



JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2004

31 MARS 2004

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

---

# UNE APPROCHE QUANTIFIEE DE CARACTERISATION DES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

## SOMMAIRE

Rappel de la notion de blindage des câbles

Caractéristiques des câbles blindés : l'impédance de transfert

Estimation des courants induits dans les câbles par une onde électromagnétique incidente

Estimation des impédances des boucles

Estimation de la susceptibilité des circuits victimes

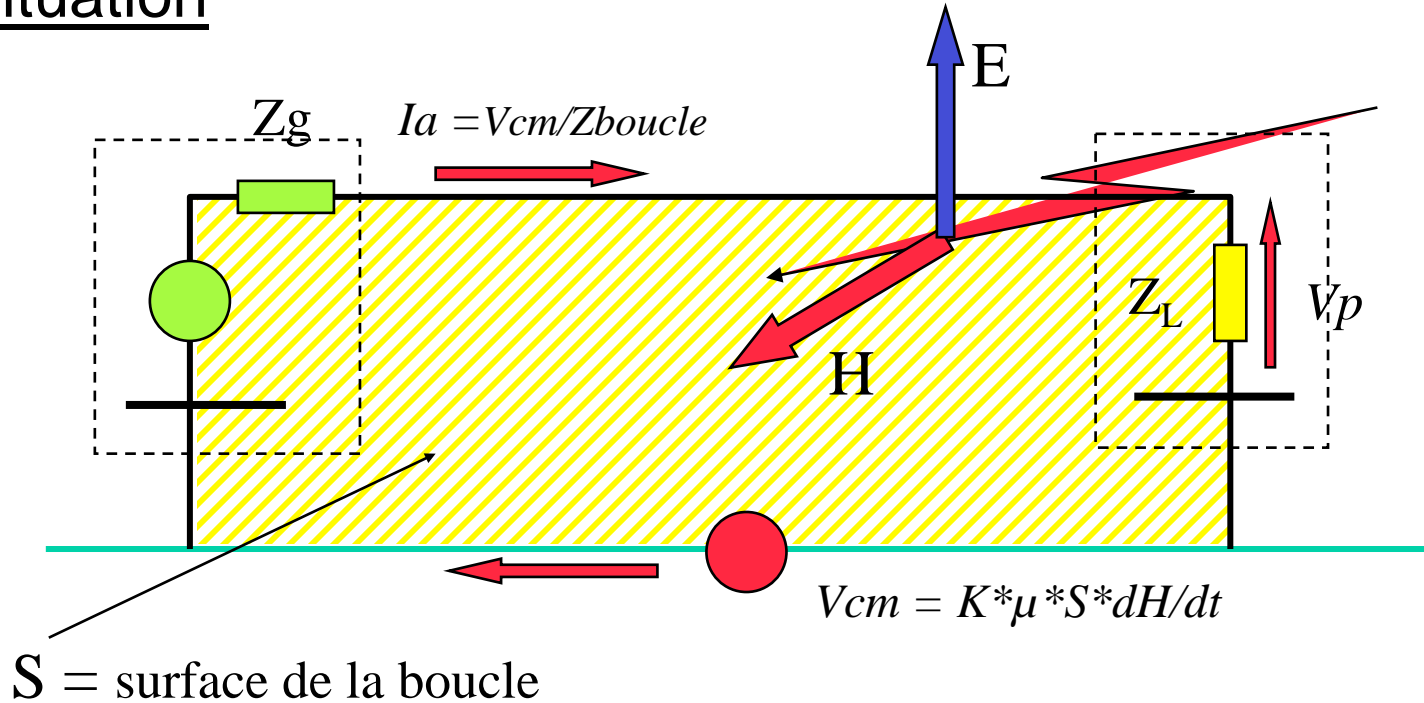
Caractérisation des impédances de transfert utiles et technologies associées



LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

POURQUOI BLINDER LES CABLES SOUMIS A UN RAYONNEMENT

La situation



$$V_p = Z_L * I_a = K * \mu * S * (dH/dt) * (Z_L / Z_{boucle})$$

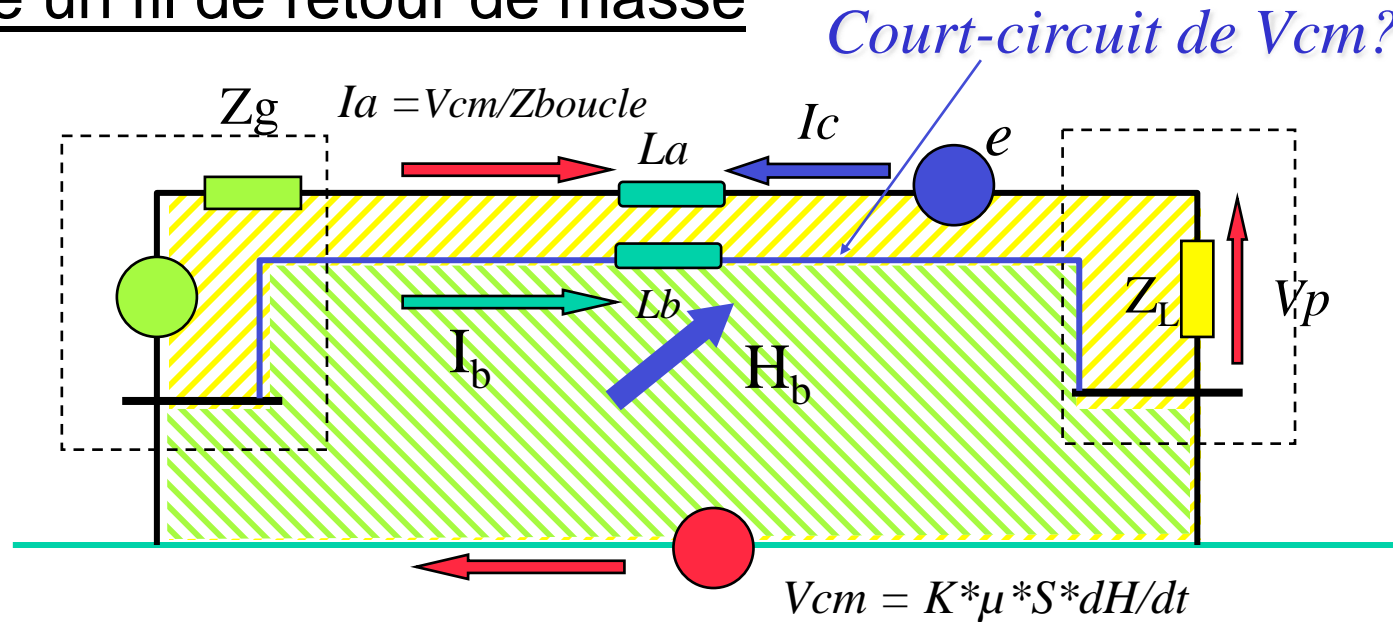


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

POURQUOI BLINDER LES CABLES SOUMIS A UN RAYONNEMENT

Adjoindre un fil de retour de masse



$$I_{résiduel} = I_a - I_c$$

$$I_c = e/Z_{boucle}$$

$$e = jM\omega I_b$$

$$I_{res.} = (V_{cm}/Z_{boucle}) * (1 - (jM\omega / (Z_{masse} + Z_{fil})))$$

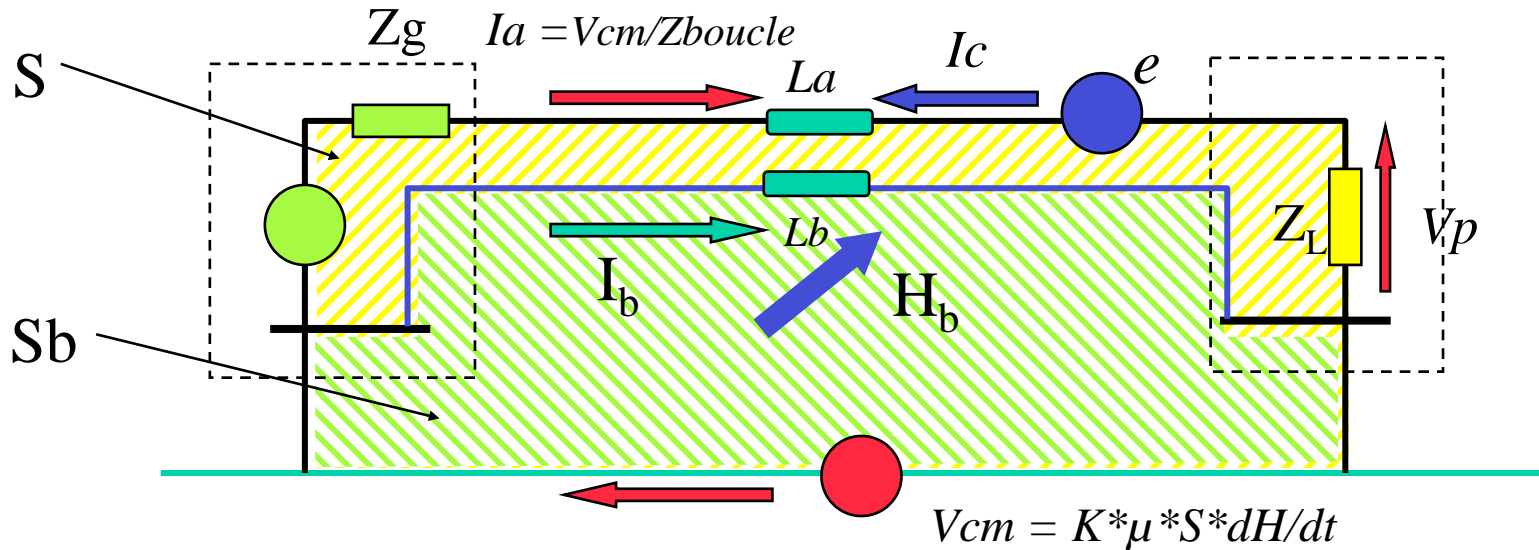


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

POURQUOI BLINDER LES CABLES SOUMIS A UN RAYONNEMENT

Adjoindre un fil de retour de masse

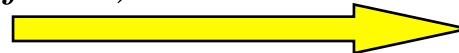


$$I_{res.} = (V_{cm}/Z_{boucle}) * (1 - (jM\omega / (Z_{masse} + Z_{fil})))$$

$$M = K \sqrt{L_a * L_b}$$

Si  $S_b \Rightarrow S \Rightarrow L_b \Rightarrow L_a$  et  $K \Rightarrow 1$

$$I_{res.} = (V_{cm}/Z_{boucle}) * (1 - jL_b\omega / jL_a\omega) \Rightarrow 0$$



*Solution technologique  
liaison coaxiale*

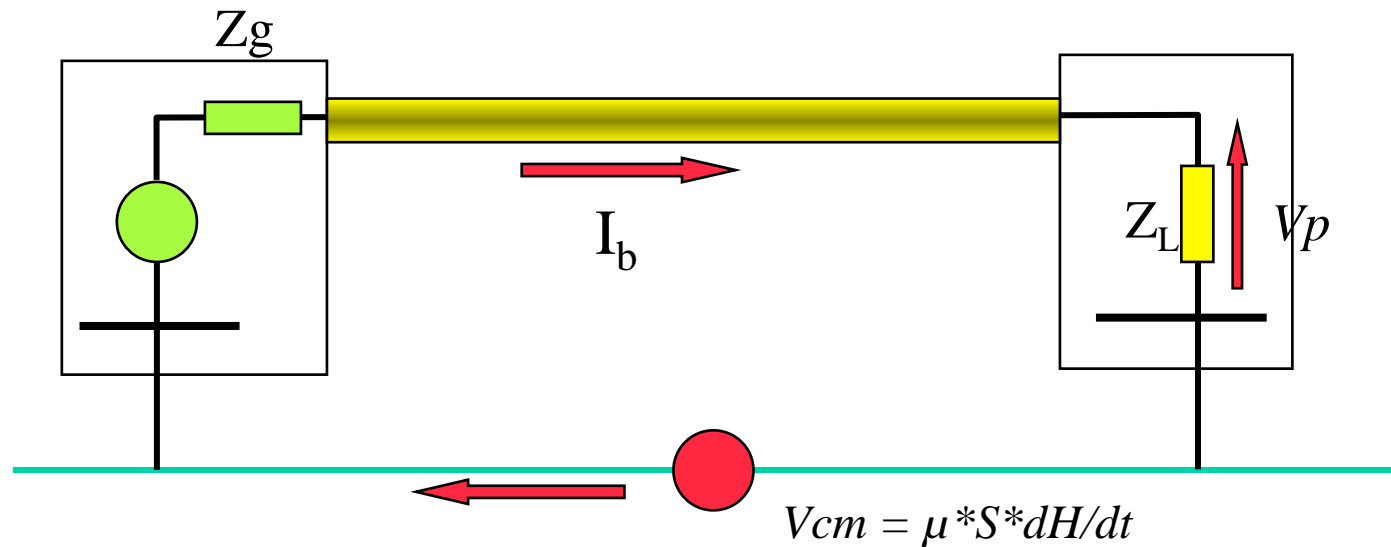


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

POURQUOI BLINDER LES CABLES SOUMIS A UN RAYONNEMENT

Liaison coaxiale = liaison blindée



Technologie du blindage

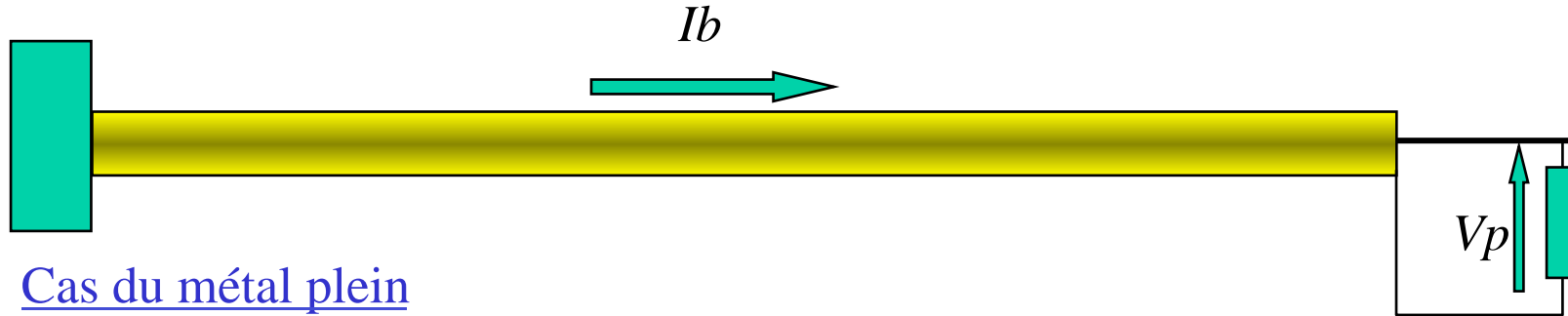
- simple tresse
- double tresse
- métal plein



JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

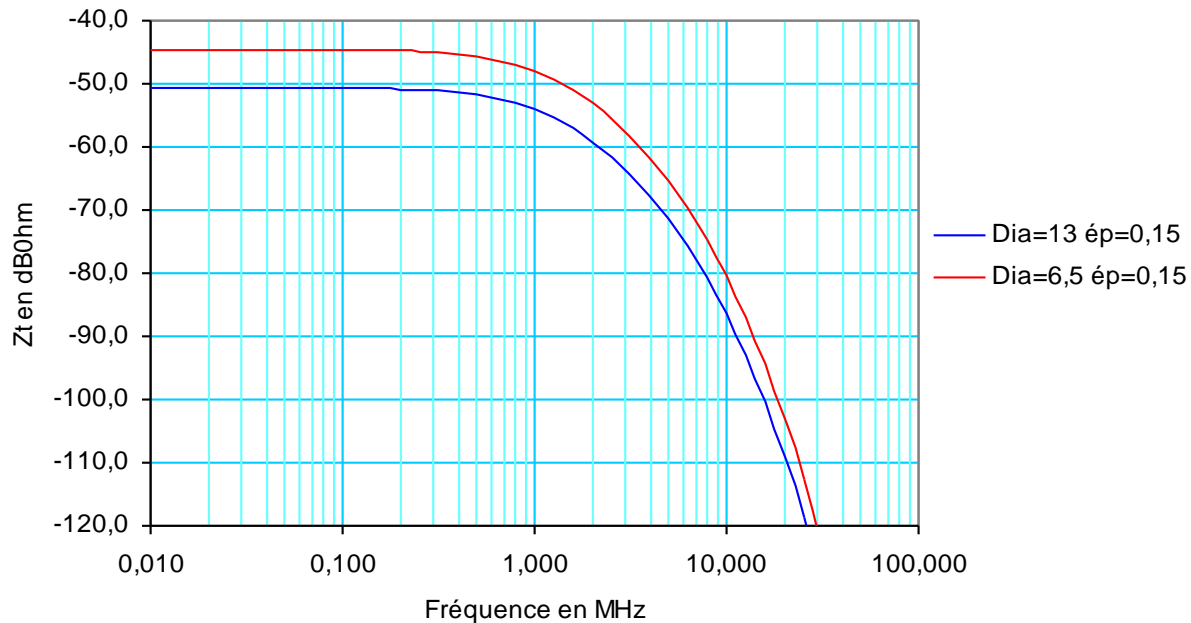
LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

CARACTERISATION DU BLINDAGE = IMPEDANCE DE TRANSFERT



Cas du métal plein

Impédance de transfert d'un blindage en cuivre plein annelé



*Par définition:*

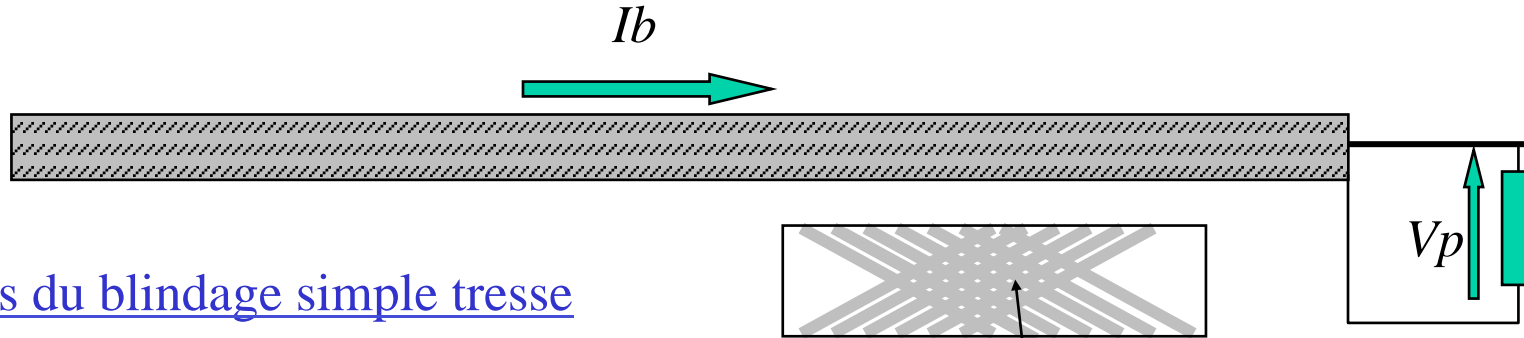
$$Z_t = V_p / I_b$$



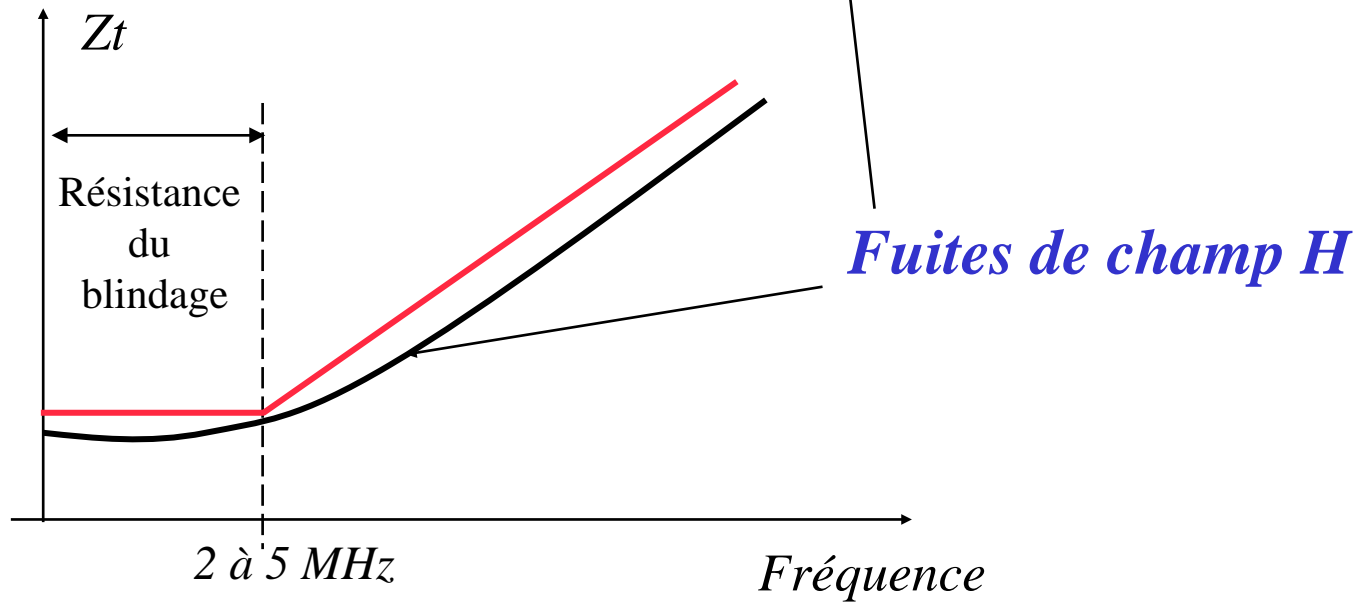
JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

CARACTERISATION DU BLINDAGE = IMPEDANCE DE TRANSFERT



Cas du blindage simple tresse

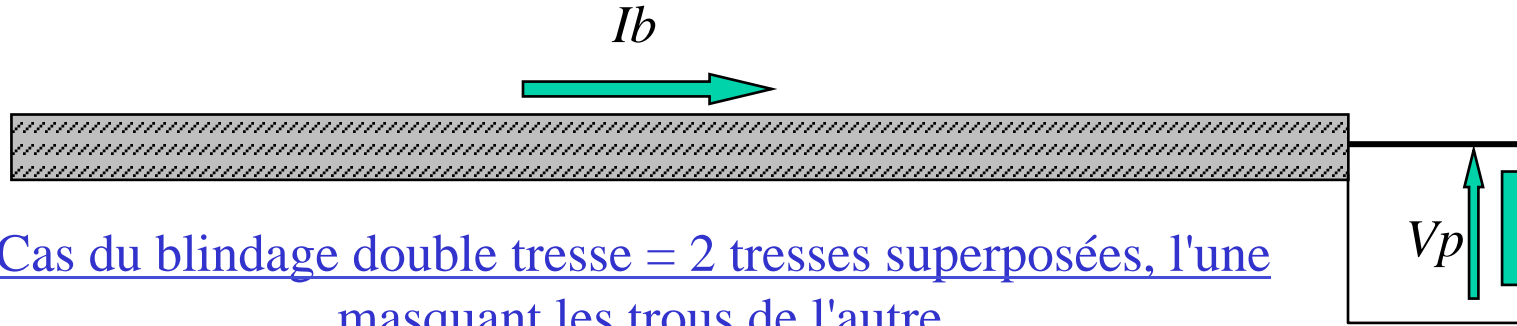




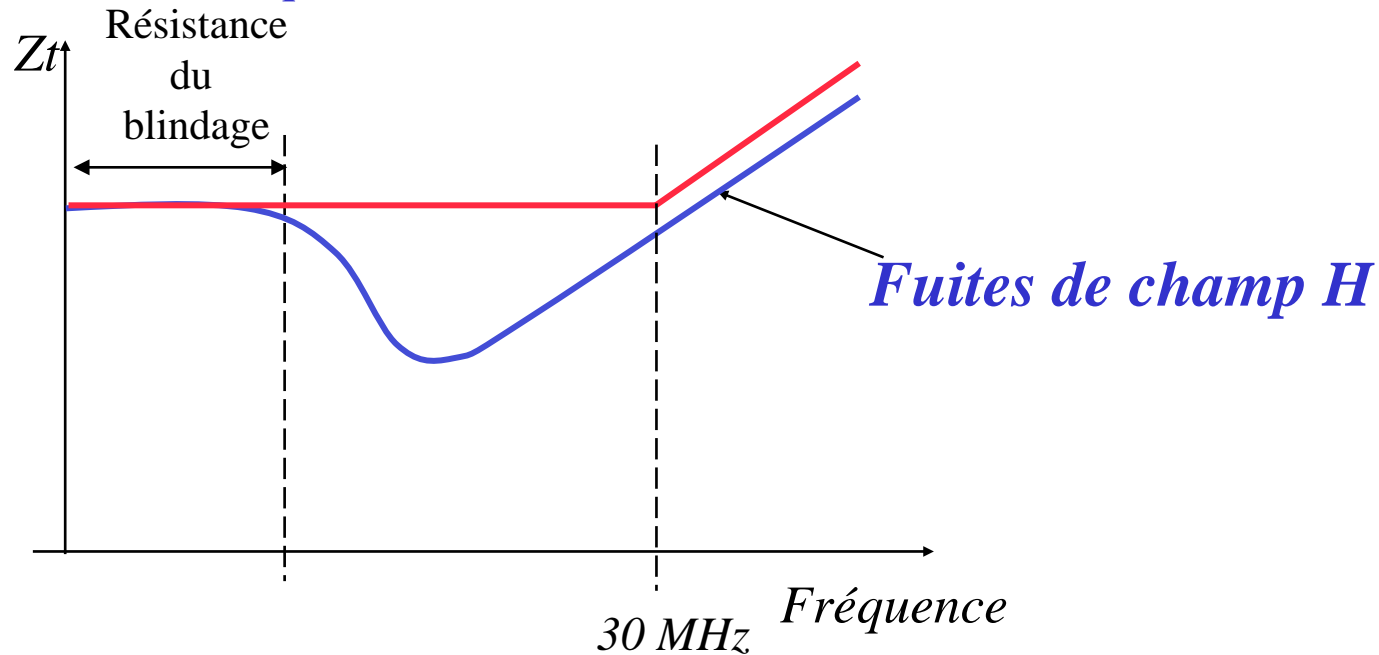
JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

CARACTERISATION DU BLINDAGE = IMPEDANCE DE TRANSFERT



Cas du blindage double tresse = 2 tresses superposées, l'une masquant les trous de l'autre



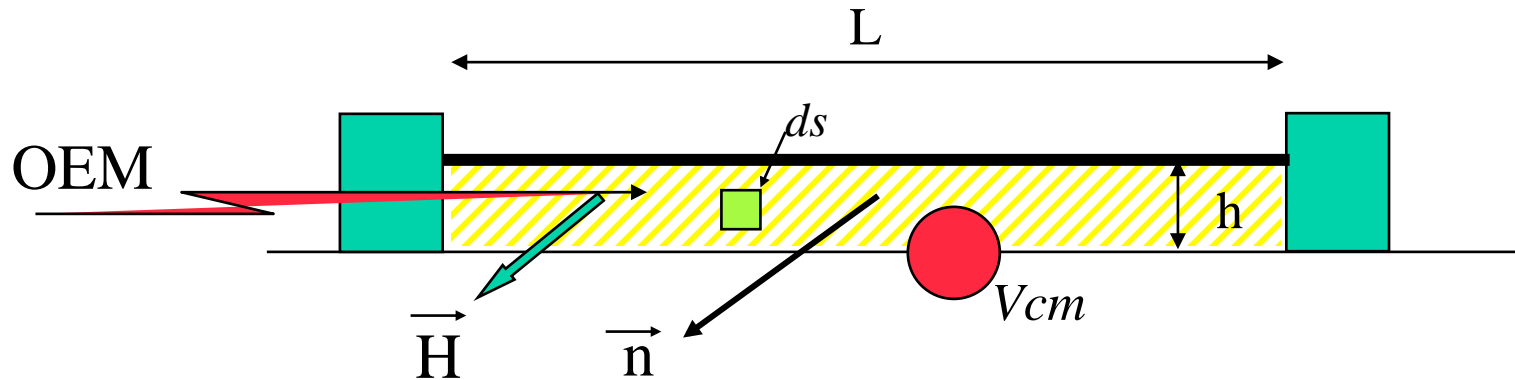




JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

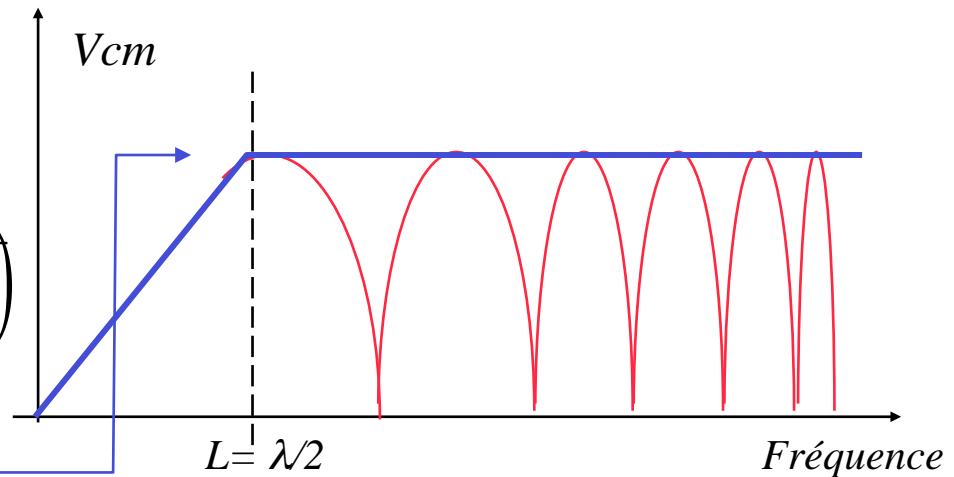
CARACTERISATION DE LA VALEUR DE  $V_{cm}$



$$V_{cm} = -\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{surfaces} \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot ds$$

$$|V_{cm}| = \mu \cdot H \cdot h \cdot c \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \cos\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)}$$

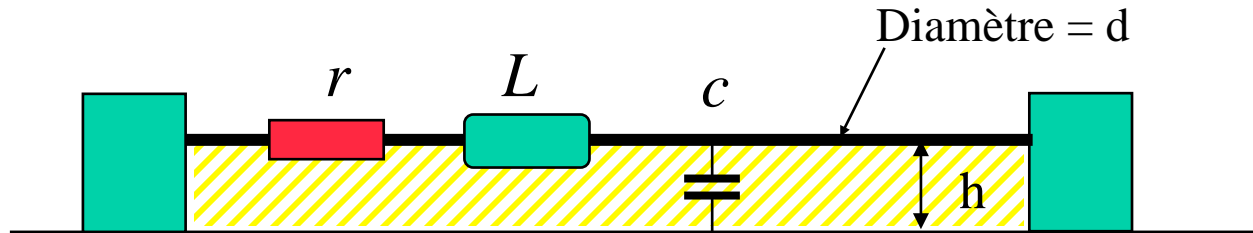
$$|V_{cmmaxi}| = 2 \cdot \mu \cdot H \cdot h \cdot c$$



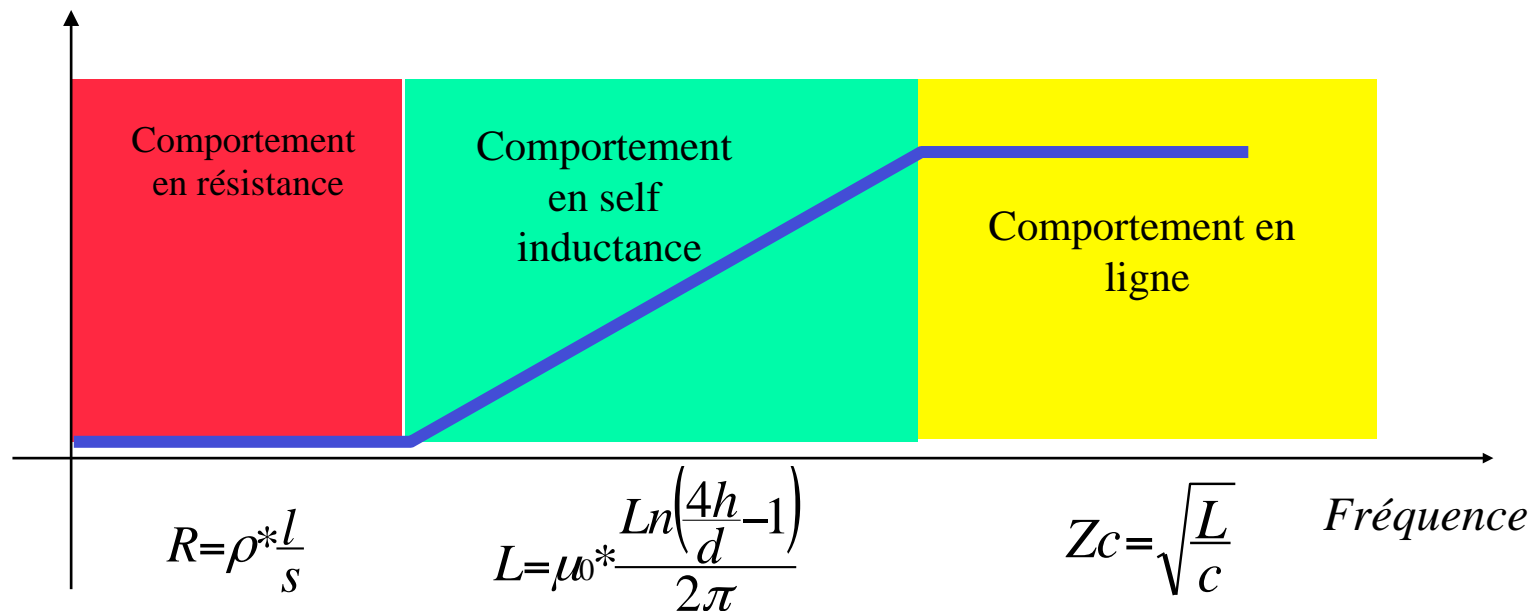


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISATION DE LA VALEUR DE Zboucle



*Zboucle = impédance d'un fil au-dessus de la masse*



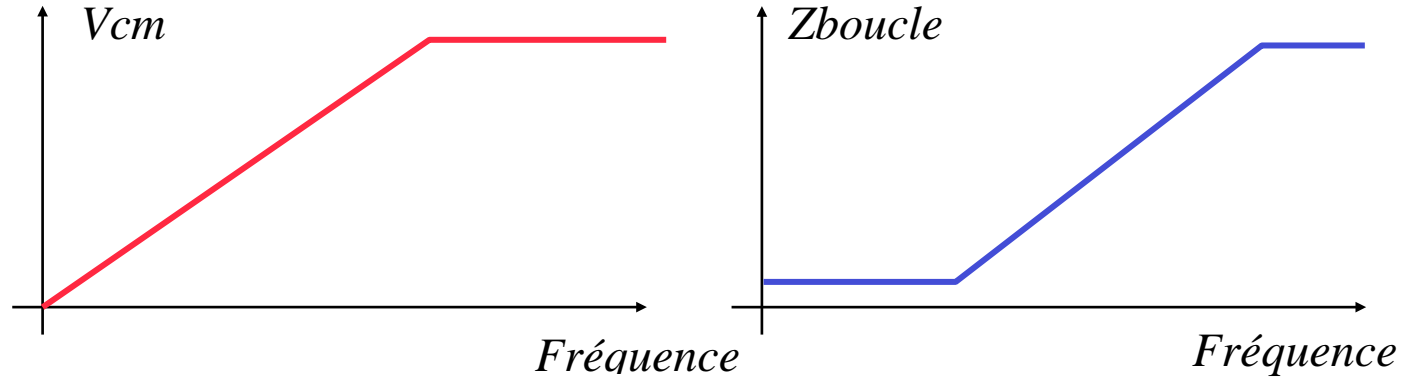


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

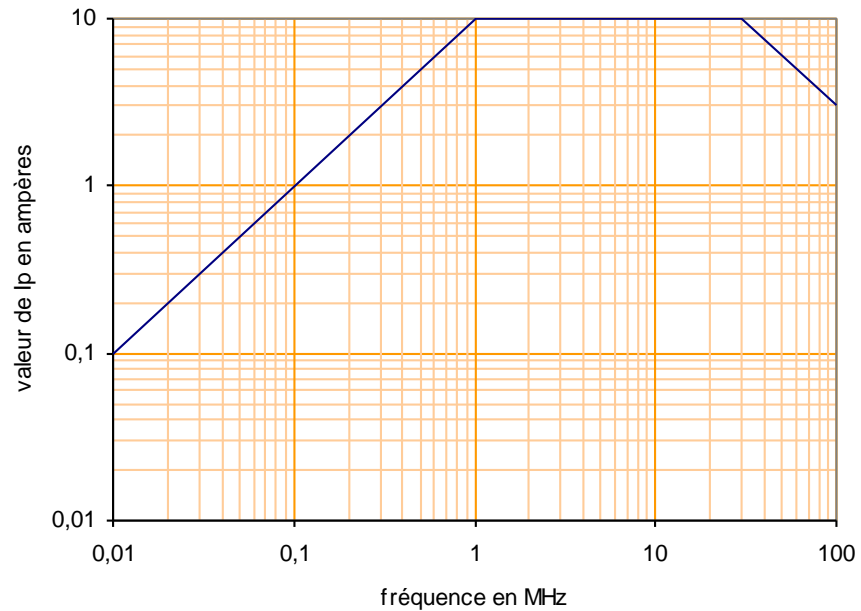
**CARACTERISATION DE LA VALEUR DE  $I_b$**

$$I_b = \frac{V_{cm}}{Z_{boucle}}$$



Limites  $I_p$  de la norme CS116

*Exemple de valeur de  $I_b$*



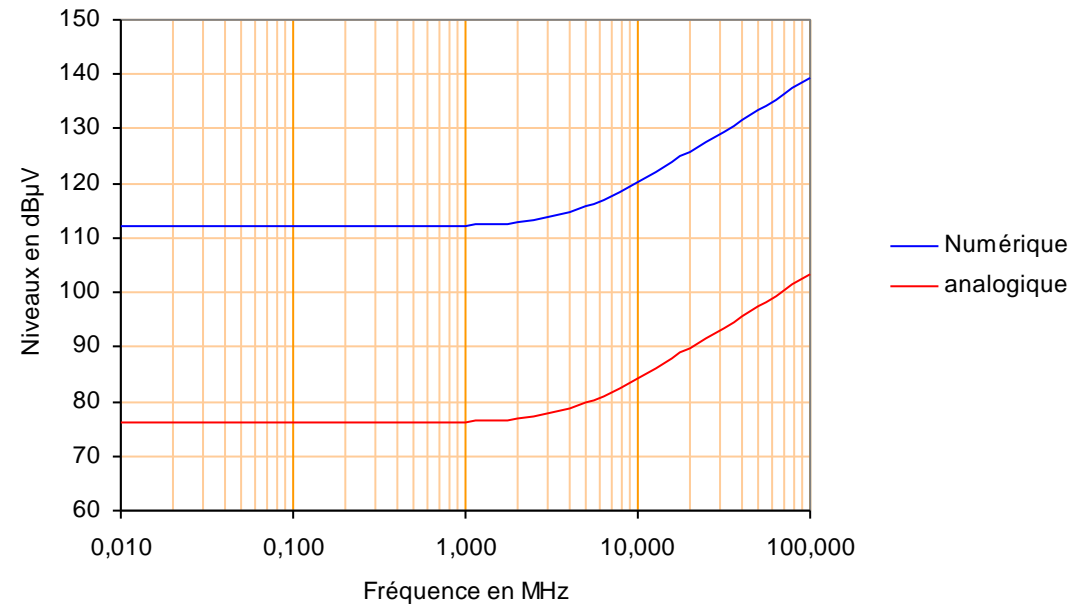


## CARACTERISATION DE LA VALEUR DE $V_p$

*Elle est établie à l'aide :*

- ✓ *La marge de conception ( 20 dB)*
- ✓ *Les caractéristiques de susceptibilité des circuits*

Susceptibilité estimée





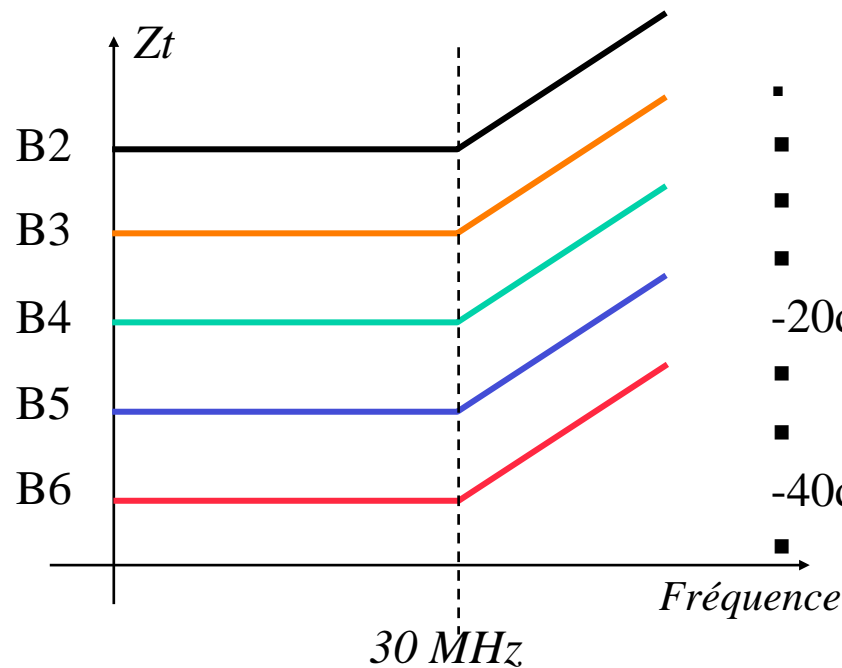
JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

CARACTERISATION DE LA VALEUR DE  $Z_t$

Par définition :  $Z_t = \frac{V_{p.admissible}}{I_b}$

Approche de caractérisation:



- B0 = pas de blindage
- B1 =>  $Z_{t_0} = 1 \Omega/m$  = 0dBΩ/m
- B2 =>  $Z_{t_0} = 3 \times 10^{-1} \Omega/m$  = -10dBΩ/m
- B3 =>  $Z_{t_0} = 10^{-1} \Omega/m$  = -20dBΩ/m
- B4 =>  $Z_{t_0} = 3 \times 10^{-2} \Omega/m$  = -30dBΩ/m
- B5 =>  $Z_{t_0} = 10^{-2} \Omega/m$  = -40dBΩ/m
- B6 =>  $Z_{t_0} = 3 \times 10^{-3} \Omega/m$  = -50dBΩ/m

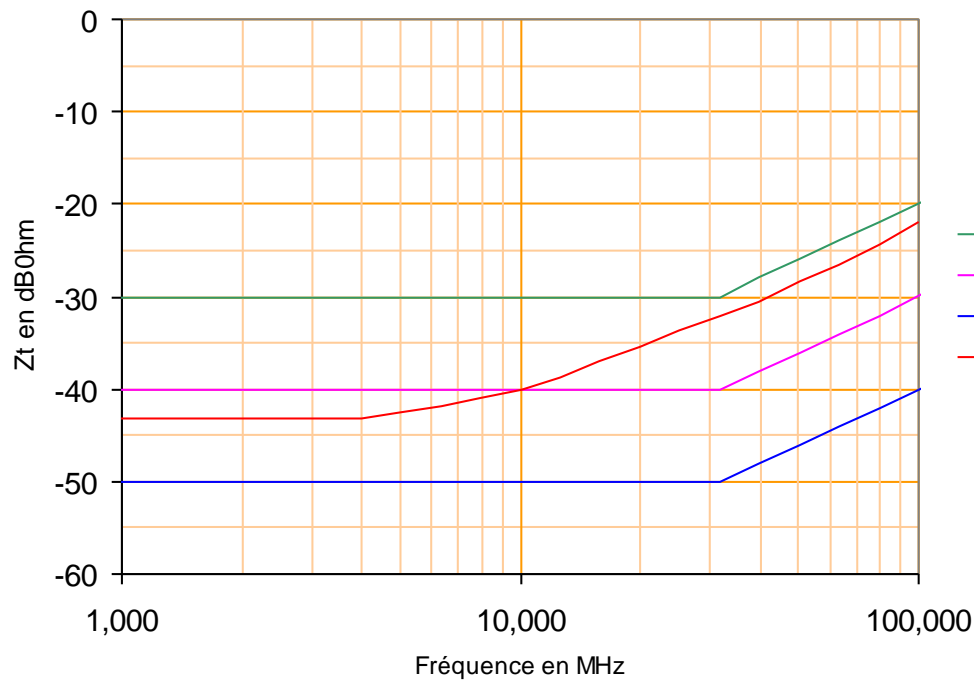


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISATION DE LA VALEUR DE  $Z_t$

*Solutions technologiques*

Comparaison entre un blindage simple tresse optimisé  
avec les standards de blindage



- B0 = pas de blindage
- B1 = blindage simple tresse lache
- B2 = enrubannage
- B3 = simple tresse ordinaire
- B4 = simple tresse optimisé
- B5 = simple tresse + enrubannage
- B6 = double tresse optimisé

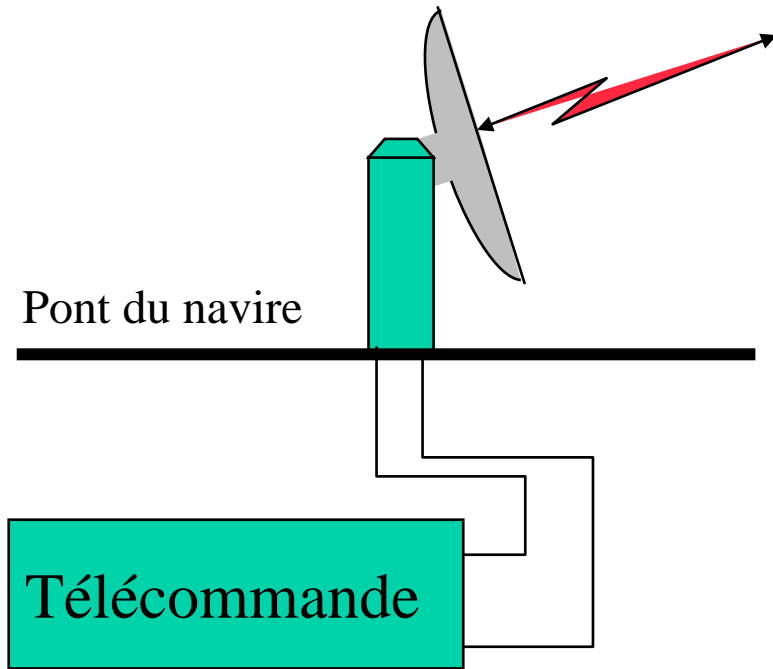


JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

Exemple d'application

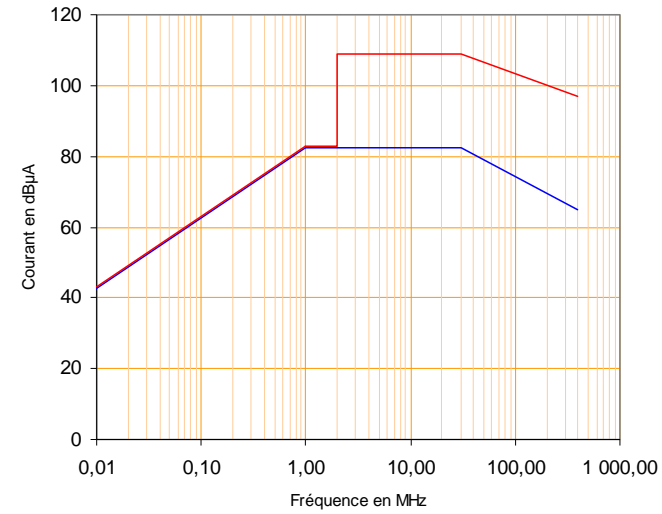
Système de poursuite navalisé



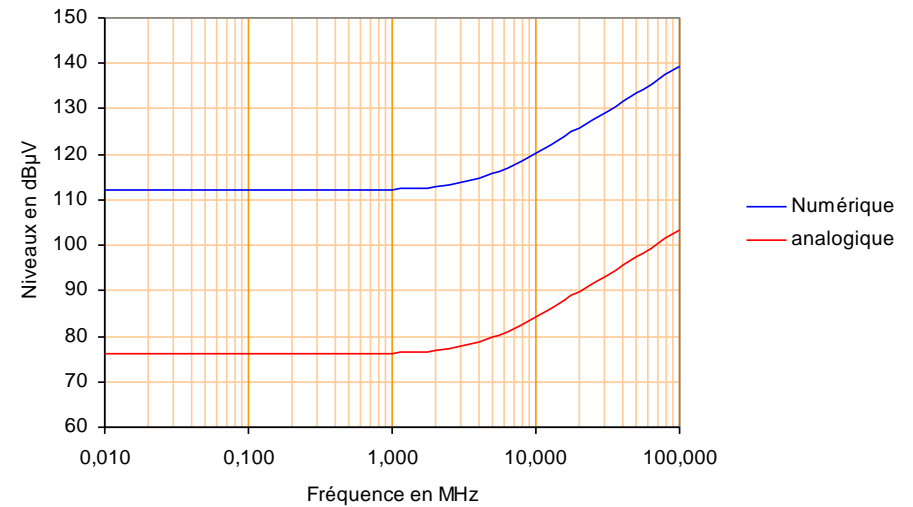
Liaisons numériques +  
Liaisons analogiques

MIL STD 461 E  
CS 114

— sous le pont  
— sur le pont



Susceptibilité estimée





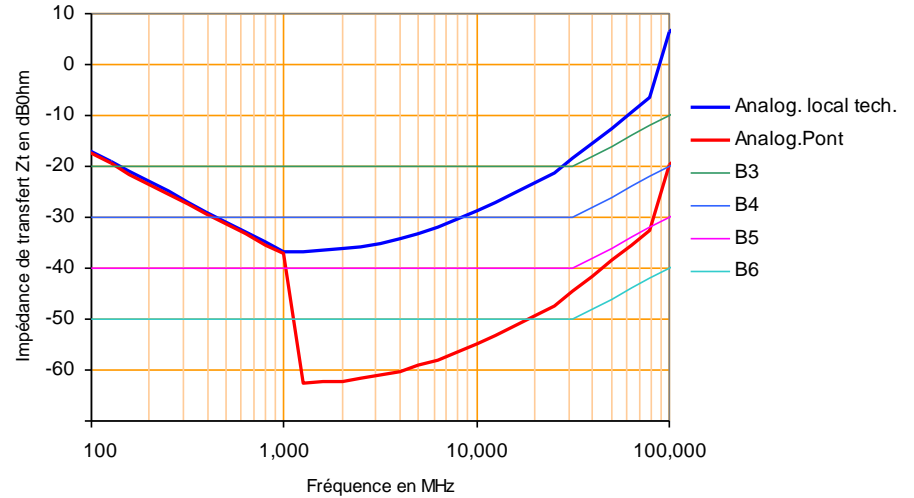
JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

LES CABLES BLINDES SOUMIS A UN RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUES

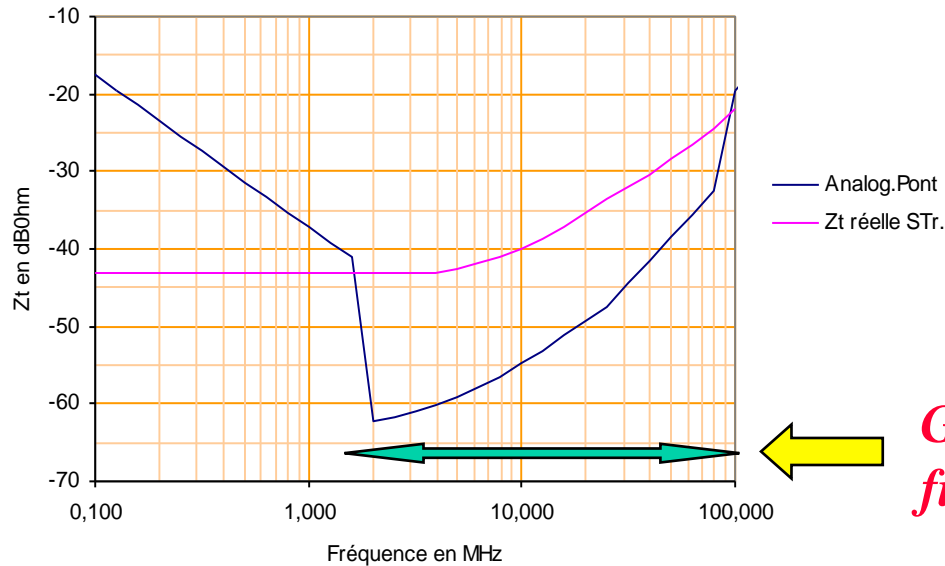
Exemple d'application

Solutions calculées

Comparaison entre les impédances de transferts nécessaires et les standards de blindage



Comparaison  $Z_t$  réelle d'un blindage simple tresse et  $Z_t$  souhaitée pour signaux analogiques sur le pont



Solution retenue à priori

Gamme de fréquence avec surblindage ou filtre de protection





JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

## CARACTERISATION DES CONNECTEURS

- ✓ Les connecteurs sont également caractérisés par leur impédance de transfert
- ✓ Cette impédance de transfert dépend de la qualité à obtenir globalement et à la longueur du câble
- ✓ En règle générale on fixe pour chaque connecteur une impédance de transfert égale à celle de 1 mètre de câble
- ✓ Les impédances de transfert des connecteurs sont très variables en fonction du soin pris à la réalisation et aux effets climatiques et au temps
- ✓ Se sont pratiquement toujours les connecteurs qui sont la cause des dégradations du blindage



JEANNOLLE Joël  
Cabinet d'étude en  
ELECTROMAGNETISME

## CONCLUSIONS

- Soumis à une onde électromagnétique, les câbles de liaisons entre matériels sont parcourus par des courants indésirables.
- Pour réduire l'effet de ces courants, une solution efficace consiste à entourer le fil utile par le fil de retour => câble blindé
- La qualité d'un fil blindé est dimensionnée par son impédance de transfert. Elle varie suivant les technologies.
- On peut estimer à la conception la qualité requise à l'aide de trois données :
  - l'intensité du courant sur le toron ( donnée d'environnement)
  - La susceptibilité des victimes ( choix technologique)
  - La hauteur moyenne des câbles au-dessus des masses
- Prévoir à l'estime la qualité du blindage dans un environnement difficile est source de déboire. Le connecteur doit être de même qualité