



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2007

28 mars 2007

COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

**COMPARAISON DES TESTS DE
SUSCEPTIBILITE
EN RAYONNEMENT ET
EN COURANTS INDUITS SUR LES
CABLES**



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

NORMES EN RÉFÉRENCES

Susceptibilité en rayonnement

MIL STD 461 E	RS 103
EG13	63 R3
Marquage CE	61000-4- 3

Courants induits

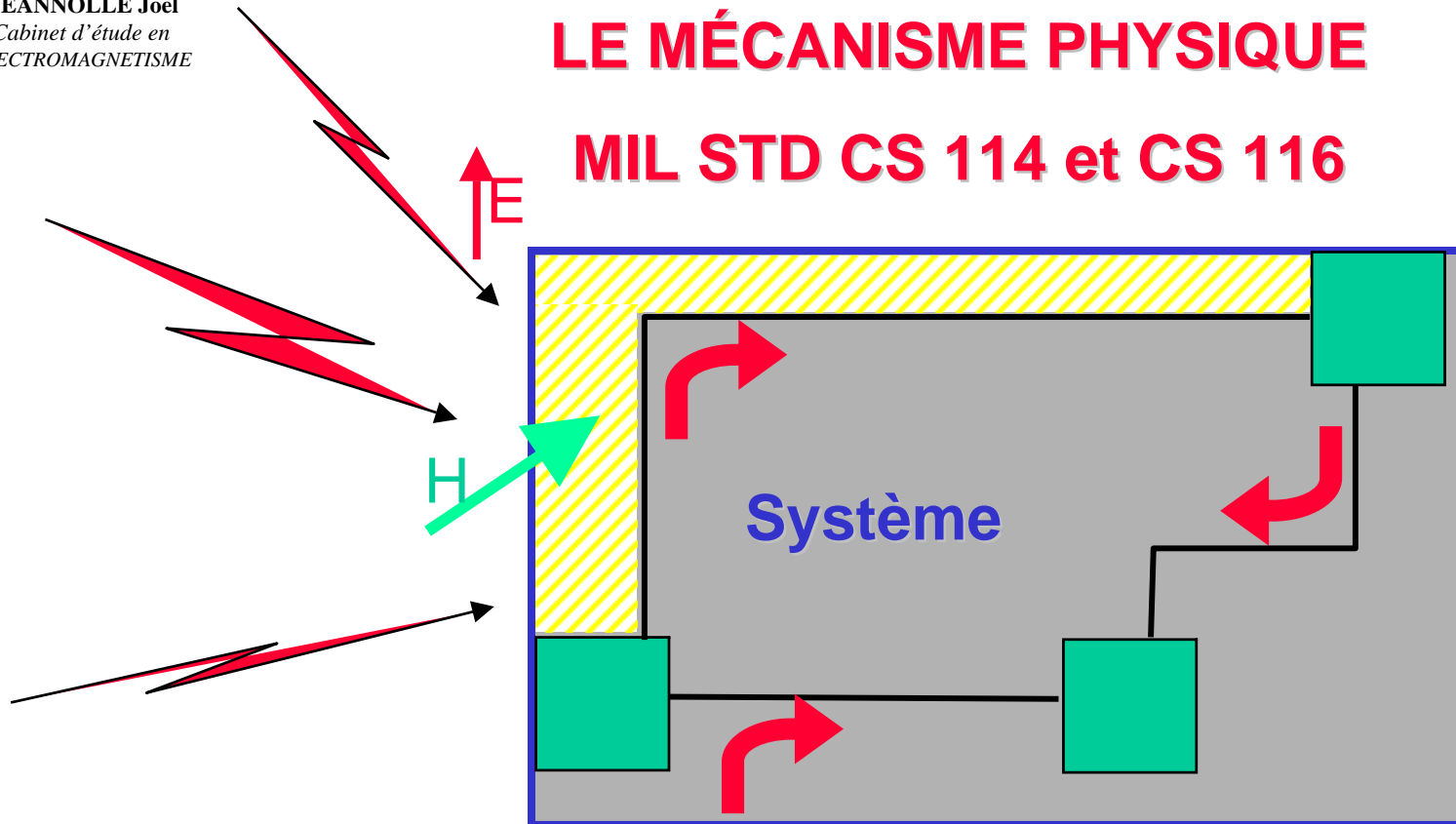
MIL STD 461 E	CS 114 – CS 116
EG 13	A 63 C4
Marquage CE	61000-4-4



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

LE MÉCANISME PHYSIQUE

MIL STD CS 114 et CS 116



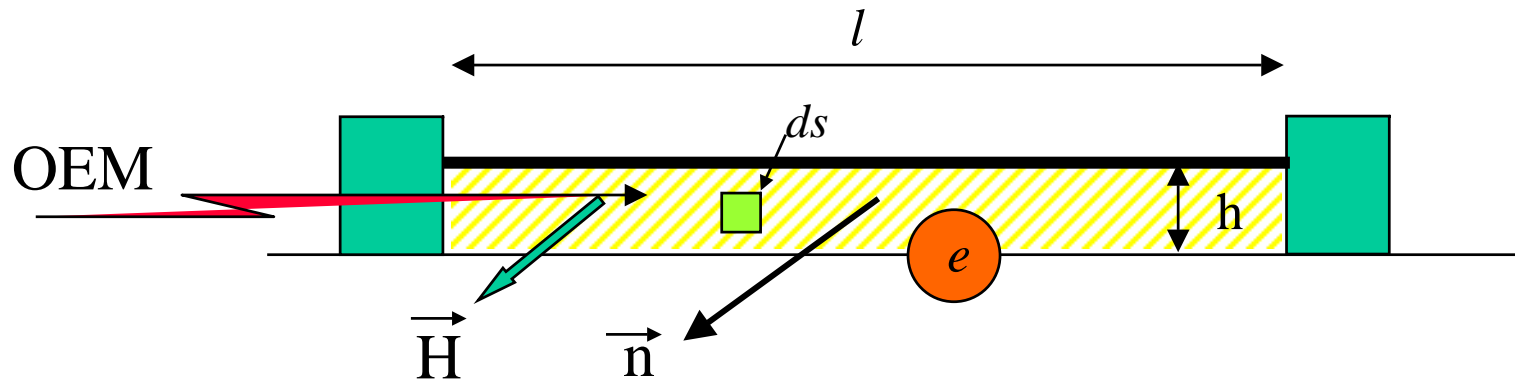
La composante H du rayonnement électromagnétique génère un flux entre câblages et masses. Ce flux, (loi de Lenz et loi d'Ohm), est à l'origine de courants induits sur le câblage.

Les champs sont continus (CS114) ou en impulsion (CS116)



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

MODÉLISATION DES COURANTS INDUITS



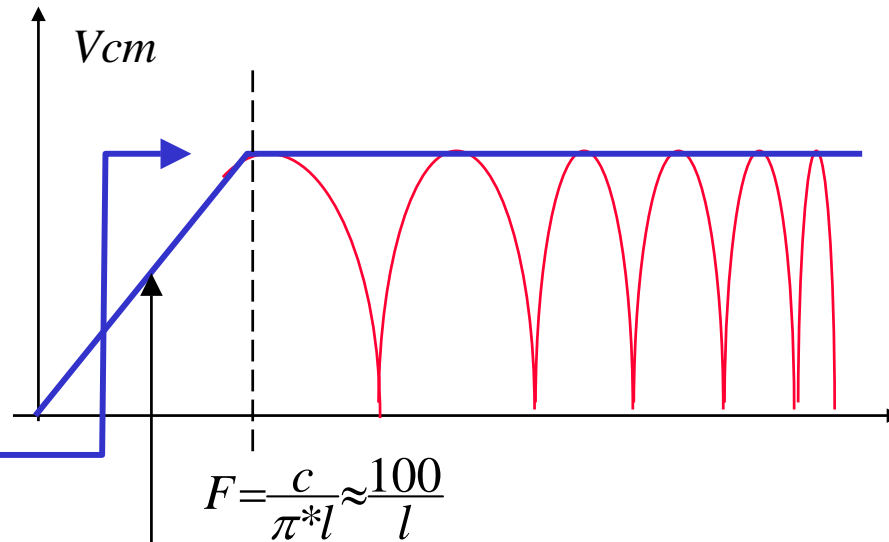
$$V_{cm} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_{surfaces} B \cdot n \cdot ds$$

↓

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

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

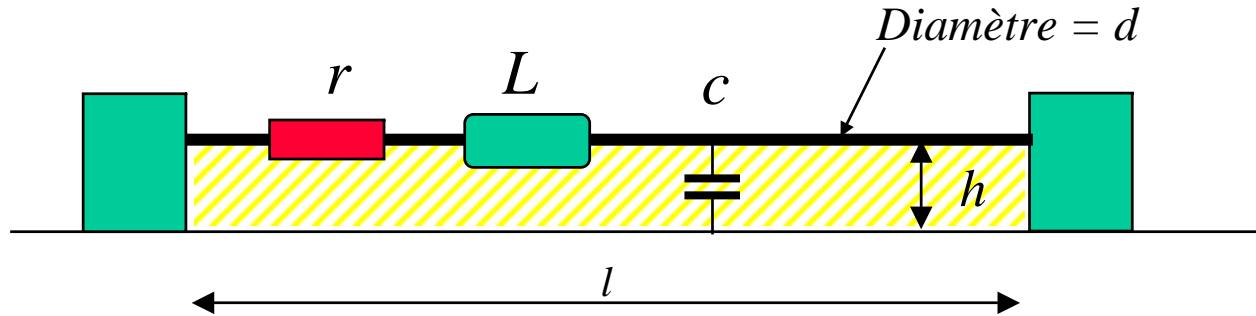
$$e = (\mu \cdot h \cdot H) \cdot (2 \cdot \pi \cdot l) \cdot F$$



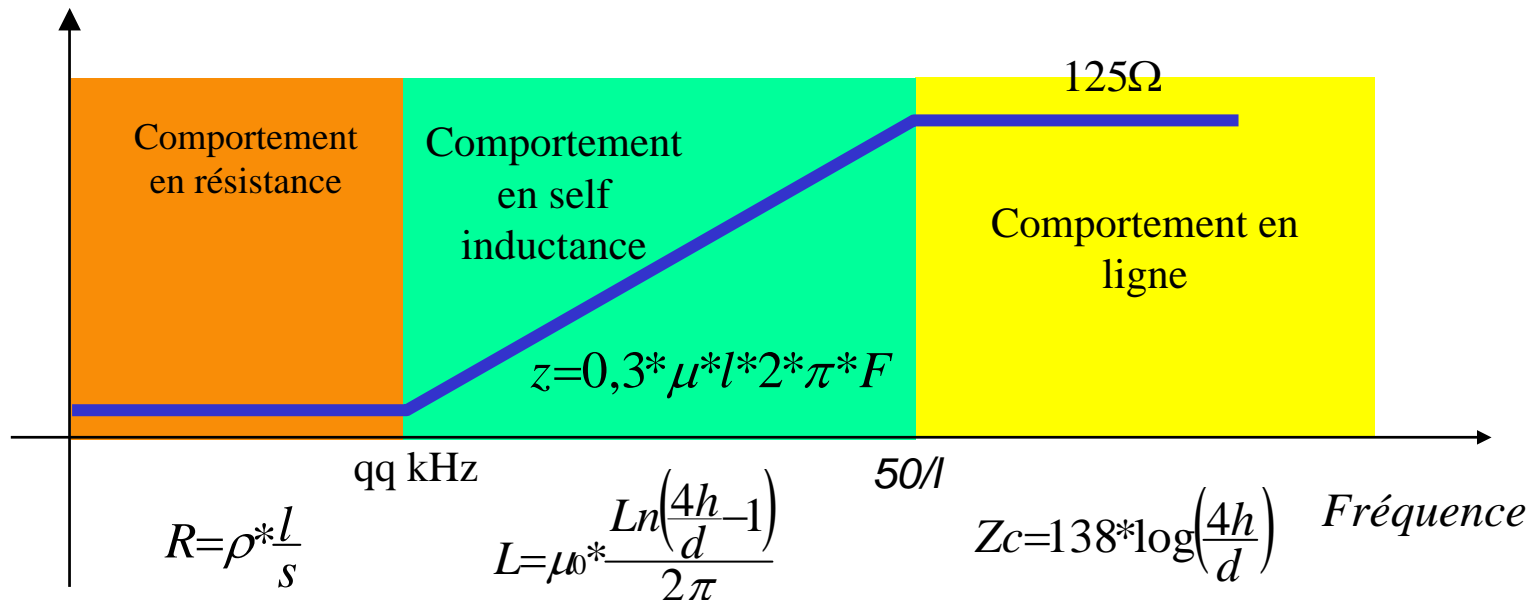


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CARACTÉRISTIQUE DE LA VALEUR DE Zboucle



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

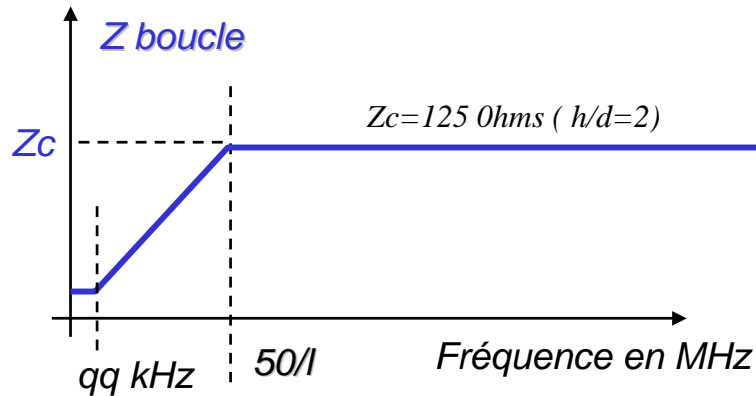
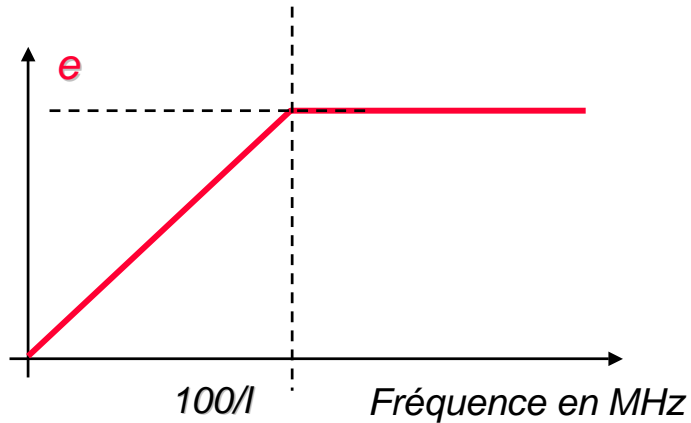




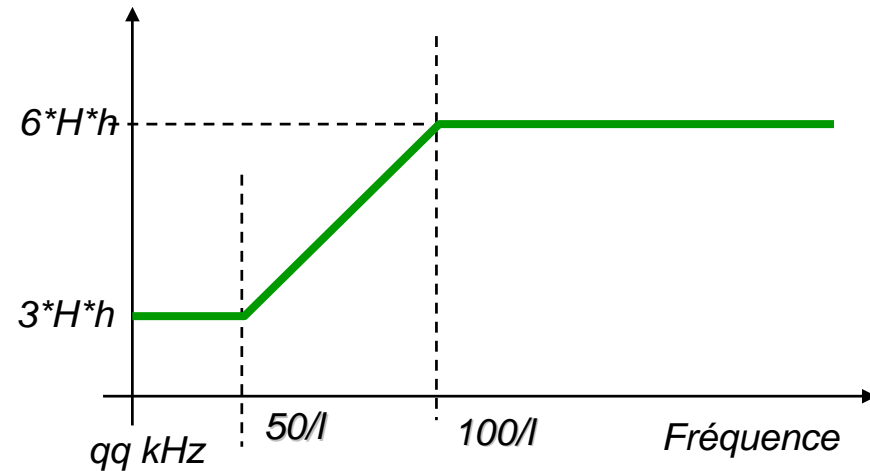
JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

MODÉLISATION DU COURANT INDUIT

On l'obtient en divisant "e" par Zboucle



Courant de gaine



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



MODÉLISATION DES COURANTS INDUITS

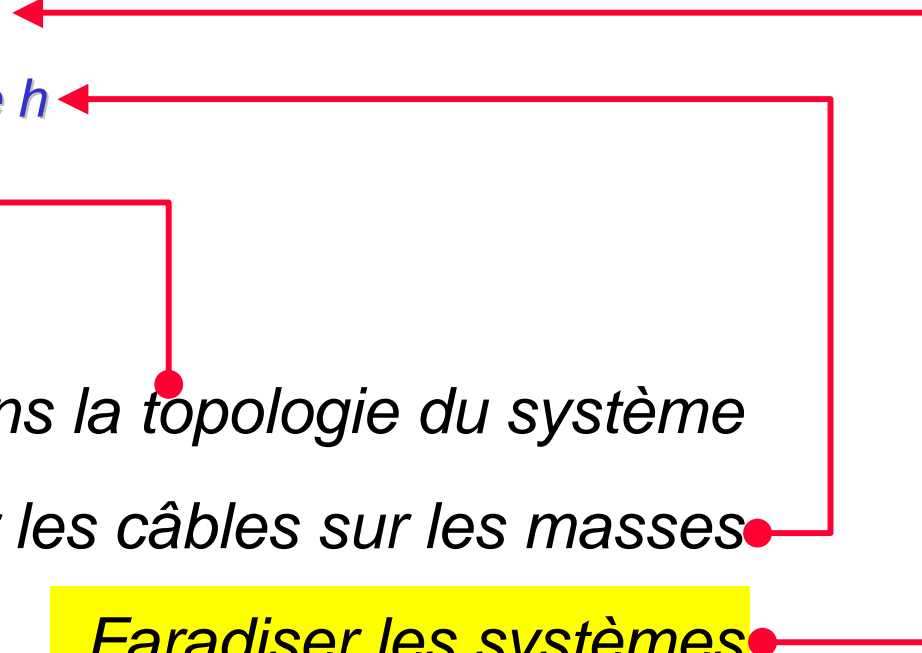
Le courant de gaine se caractérise par:

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

Peu de solution sinon dans la topologie du système

Plaquer les câbles sur les masses

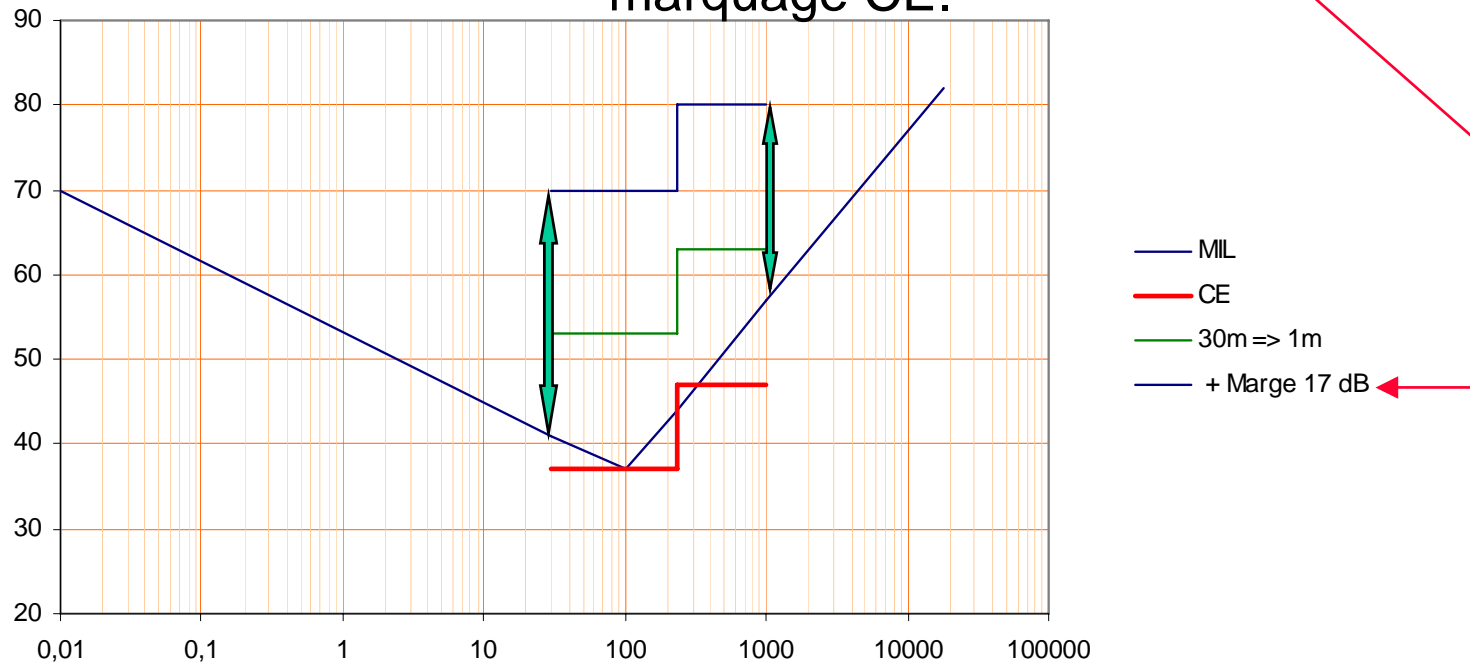
Faradiser les systèmes





La Faradisation est-elle nécessaire?

Supposons un système composé de plus de 20 matériels conformes au marquage CE.



Un système composé de matériels conforme au marquage CE impose, pour tenir les limites en rayonnements indésirable, une faradisation d'environ 30 dB de 30 à 1000MHz, soit une réduction de 30 dB du niveau de susceptibilité en rayonnement!



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

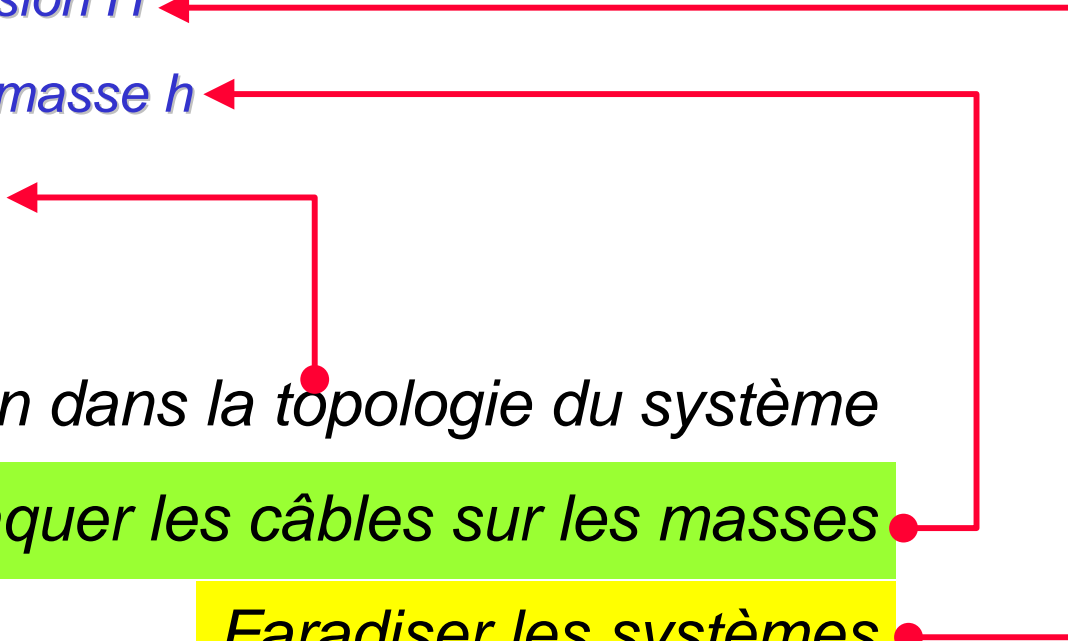
Le courant de gaine se caractérise par:

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

Peu de solution sinon dans la topologie du système

Plaquer les câbles sur les masses

Faradiser les systèmes





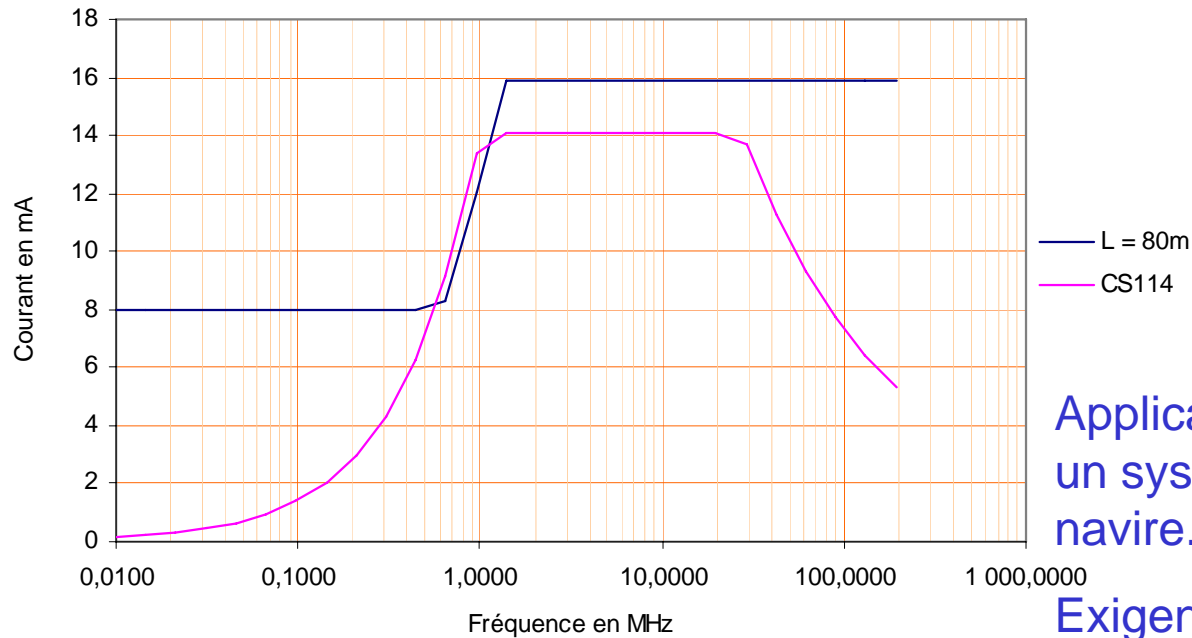
JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

COMPARAISON MODÉLISATION ET NORMALISATION

CS 114

courant de gaine induit



Application sur un câble de 80m dans un système installé sous un pont de navire.

Exigence RS 103

10V/m de 0.01 à 1000 MHz

Hauteur moyenne du câble :

10cm / masse.

MIL STD 461E

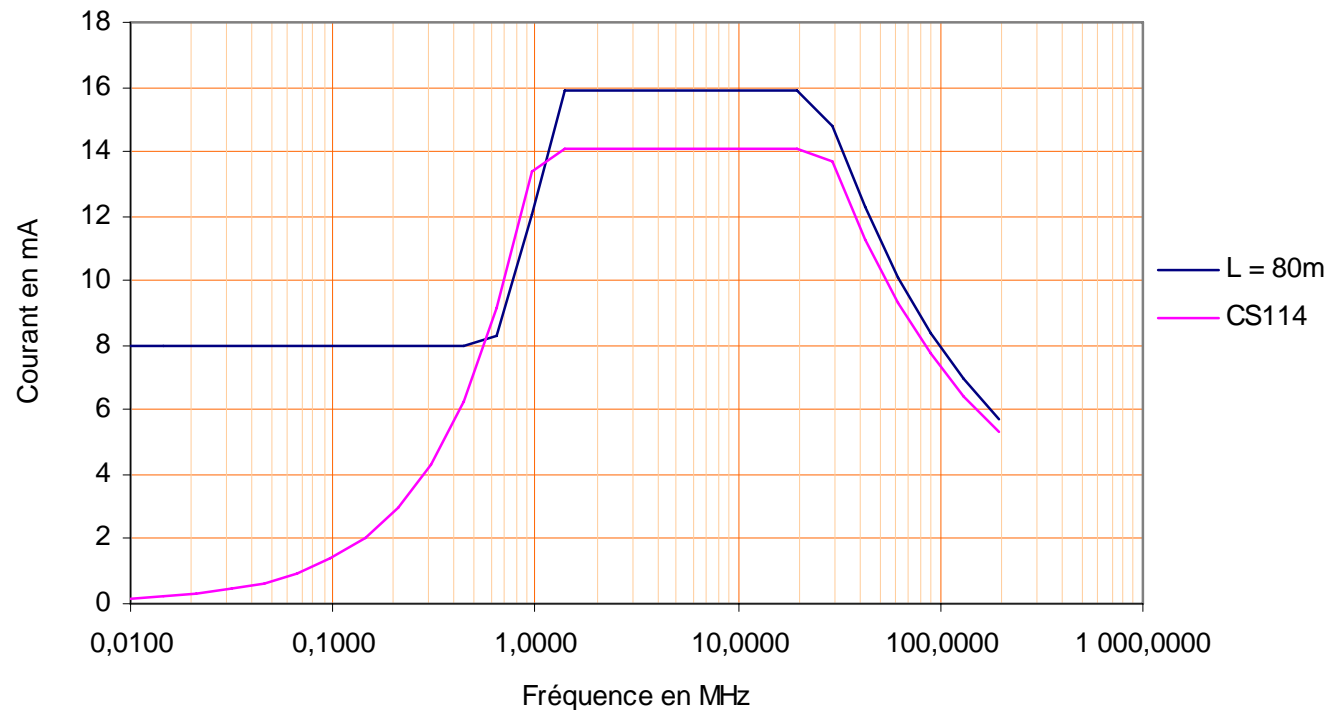


COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

COMPARAISON MODELISATION ET NORMALISATION

Prise en compte de l'effet de peau

courant de gaine induit



Conclusion: L'exigence de BCI suppose un câblage d'une hauteur moyenne de 10cm au dessus des masses ce qui correspond à une installation moyenne.



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

JOURNEES CEM HYPER 2007

28 mars 2007

COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

COMPARAISON MODÉLISATION ET NORMALISATION



Un réel effort de plaquer les câbles sur les masses est réalisé:

Goulottes conductrices type dalle marine

Masses suiveuses etc...



Ici le câblage ne suit pas une telle contrainte:

Goulottes type « Cablofil »

Câbles mis à la masse par des fils longs

Câblage loin des masses

Pourtant, selon la norme, ils sont soumis au même niveau d'injection de courant

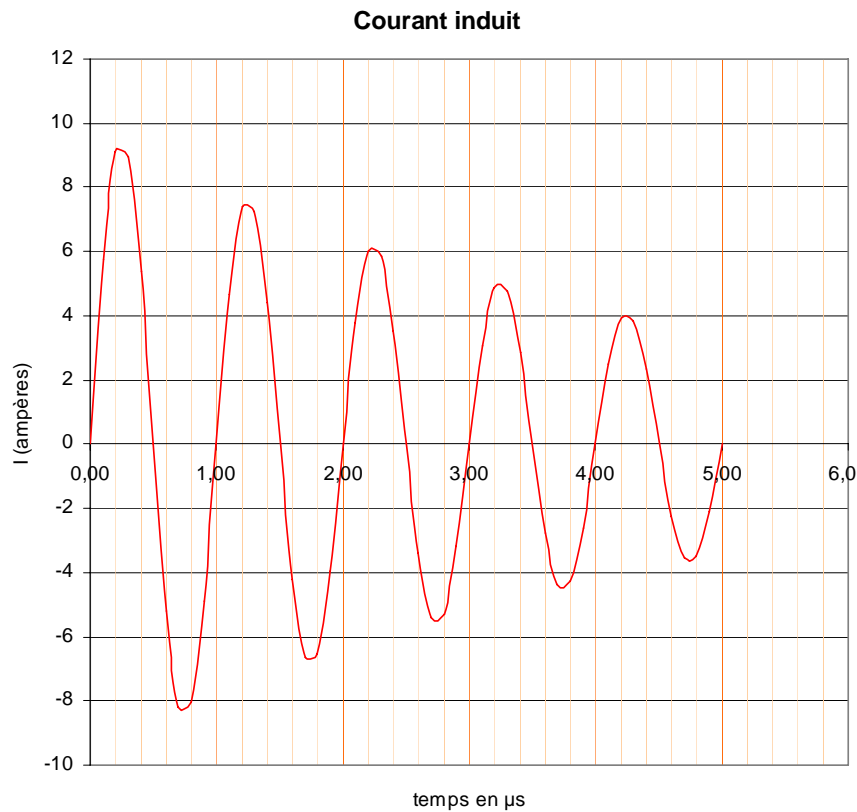


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

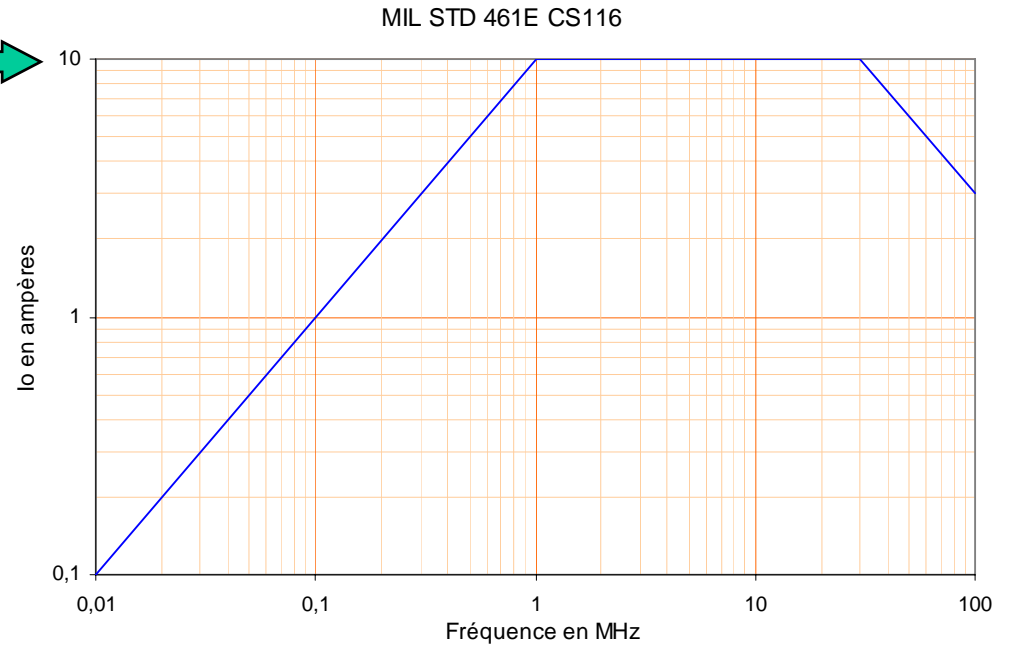
COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

COMPARAISON MODÉLISATION ET NORMALISATION

CS 116



$$i(t) = I_0 * e^{\frac{-\pi ft}{Q}} * \sin(2\pi ft)$$



Le courant est proportionnel au champ

Un courant de 10A correspond à un champ d'environ 6 250 V/m,

soit pour un Radar distant de 30m seulement du système une PAR de 12 000 MW!!

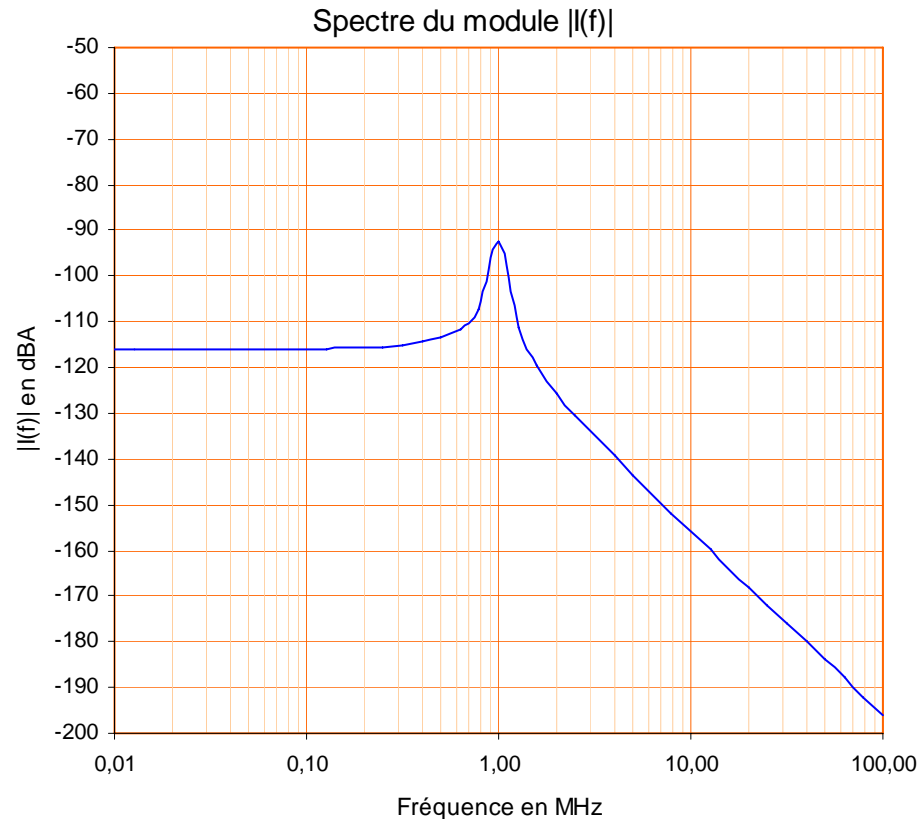


JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

COMPARAISON MODÉLISATION ET NORMALISATION

CS 116



On obtient la transformée de la tension induite sur les terminaux en multipliant cette fonction par l'impédance de transfert du câble blindé et sa longueur équivalente.

Transformée de fourrier d'un courant en forme d'une pseudo sinusoïde



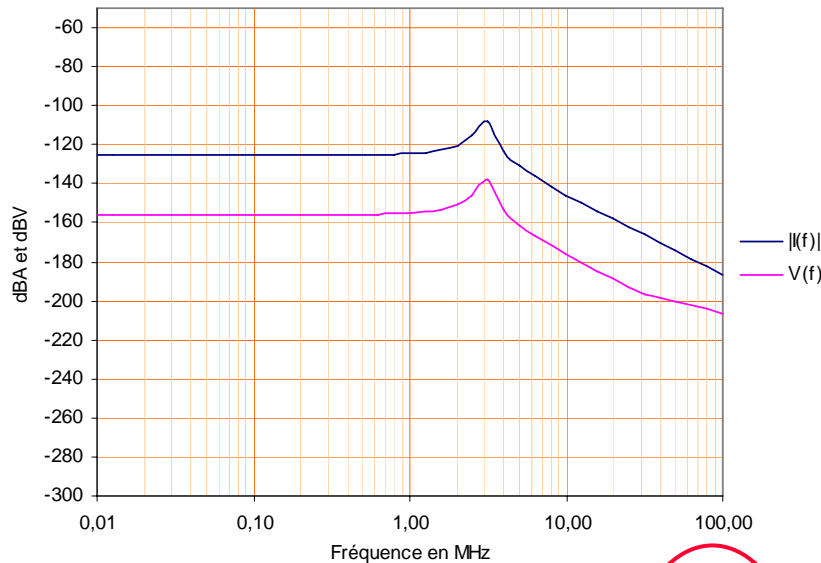
COMPARAISON DES EXIGENCES DE SUSCEPTIBILITE RAYONNEMENT / CONDUCTION

JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COMPARAISON MODÉLISATION ET NORMALISATION

CS 116

Spectre du courant et de la tension



On constate que la tension induite sur les terminaux reliés par des câbles blindés à un spectre comparable au courant induit

F en MHz	Longueur équivalente			I ₀ Ampères	Z _t Ohms/m	Tension induite en dBV			durée en µs
	L=3m	L=10m	L=30m			L=3m	L=10m	L=30m	
0,01	3	10	30	0,1	0,003	-62	-51	-42	500,00
0,1	3	10	30	1	0,003	-42	-31	-22	50,00
1	3	10	30	10	0,003	-22	-11	-2	5,00
10	3	10	15	10	0,003	-22	-11	-8	0,50
30	3	5	5	10	0,003	-22	-17	-17	0,17
100	1,5	1,5	1,5	3	0,01	-28	-28	-28	0,05

Blindage double tresse

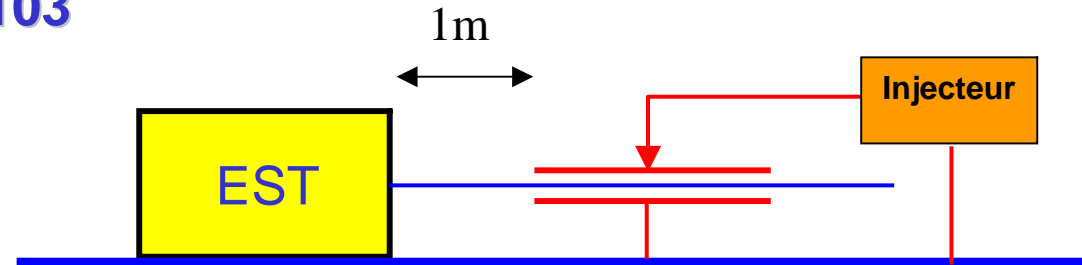
Enfin, c'est cette exigence qui conditionne le choix du blindage des câbles du système



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

COMPARAISON AVEC LE TEST CE 61000-4-4

CS 114, CS 116, RS 103



La pince forme avec le câble une capacité d'environ 180 pF

Le câble de 1m une self d'environ 1 μ H

L'injection crée une tension en double exponentielle de temps de montée 5ns, de durée 50 ns et d'amplitude de 1000V.

En utilisant la méthode de la fréquence équivalente, on estime le courant maximum induit à 1,8 A, pour une pseudo fréquence de 64 MHz.

Conclusion: champ E 10V/m => I câble environ 15 mA (RS103, CS 114)

I Câble environ 5A (CS 116)

I Câble environ 1,8 A (61000-4-4)



JEANNOLLE Joël
Cabinet d'étude en
ELECTROMAGNETISME

CONCLUSIONS

- ✓ Les exigences de susceptibilités en rayonnement et en courant induits représentent en fait le même phénomène. Ils doivent être cohérents.
- ✓ On peut estimer entre 1,5 et 2 mA/ V/m les courants induits au maximum sur le câblage d'un système.
- ✓ Si la hauteur moyenne du câblage / à la masse est inférieure à 10cm, ce courant est encore réduit.
- ✓ Il semble que les normes MIL supposent une hauteur moyenne du câblage environ 10cm au dessus des masses. En conséquence plaquer au mieux les câbles sur les masses permet de respecter plus facilement le rayonné que l'induit.
- ✓ Les exigences de la CS 116 surdimensionnent le blindage des câbles. Cela à un coût.
- ✓ Les exigences CEM d'un système ne sont pas une compilation des exigences CEM civiles et militaires. Elles doivent être réfléchies. Elles doivent être discutées.
- ✓ Les conséquences sur les coûts peuvent être importantes.