

**Atténuation d'un circuit passe-bas  
vis à vis d'une impulsion isolée  
Méthode Rapide d'approximation**

**M. Michel MARDIGUIAN, Consultant CEM**

# Domaine fréquentiel

---

De nombreuses données utilisées en CEM sont définies en domaine fréquentiel :

- Normes d'Émission ou d'Immunité
- Bande passante d'un circuit actif
- Caractéristiques de filtres, ferrites, blindages
- Impédance de transfert, ou Effet réducteur, de câbles blindés
- Formules et abaques de couplages électromagnétiques

etc ... etc ...

Pour des approximations rapides face à **un phénomène décrit en temporel** on utilise alors souvent l'artifice dit :

**« Fréquence équivalente »**

# Principe de la fréquence équivalente

---

Pour évaluer la Bande Passante nécessaire / suffisante à la transmission d'un front numérique,

ou encore :

Pour évaluer un coefficient de couplage de type dérivatif ( champ-à-câble, diaphonie capacitive ou magnétique, ddp inductive dans un conducteur etc ..)

On assimile l'agression de transition  $t_m$  à une demi-sinusoïde de  **$f_{equ} = 0,35 / t_m$**

Exemples :

Pour un temps de montée de 3ns, Bande passante nécessaire / suffisante =  $0,35 / 3 \cdot 10^{-9} = 116$  MHz

**On pourra donc filtrer à partir de cette fréquence sans altération notable du front**

**Toutefois, certaines utilisations dévoyées de la méthode peuvent conduire à des sous-estimations importantes, lourdes de conséquences.**

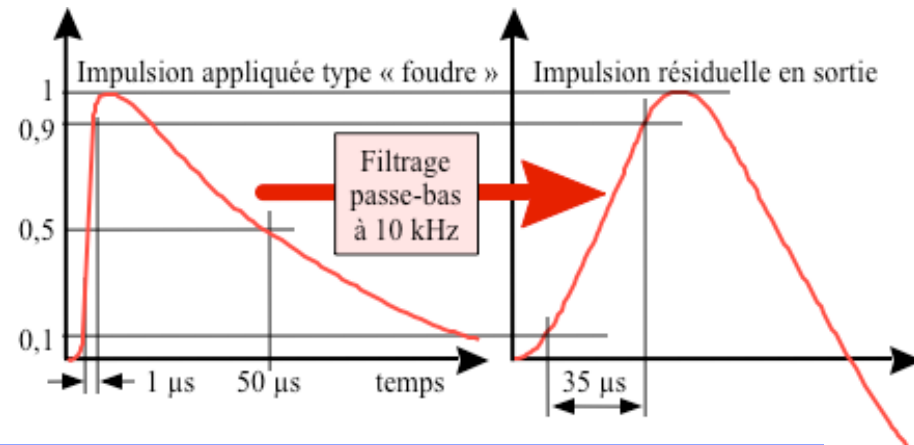
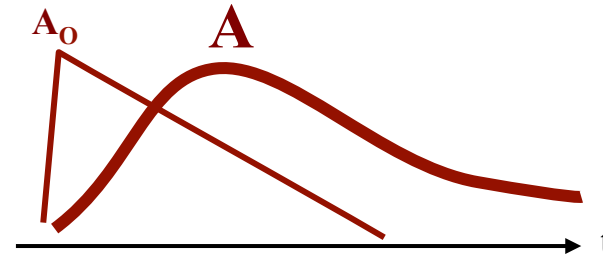
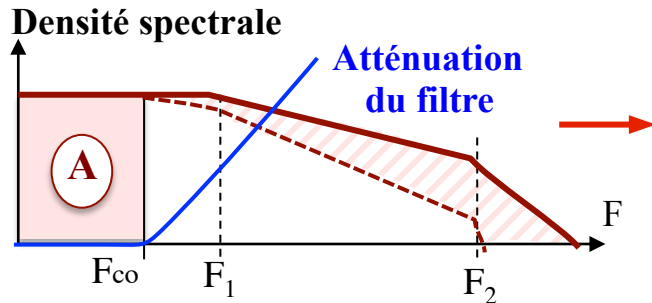
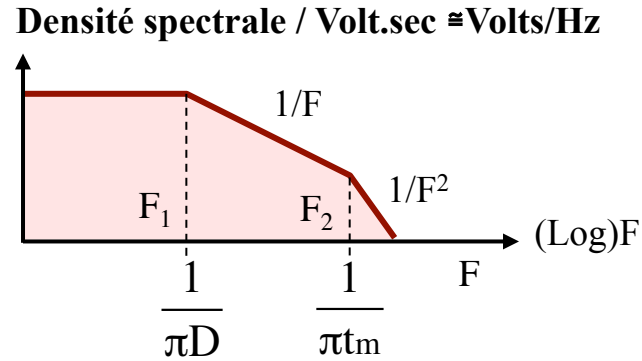
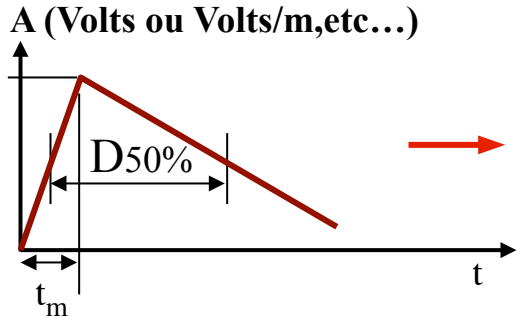
**Exemple :**

La Norme CEI 62305-2 « Évaluation des risques de foudre » dans son tableau D2 donne pour un câble blindé simple couche :

Facteur de protection  **$K_p = 0,02$  (soit -34dB)**, basé sur un temps de montée de l'impulsion de 1 $\mu$ s, traitée comme une fréquence équivalente de 350 kHz

# La réalité

Lorsque le couplage n'est PAS dérivatif (linéaire avec la fréquence), la DUREE de l'impulsion (donc son énergie) est un facteur déterminant pour l'efficacité d'une protection



Temps  $\longrightarrow$  Fréquence  $\longrightarrow$  Convolution avec

La portion (A) de l'intégrale de Fourier est restée intacte.

Seule la partie droite est atténuée.

# Calcul de l'atténuation

---

**Dans ce cas, l'atténuation  $A_0 / A_1$  ne peut pas se déduire de la simple caractéristique d'atténuation ( ou Insertion Loss)**

Formule plus rigoureuse :

$$\text{Atténuation, } A_0 / A_1 = \sqrt{1 + ( 1 / (2 D_{50} \times B_{10}) )^2}$$

$$\approx ( 1 / (2 D_{50} \times B_{10}) ) \text{ pour } B_{10} \times Td < 0,3$$

Avec :  $A_0$  : Amplitude de l'impulsion sans filtrage

$D_{50}$  : Durée à 50% de l'impulsion

$B_{10}$  : Bande Passante à 10 dB

$B_{10}$  , peu utilisée, peut se déduire de  $F_{co}$  ( fréquence de coupure du filtre, ou pente de l'élément atténuateur ) et du nombre de pôles du filtre :

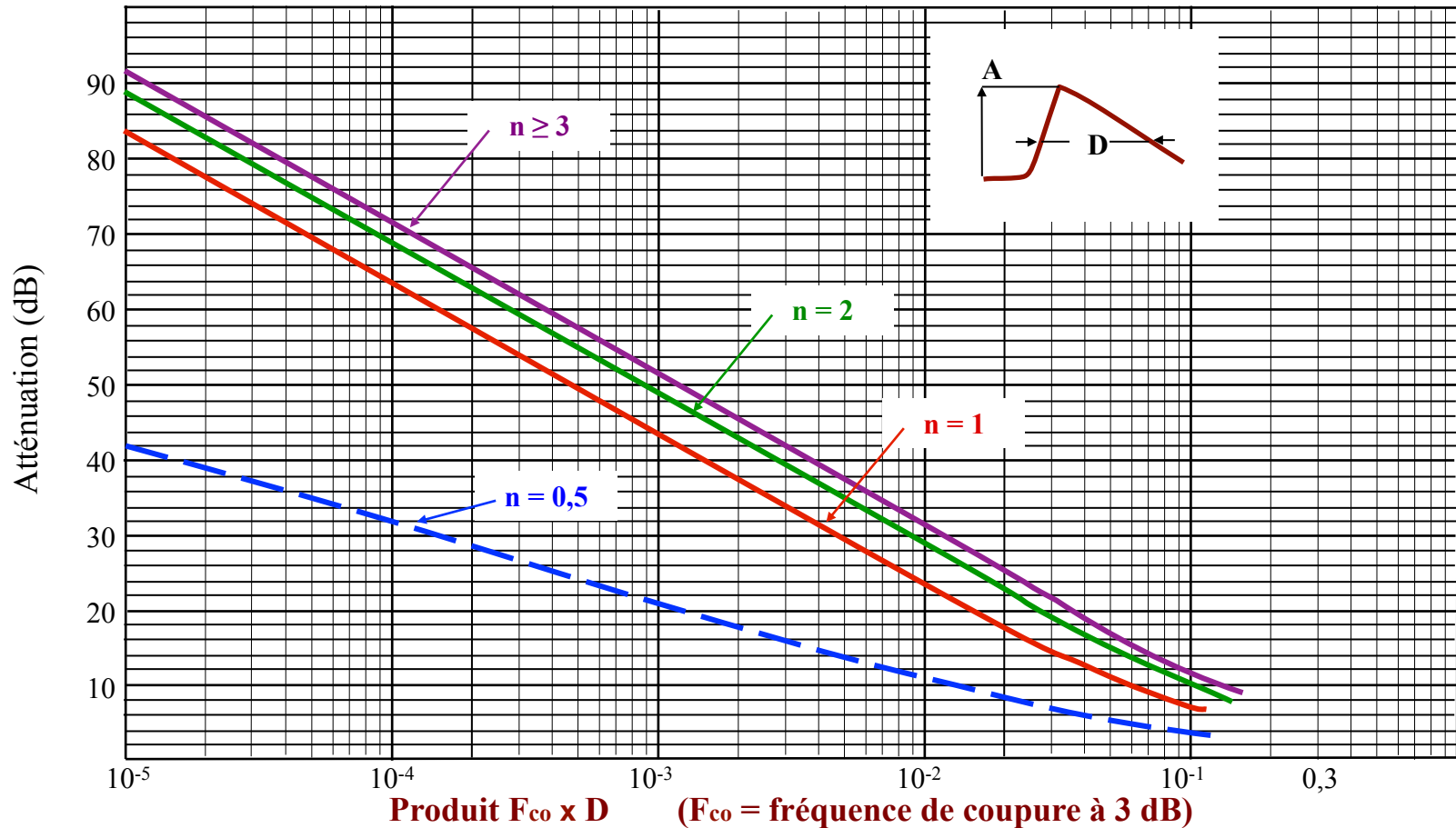
$$n = 1 \quad B_{10} = 3 F_{co}$$

$$n = 2 \quad B_{10} = 1,8 F_{co}$$

$$n = 3 \quad B_{10} = 1,4 F_{co}$$

# Approximation rapide de la réponse à une impulsion

## Atténuation d'un filtre pour une impulsion

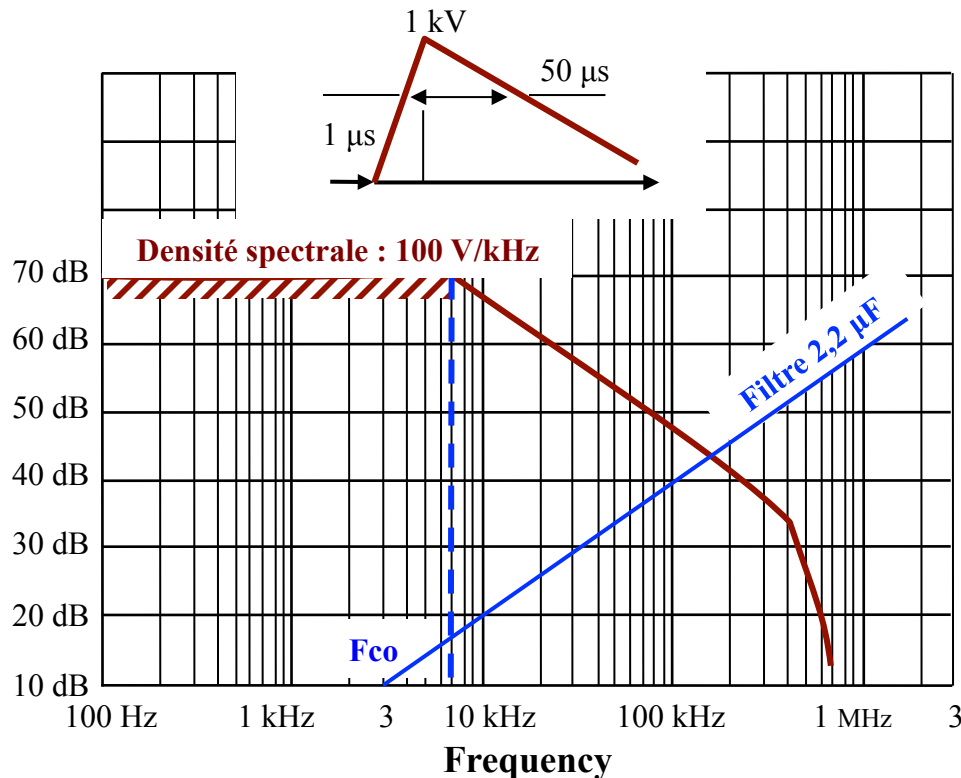


L'abaque permet de trouver le rapport :  $\frac{\text{Amplitude crête initiale}}{\text{Amplitude crête après filtrage/blindage}}$   
en entrant simplement le produit  $F_{co} \times D$

# Exemple

**Filtre CEM** vis-à-vis d'une impulsion foudre type CEI 61000-4-5 :  $1\mu\text{S} / 50\mu\text{s}$

a) **filtre capacitif simple**  $2,2\ \mu\text{F}$  ( $n = 1$ ) sur entrée alimentation continue



Atténuation, fonction de F (courbe fabricant).

$F_{co}$  dans montage  $50/50\Omega$  : 3 kHz

$$\text{Produit } F_{co} \times D = 3 \cdot 10^3 \times 50 \cdot 10^{-6} = 0,15$$

L'abaque (ou calcul formel) donne :

pour  $F_{co} \times D = 0,15$  : **Attén : 4 dB**

Si l'on avait pris la Fréquence Équivalente au temps de montée :

$$F_{\text{équi}} = (0,35 / 1 \cdot 10^{-6}) = 350 \text{ kHz}$$

on aurait trouvé : **Attén = 42 dB ... !**

On remarque que l'augmentation du nombre « n » d'étages du filtre n'aurait pas d'effet spectaculaire sur l'atténuation :

b) si l'on change pour un filtre d'ordre 3, on trouve **Attén. = 8 dB**

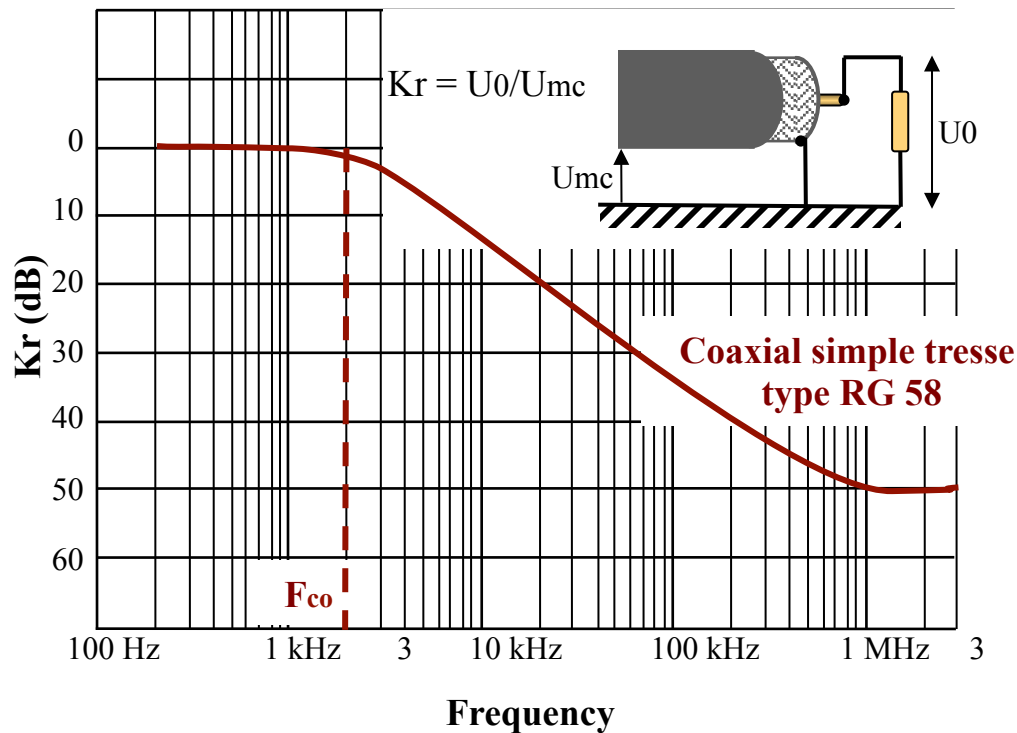
# Application possible de la méthode simplifiée : Câble blindé

Bien que rarement présenté comme tel, un câble blindé, avant d'avoir atteint le régime d'équilibre de son coeff réduct  $K_r$  est  $\approx$  un atténuateur passe-bas / coupe haut d'ordre 1.

Son effet réducteur  $K_r$  croit comme  $F$  de quelques kHz  $\rightarrow$  1MHz

**Exemple :** coaxial simple tresse ( type RG58 ou équivalent)

Point à 3 dB de la courbe Effet Réducteur  $K_r$  : 2kHz



Agression de M. Commun ( câble à plan de masse) type DO160-Sect 22

Lightning Pulse Injection,

**Waveform #4 :  $T_m / D : 6\mu s / 70\mu s$**

Produit  $F_{co} \times D = 2. 10^3 \times 70. 10^{-6} = 0,14$

Pour  $F_{co} \times D = 0,14$  et  $n = 1$  l'abaque donne : Attén  $\approx$  6dB

Si l'on avait pris la Fréq. Équival. au temps de montée pour Effet Réducteur  $K_r$  :

$F_{\text{équi}} = ( 0,35 / 1.10^{-6} ) = 60 \text{ kHz}$

on aurait trouvé : Attén = 30 dB ... !



# Application possible de la méthode simplifiée : Blindage

Vis-à-vis d'un champ magnétique proche en BF, une tôle de faible épaisseur présente une Efficacité de blindage **E<sub>b</sub>** assimilable à un circuit passe-bas / coupe-haut d'ordre 1

## Exemple :

Clinquant aluminium, épaisseur 35 μm

Impulsion de fort champ magnétique

1 μs / 50 μs, source à 1 m

Efficacité de blindage ( E.B) d'un clinquant alu de 0,035mm à 1m.

Pour  $F < 1\text{MHz}$ ,  $E_b$  est uniquement dû à la perte par réflexion.

Donc le facteur  $E_b$  est  $\approx$  une pente rectiligne d'ordre 1.

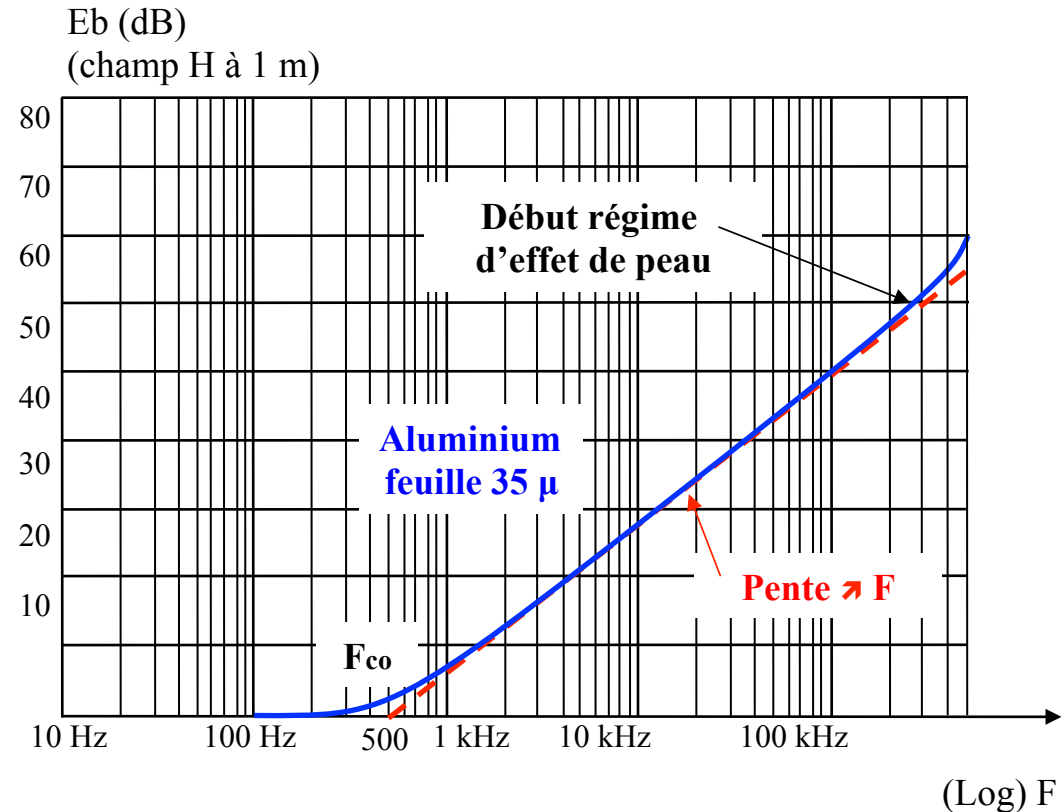
Fréquence de coupure basse  $\approx 500\text{ Hz}$

Produit  $F_{co} \times D = 0,5 \cdot 10^3 \times 50 \cdot 10^{-6} = 0,025$

Pour  $F_{co} \times D = 0,025$  et  $n = 1$ , l'abaque donne : **Att  $\approx 18\text{dB}$**  ( soit un facteur 8)

Si l'on avait pris la **Fréq. Équival.** au temps de montée :  $(0,35 / 1 \cdot 10^{-6}) = 350\text{ kHz}$

on aurait trouvé sur la courbe E.B. : **Att  $\approx 60\text{ dB}$  ... !**



## Précaution d'emploi de la méthode

---

Pour un filtre, il faut prendre en compte la véritable fréquence de coupure du filtre **tel qu'installé**.

Ce n'est pas forcément celle de la fiche technique fabricant.

### Exemple :

Le condensateur-filtre de  $2.2\mu\text{F}$  de l'exemple a)

avec  $F_{co} = 3 \text{ kHz}$  dans montage standard  $50/50\Omega$

monté dans une configuration  $50\Omega / 5\Omega$  aura un véritable  $F_{co} = 18\text{kHz}$

donnant une atténuation  $\approx$  **1dB**

# Conclusions

---

Vis-à-vis d'impulsions longues dites « énergétiques »,  
( typiquement  $>$  diz de  $\mu\text{s}$  ) :

- un filtre CEM, pourtant supposé « atténuer les parasites » est en général peu efficace
- une impulsion de durée  $D$  telle que  $D > 0,3 / F_{co}$  = ne sera pas atténuée, seul le front de montée sera couché
- une impulsion de durée  $D$  telle que  $D \times F_{co} \leq 0,1$  sera atténuée dans un rapport facilement calculable

Pour tout autre mécanisme d'atténuation (ou de couplage ) qui est une fonction linéaire en  $F^n$ , on pourra estimer facilement le facteur de couplage en se basant sur la fréquence de coupure basse (ou sa bande passante à 10 dB, si elle est connue )