



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UNE ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

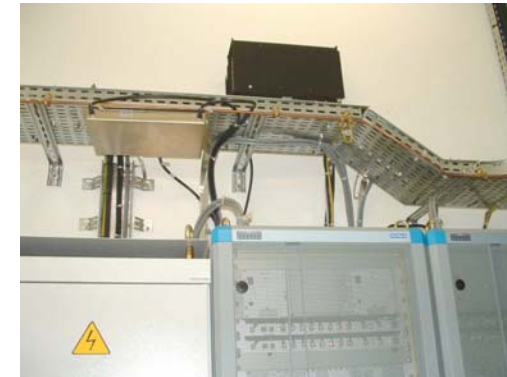
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CÂBLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

Le rayonnement électromagnétique induit sur le câblage des systèmes a trois origines:

- *rayonnement consécutif à un coup de foudre*
- *rayonnement issu d'un station radioélectrique*
- *rayonnement créé par un RADAR.*



METHODE

Établissement des tensions de mode commun

Établissement des impédances de boucle

Établissement des courants et tensions de perturbation

Établissement de l'immunité d'un terminal

Analyse des résultats et solutions de durcissement





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

RAYONNEMENT CONSÉCUTIF A UN COUP DE FOUDRE

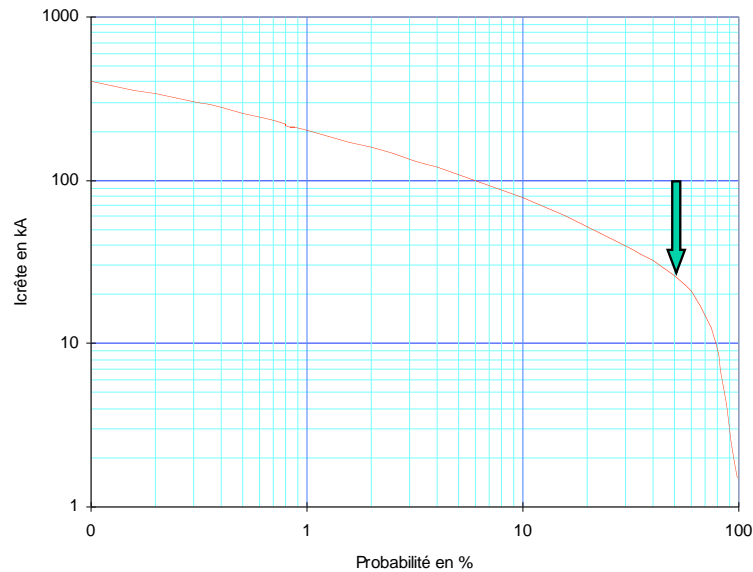


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

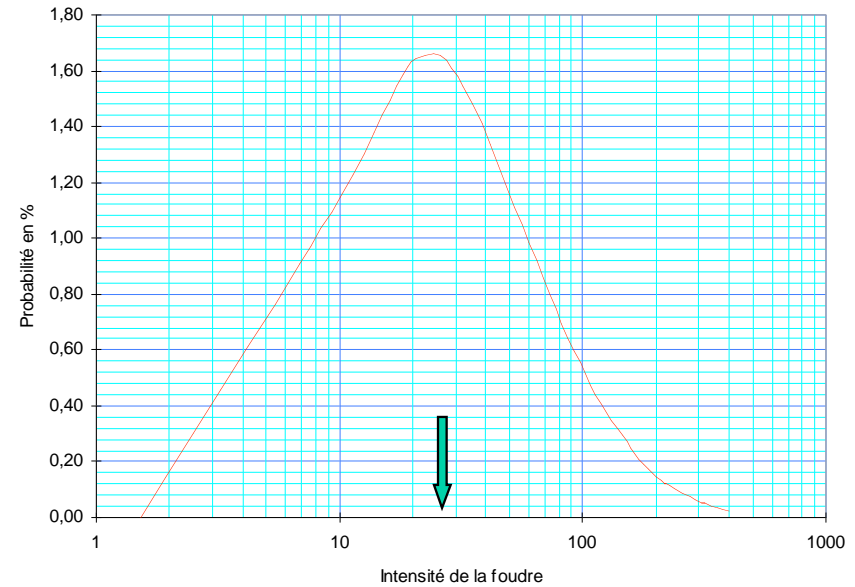
COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CARACTÉRISTIQUES DU COURANT DE Foudre

Intensité de la foudre en fonction de
la probabilité d'apparition
origine CIGRE



Probabilité d'être frappé par la foudre
pour un immeuble de 30m de haut



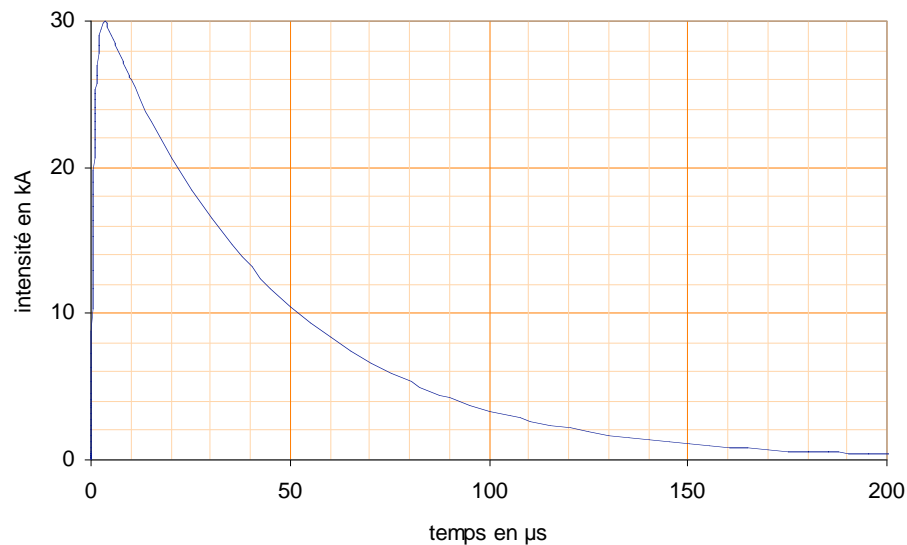
L'intensité probable pour l'estimation des effets est de l'ordre de 30 kA



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTÉRISTIQUE DU COURANT DE FOUDRE

Courant de foudre



Temps de montée $1,5\mu\text{s}$

Durée à mi-hauteur = $35\mu\text{s}$

Fréquence équivalent = 212 kHz

$$i(t) = I_0 * (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

Pour nos applications:

$$I_0 = 32820\text{ A}$$

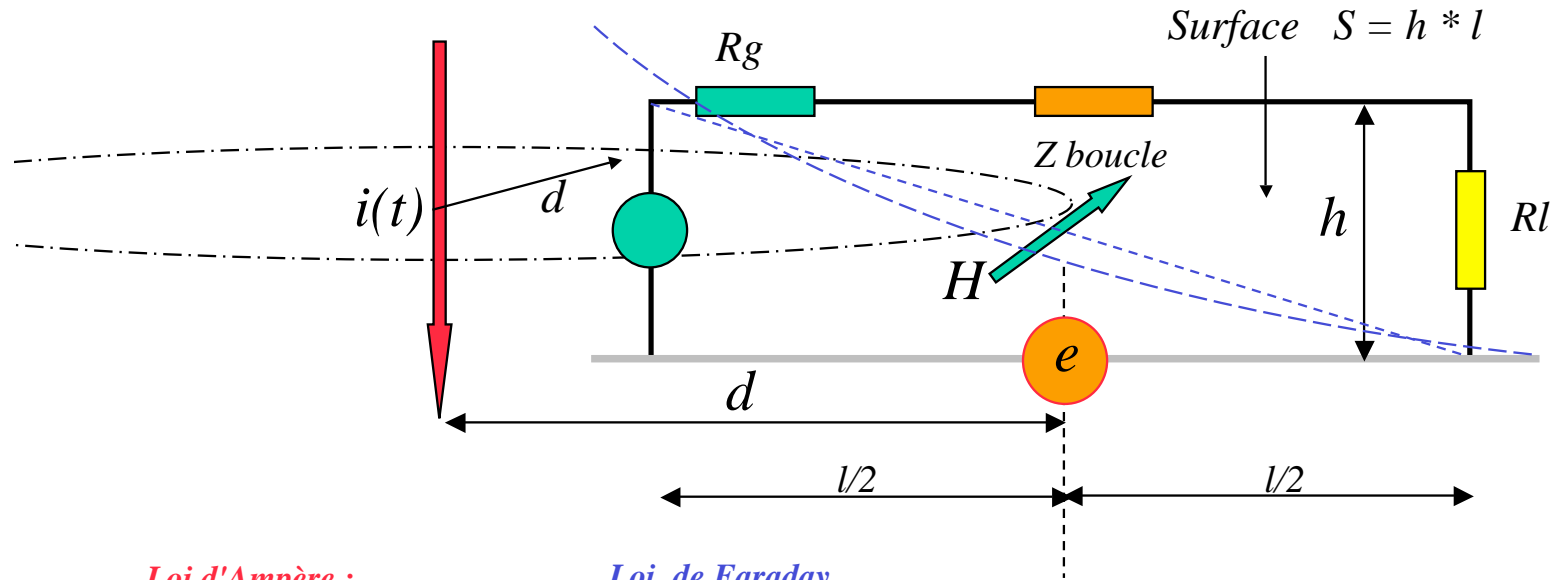
$$\alpha = 22\,708\text{ s}^{-1}$$

$$\beta = 1\,294\,530\text{ S}^{-1}$$



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

INDUCTION CRÉÉE PAR UN COUP DE Foudre



Loi d'Ampère :

$$2 * \pi * d * H(t) = i(t)$$

Loi de Faraday

$$e = -\frac{d\Theta}{dt}$$

$$\Theta = \mu * H * S$$

$$e = -\frac{\pi * S}{2 * \pi * d} * \frac{di(t)}{dt}$$

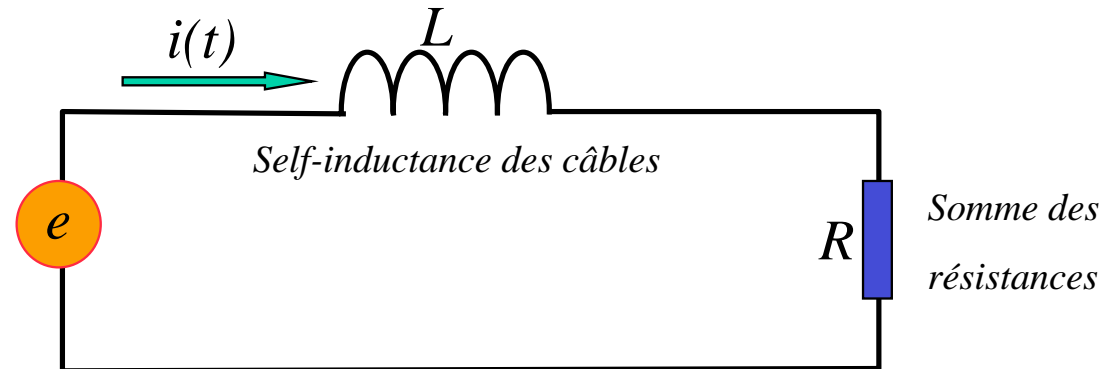
$$e = -\frac{\mu * S * I_0}{2 * \pi * d} * (\beta * e^{-\beta t} - \alpha * e^{-\alpha t})$$

$$e(0) = -\frac{\mu * S * I_0}{2 * \pi * d} * (\beta - \alpha)$$



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COURANT SECONDAIRE CRÉÉ PAR UN COUP DE Foudre



$$L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R \cdot i(t) = -\frac{\mu \cdot S \cdot I_0}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot (\beta \cdot e^{-\beta t} - \alpha \cdot e^{-\alpha t})$$

$$i(t) = \frac{\mu \cdot S \cdot I_0}{2 \cdot \pi \cdot d} \left[\frac{\beta}{R - \beta \cdot L} \cdot \left(e^{-\frac{R}{L} \cdot t} - e^{-\beta \cdot t} \right) - \frac{\alpha}{R - \alpha \cdot L} \cdot \left(e^{-\frac{R}{L} \cdot t} - e^{-\beta \cdot t} \right) \right]$$

$$i(0) = 0$$



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

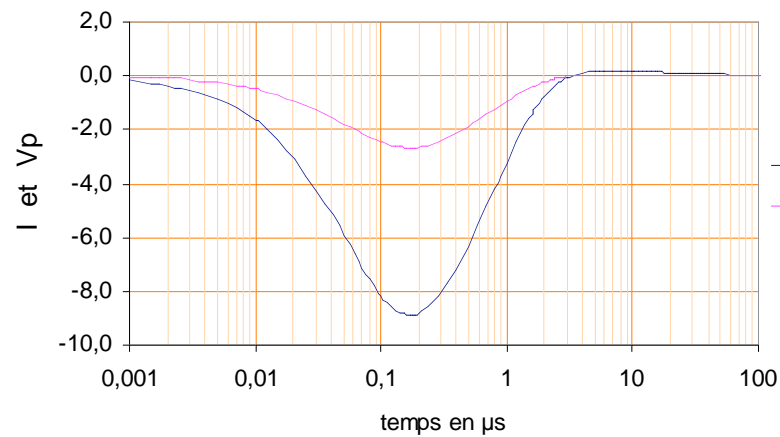
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

INDUCTION CRÉÉE PAR UN COUP DE Foudre

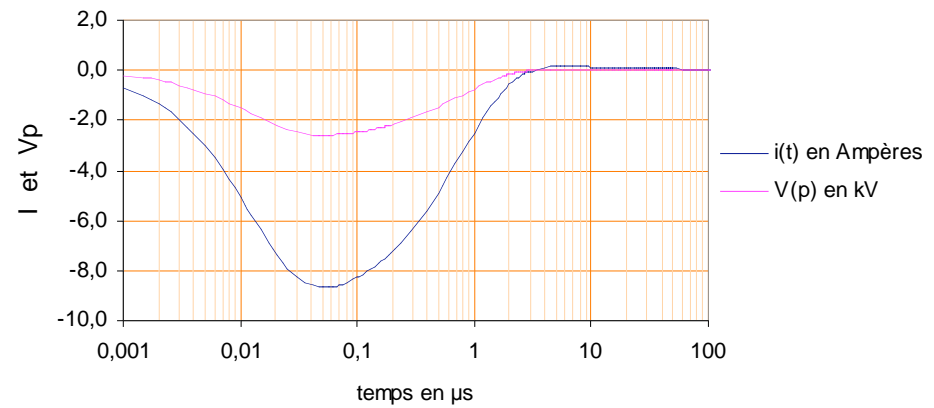
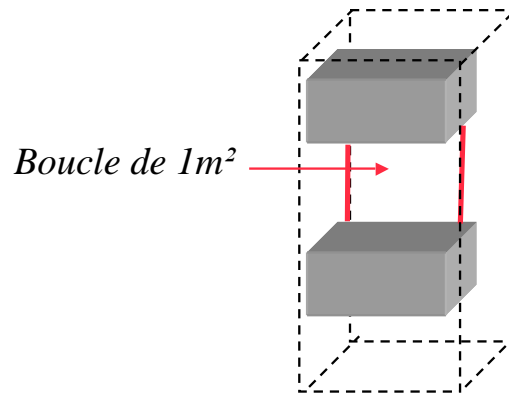
Coup à 25m boucle de 10m_R = 300 ohms



Câbles non ou mal blindés



Coup sur le bâtiment boucle de 1m_R = 300 ohms





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

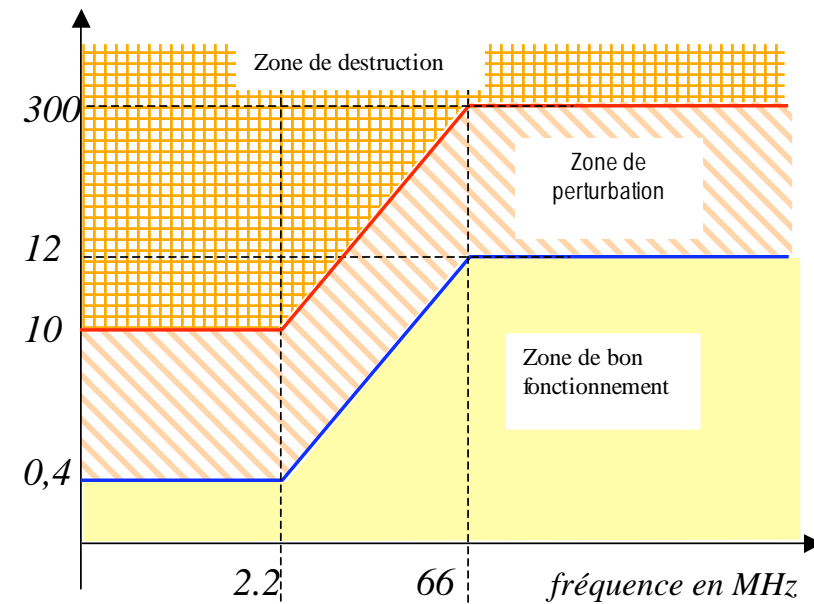
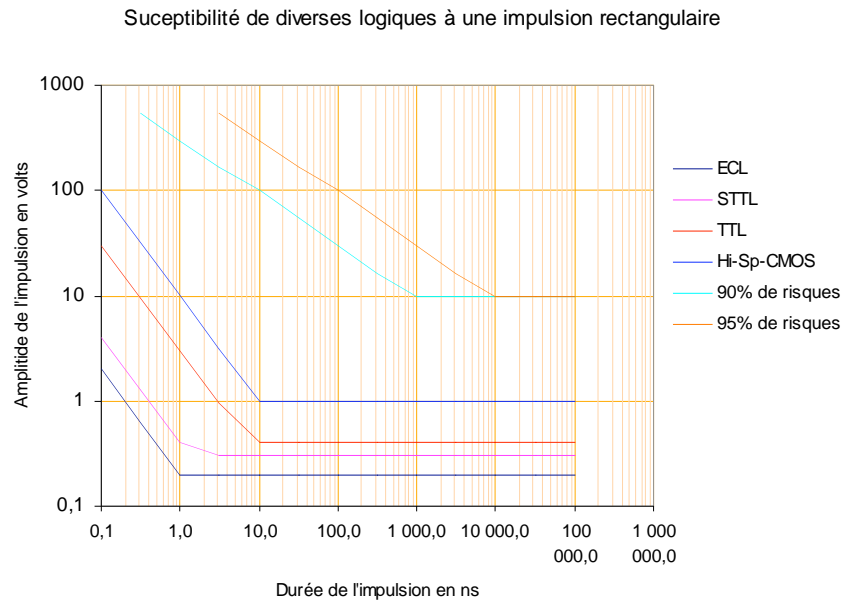
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

INDUCTION CRÉÉE PAR UN COUP DE FOUDRE

Immunité estimée des terminaux

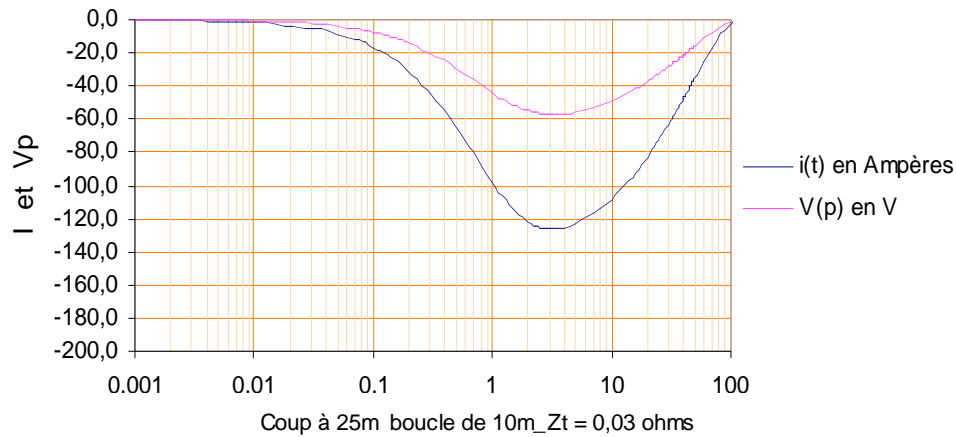




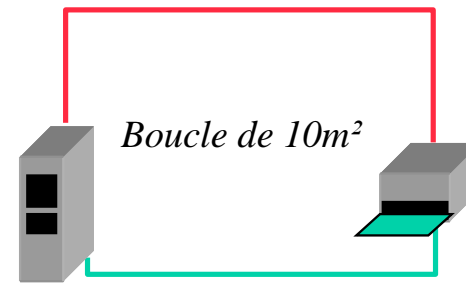
JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

INDUCTION CRÉÉE PAR UN COUP DE Foudre

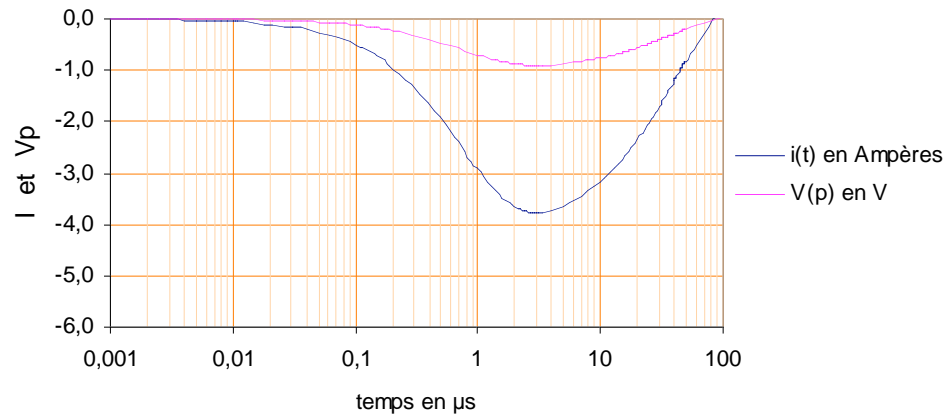
Coup à 25m boucle de 10m_Zt = 0,03 ohms



Câble blindé simple tresse



Câbles en l'air



Câbles en goulottes

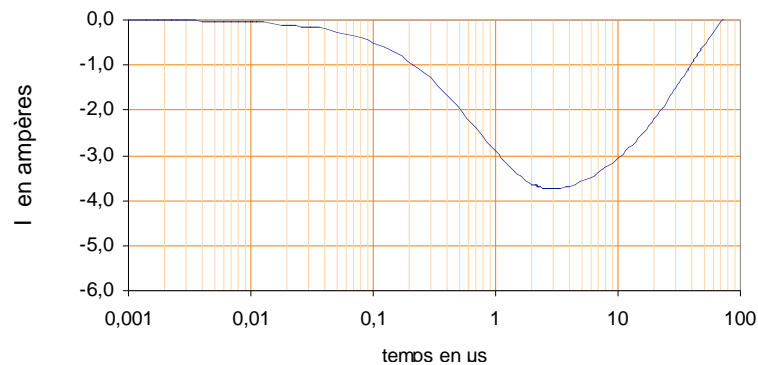


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

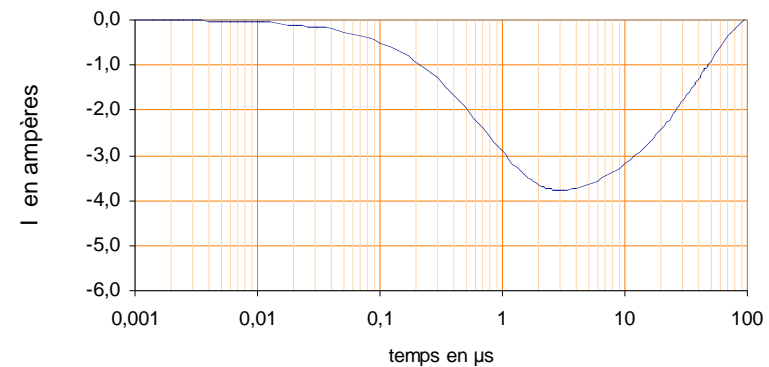
INDUCTION CRÉÉE PAR UN COUP DE Foudre

Câbles en goulottes : effet de la longueur sur le courant gaine

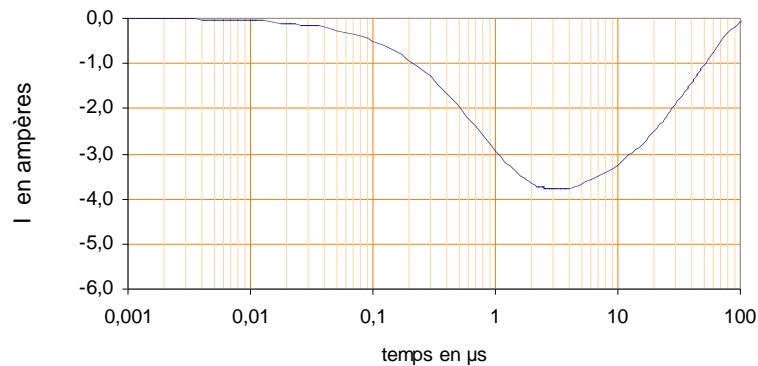
Coup à 25m câble 5m à 2cm au-dessus de la goulotte



Coup à 25m câble 10m à 2cm au-dessus de la goulotte



Coup à 25m câble 15m à 2cm au-dessus de la goulotte



Le maximum du courant de gaine
reste pratiquement inchangé



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

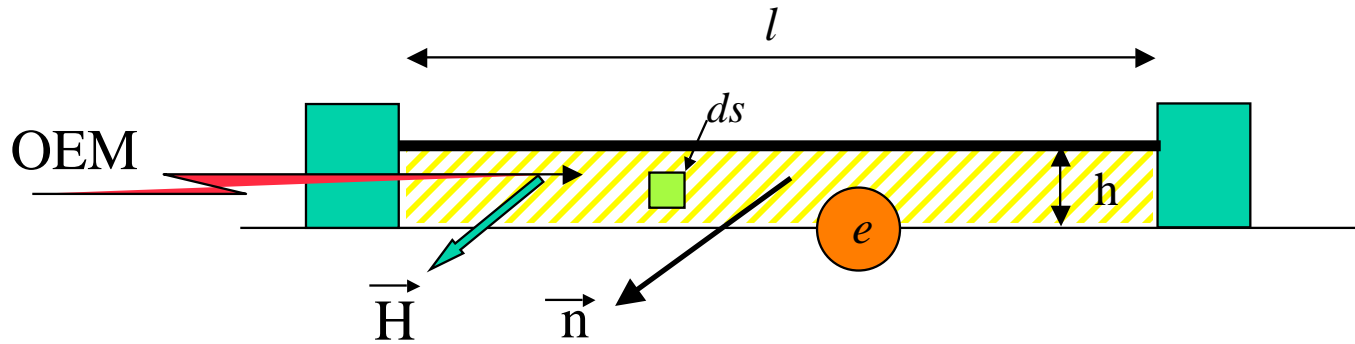
COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

RAYONNEMENT ISSU D'UNE UNE STATION RADIOÉLECTRIQUE



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION DE BOUCLE e

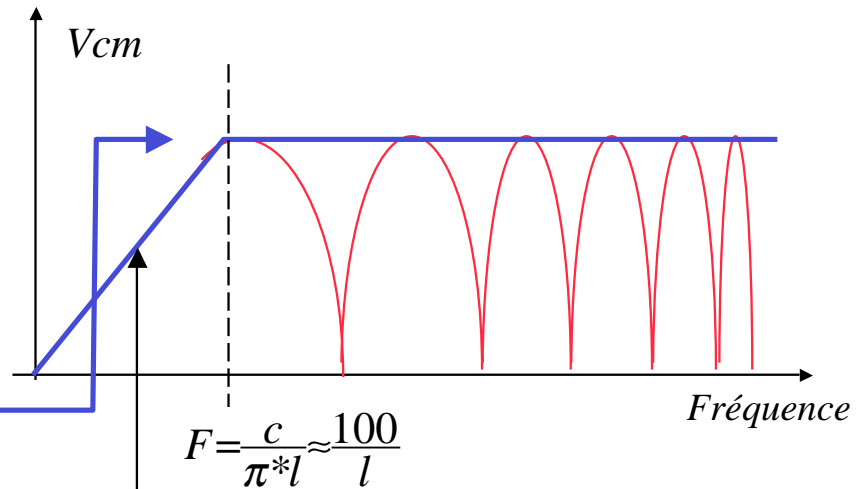


$$V_{cm} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{surfaces} \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot ds$$

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

$$|e_{maxi}| = 2 \cdot \mu \cdot H \cdot h \cdot c$$

$$e = (\mu \cdot h \cdot H) \cdot (2 \cdot \pi \cdot l) \cdot F$$





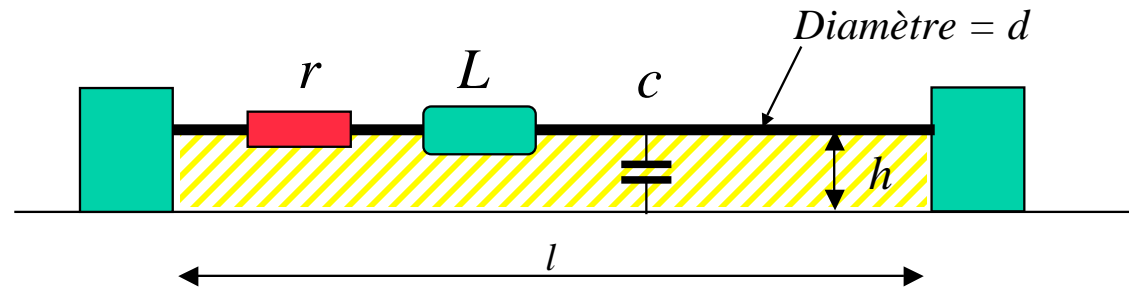
JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

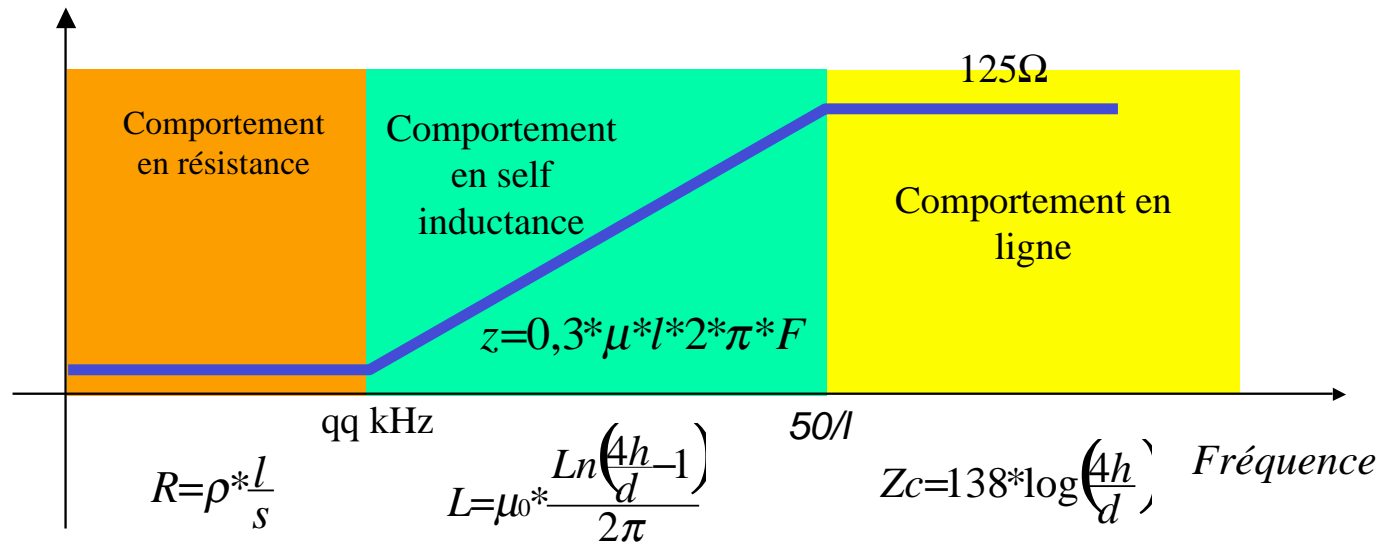
23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CARACTERISTIQUE DE LA VALEUR DE Zboucle



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

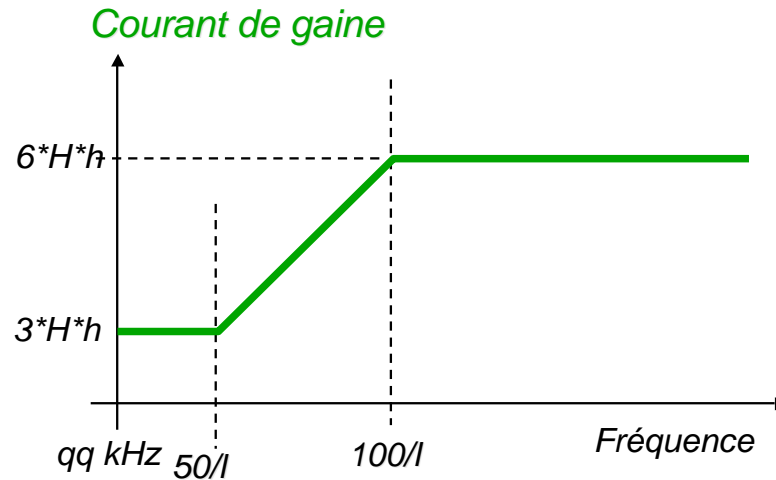
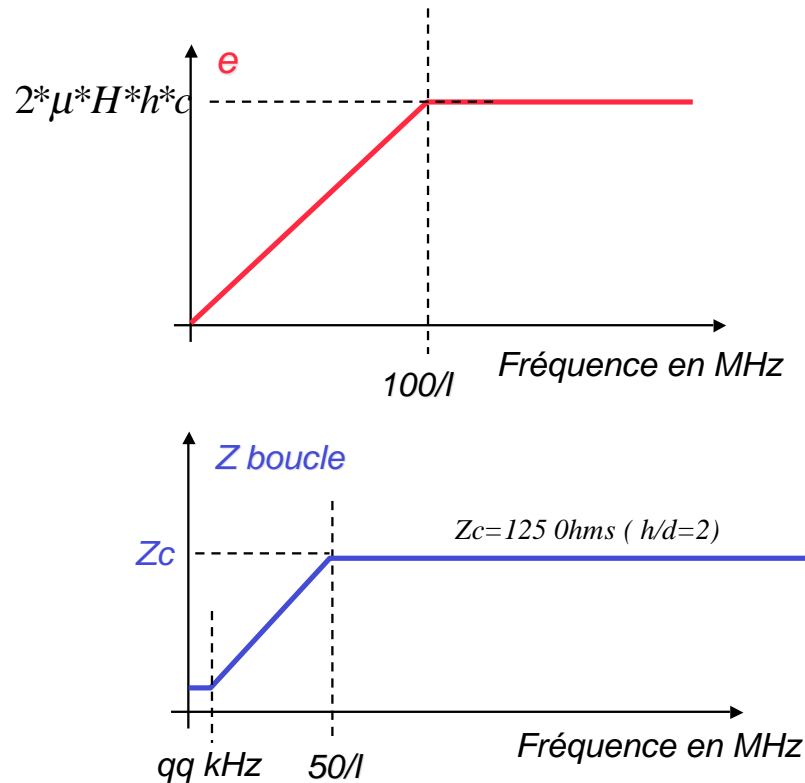




JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DU COURANT DE GAINE

On l'obtient en divisant "e" par Zboucle



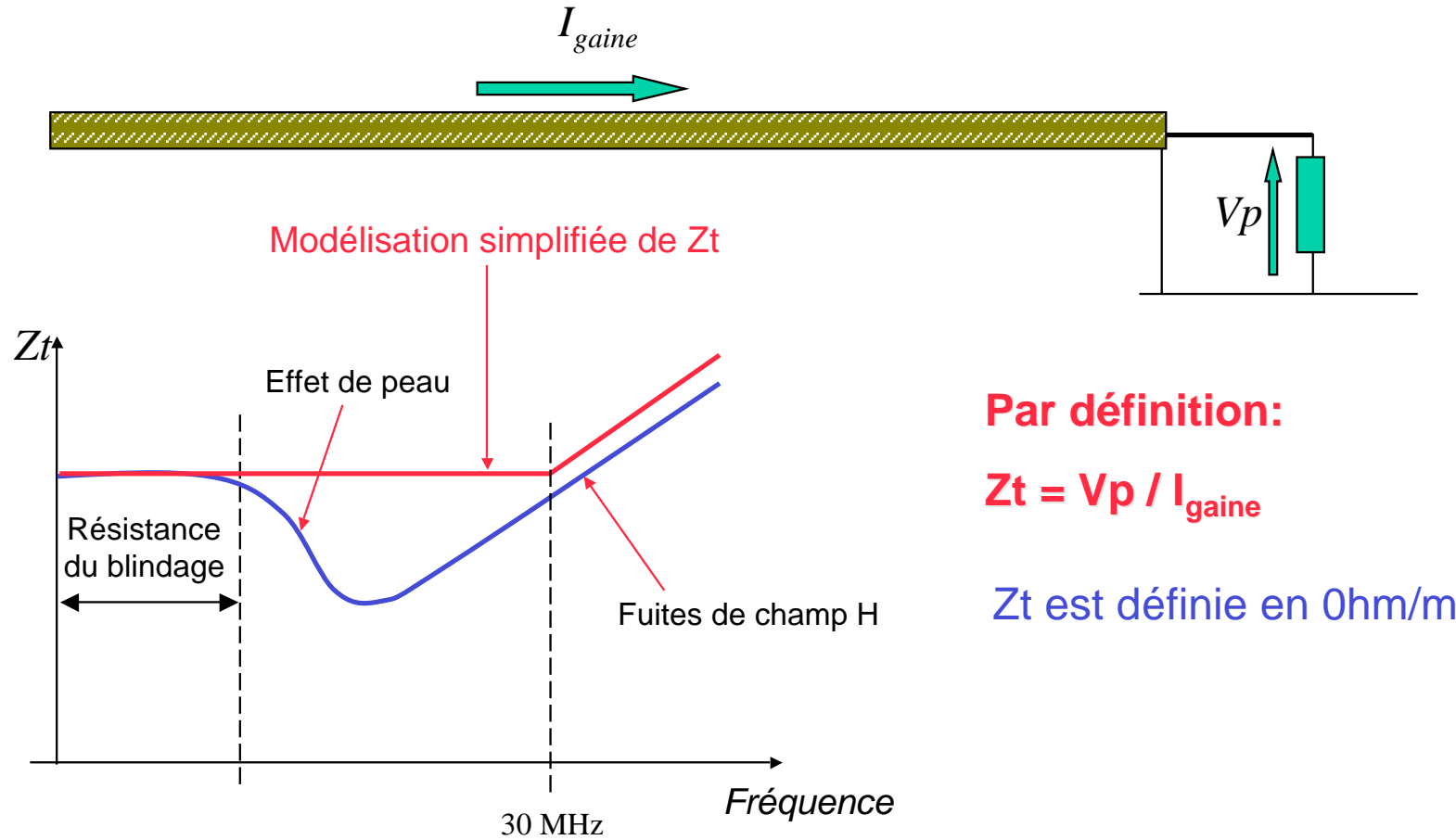
Le courant de gaine se caractérise par:

1. L'amplitude de l'agression H
2. La hauteur du câble/ masse h
3. La longueur du câble l



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERITIQUE DE LA TENSION INDUITE



Par définition:

$$Z_t = V_p / I_{gaine}$$

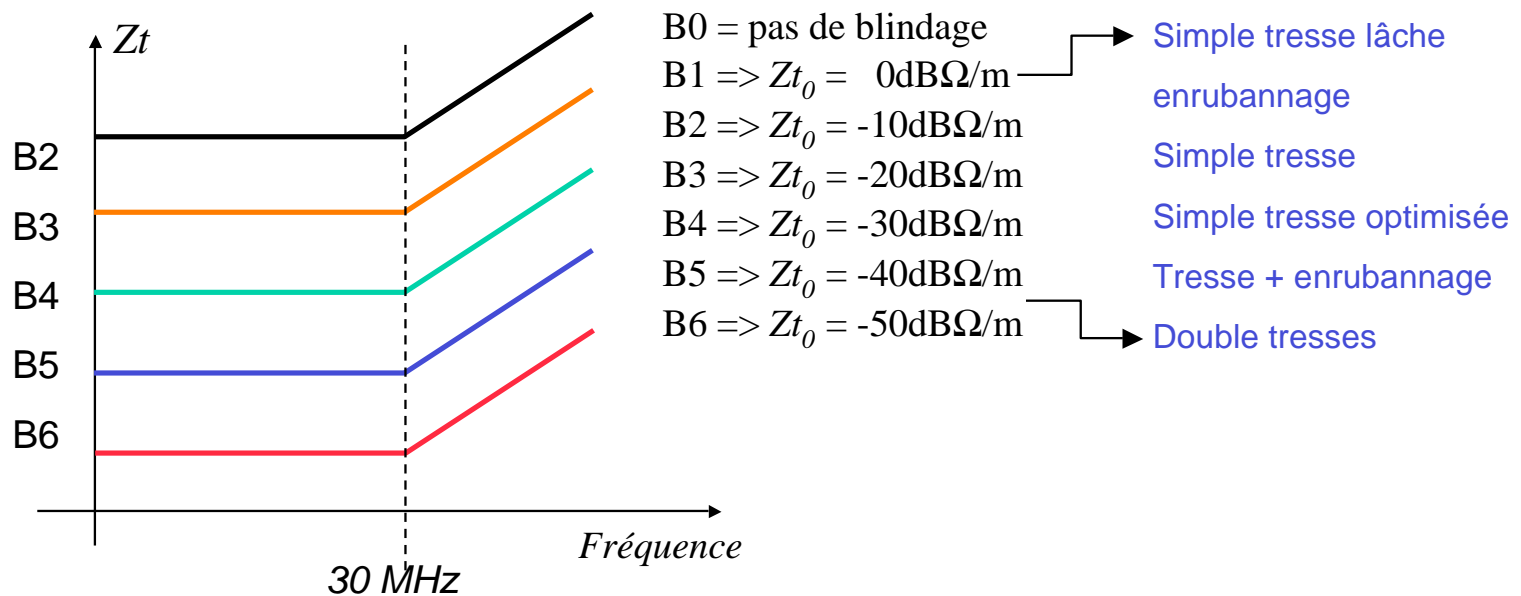
Z_t est définie en Ohm/m



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DE LA VALEUR DE Z_t

Approche de caractérisation:

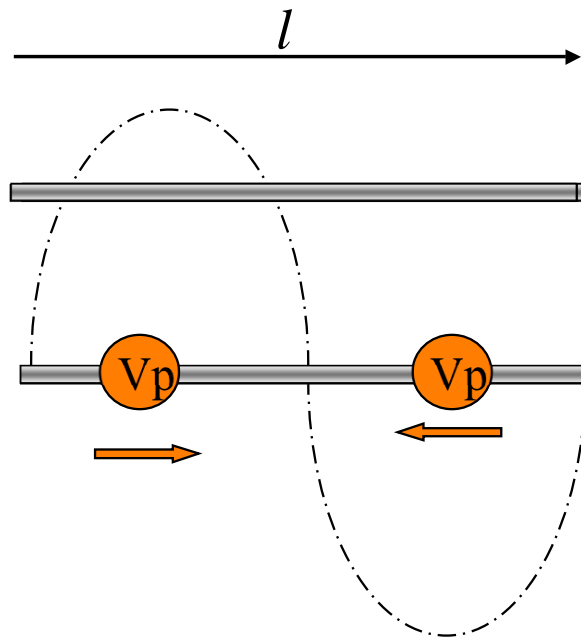




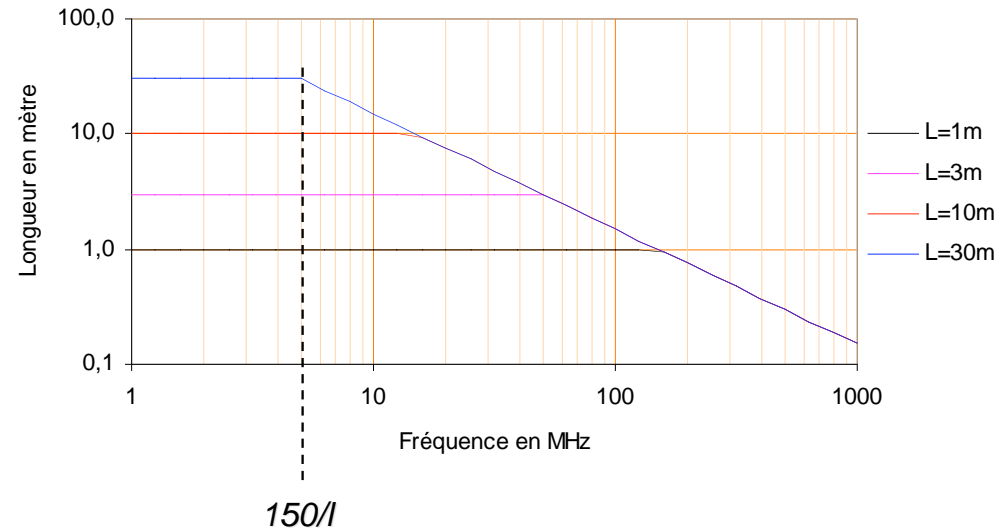
JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE

Longueur équivalente d'un câble



Longueur équivalente d'un câble



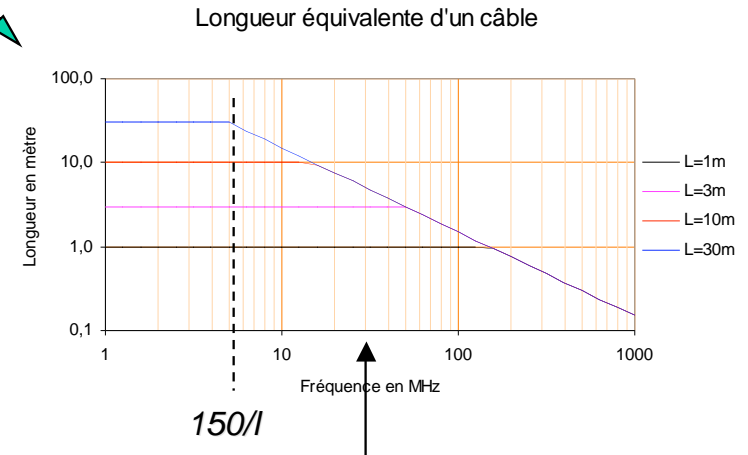
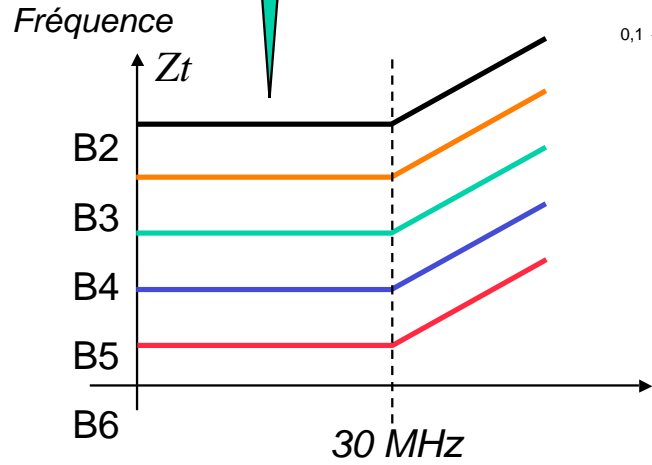
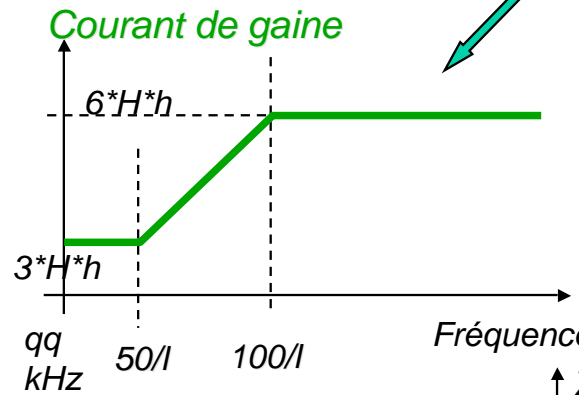


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE

LA TENSION INDUITE EST LE PRODUIT

$I_{\text{gain}} * Z_t * \text{Longueur équivalente}$





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

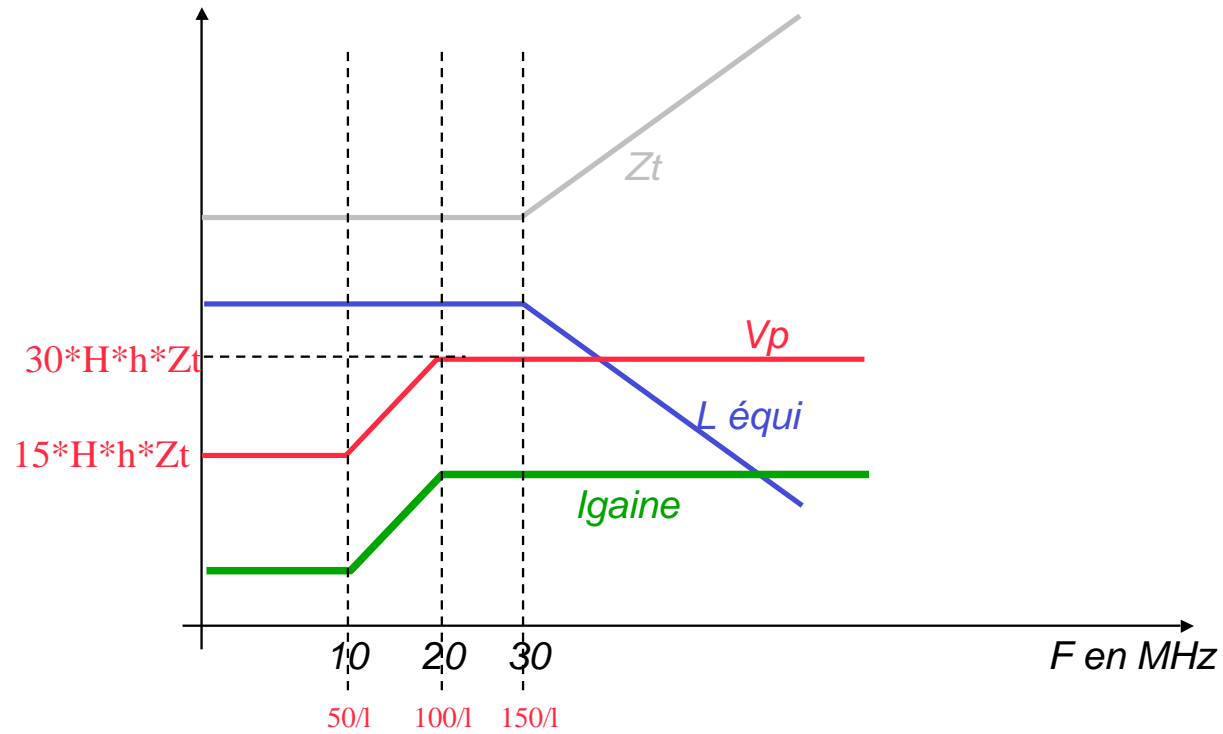
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE

Câble de 5m





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

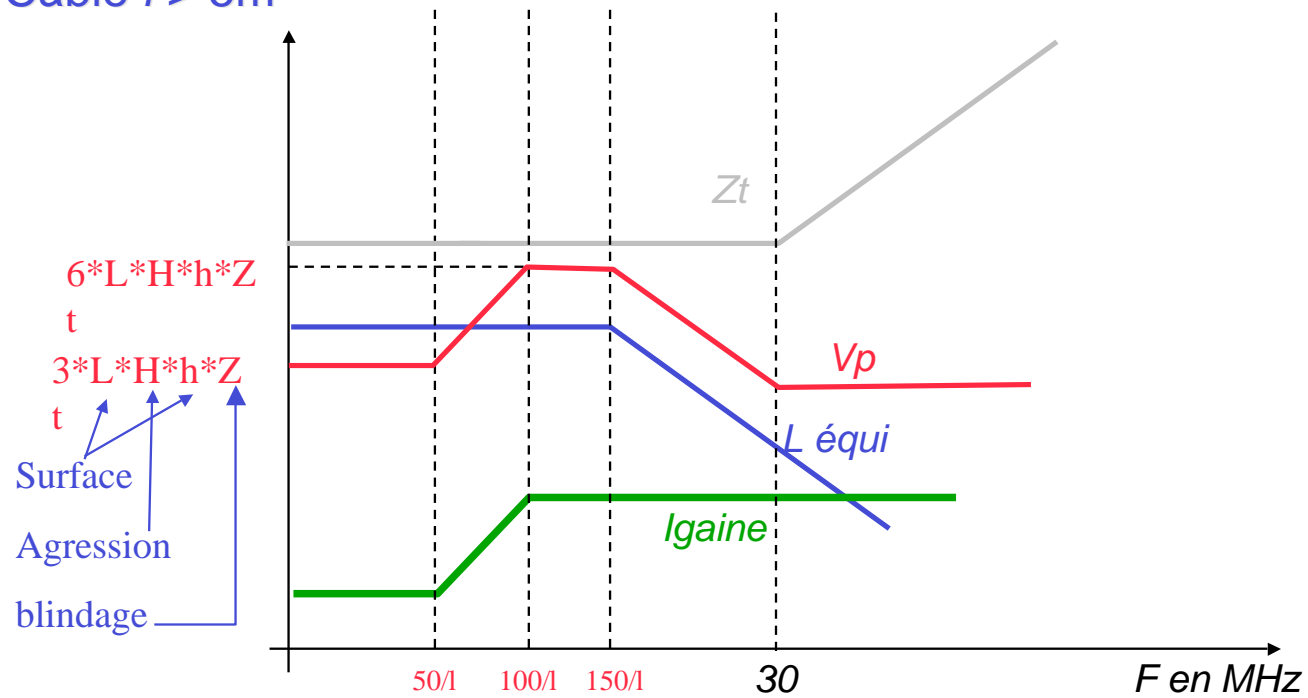
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE

Câble $l > 5m$





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

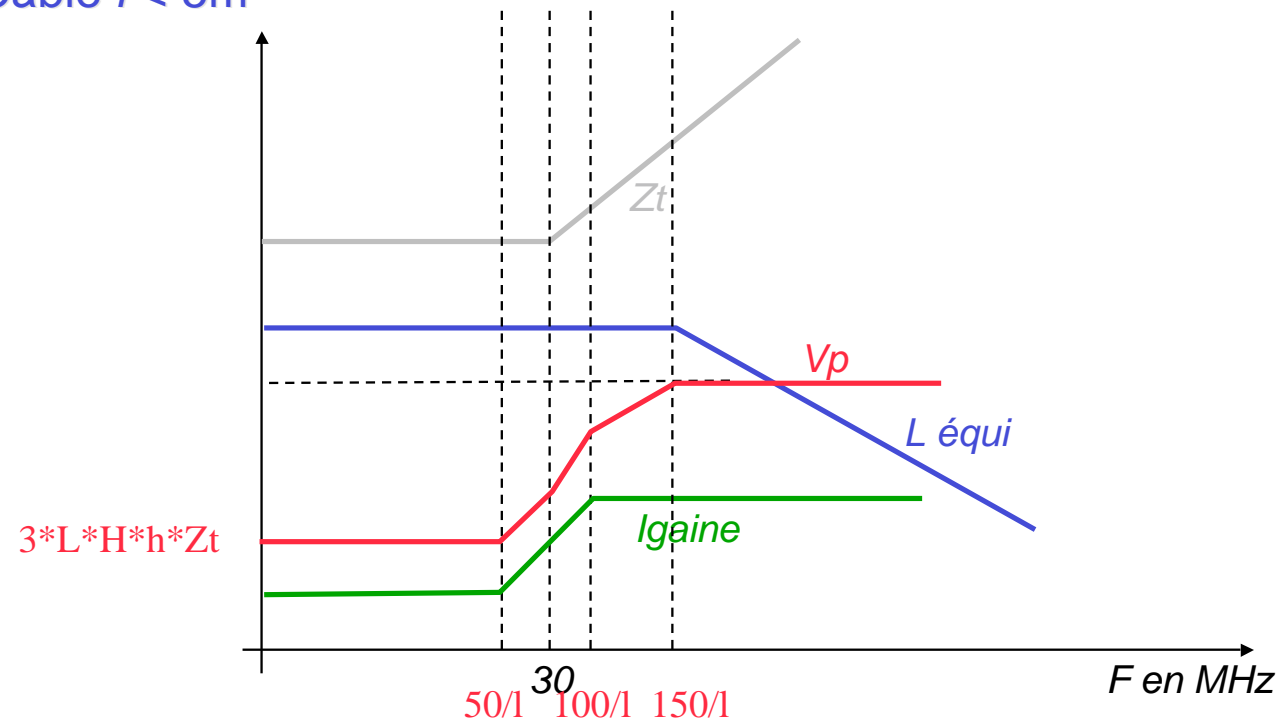
JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE

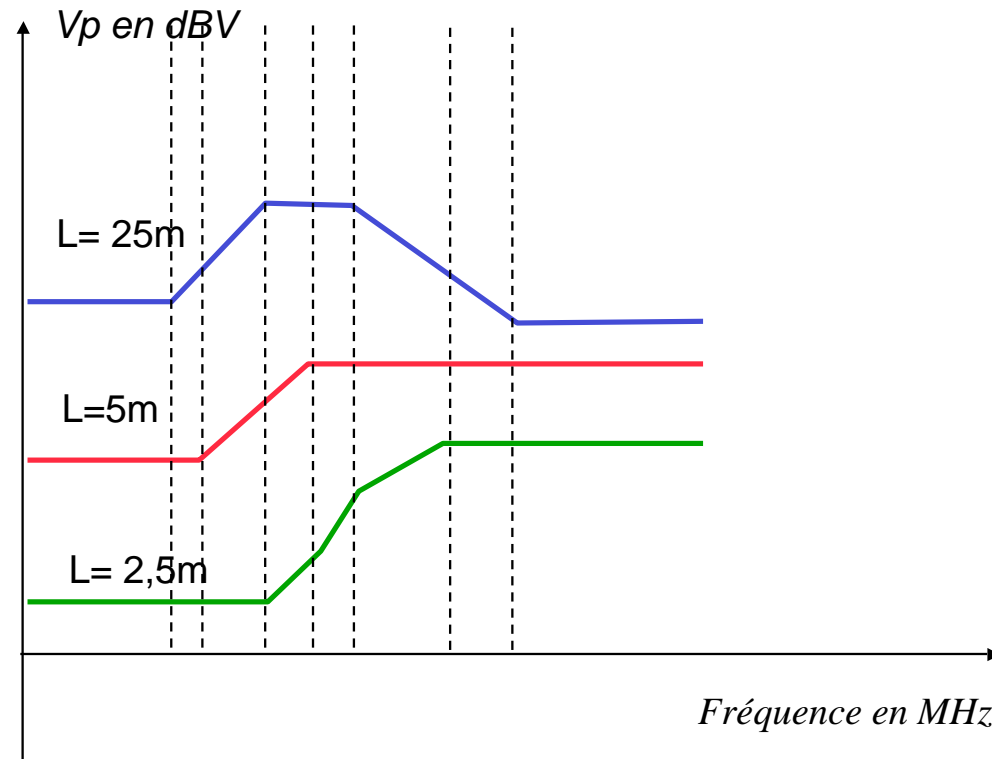
Câble $l < 5m$





JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTERISTIQUE DE LA TENSION INDUITE



Exemple de regroupement de câbles



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

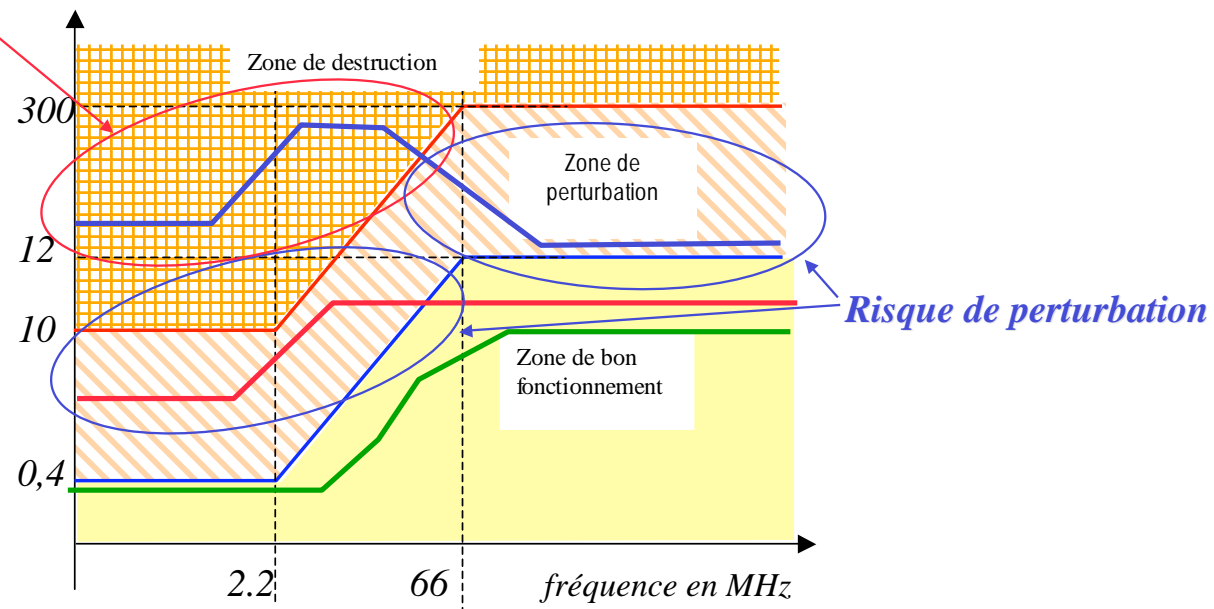
23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

ACTIONS DE DURCISSEMENT CEM

S'OBTIENT PAR LA SUPERPOSITION DES AGRESSIONS ET DE LA SUSCEPTIBILITE DES TERMINAUX

Risque de destruction



NB : LES AGRESSIONS ONT ÉTÉ SUPPOSÉES CONSTANTES DANS LA GAMME DE FRÉQUENCE

Les paramètres de durcissement sont h et Zt



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

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

JOURNEES CEM HYPER 2005

23 mars 2005

COMPORTEMENT DES CABLAGES SOUMIS A UN RAYONNEMENT EM

CONCLUSIONS

LE CABLAGE D'UN SYSTEME EST LA PRINCIPALE SOURCE DE COLLECTE
DES PERTURBATIONS CONSÉCUTIVES A UN RAYONNEMENT
ÉLECTROMAGNÉTIQUE

UNE CONCEPTION MAL FAITE, SANS ANALYSE, SE TRADUIT PAR LA MISE
EN PLACE DE CIRCUITS DE PROTECTION COMPLÉMENTAIRES

L'ANALYSE FAITE DANS CET EXPOSÉ A MONTRÉ QUE L'ON POUVAIT
FOURNIR AUX BUREAUX D'ÉTUDES UN CADRE TECHNIQUE ET
TECHNOLOGIQUE QUI OPTIMISE LA CONCEPTION.