et durée des signaux de diaphonie dépendent des Z de charge de la victime.
- La diaphonie peut alors osciller (inductive) ou les impulsions s'allonger (capacitive).

Résonance inductive



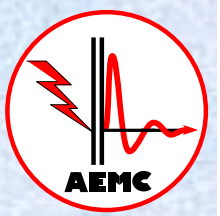
- Sur front raide, même un condensateur de faible valeur présente une basse impédance.
- La diaphonie oscille alors avec une période de 2 à 4 τ (c'est la « résonance inductive »).

La diaphonie peut être cumulative



- La diaphonie cumulative « résonante » ne peut affecter qu'une ligne victime très désadaptée.
- Cette diaphonie dépend des longueur commune, temps de transition et période du coupable.

Conclusions sur la modélisation d'intégrité du signal



- Les problèmes d'intégrité du signal sont nombreux, importants... et croissants !
- Les technologies nouvelles ne permettent plus la maîtrise « manuelle » des problèmes.
- Des outils spécialisés sont indispensables pour comprendre et maîtriser les phénomènes.
- Ces outils modifient le cycle de développement traditionnel en permettant de :
 - Réduire le risque de non démarrage.
 - Réduire le nombre de runs et optimiser les coûts.
 - Réduire le temps de mise au point (fonctionnelle puis CEM).
 - Améliorer la qualité (émission et immunité) et les performances des équipements.
 - Réduire les risques des dispersions, de fiabilité, de pérennité (compatibilité ascendante).
- Mais... Les logiciels de simulation ne se substituent pas à la compétence personnelle !
- Une saine collaboration entre les implanteurs / routeurs et les simulateurs est nécessaire.
- L'importance des technologues, logiciels, mécaniciens, installateurs dépanneurs augmente.