

# Incohérence des niveaux d'émissions conduite et rayonnée en CEM

Michel MARDIGUIAN - [m.mardiguan@orange.fr](mailto:m.mardiguan@orange.fr)

# MAUVAISE COHÉRENCE DES LIMITES D'EMISSIONS CONDUITE / RAYONNÉE

Toutes les normes (Mil. ou civiles) réglementant les émissions parasites comportent des mesures:

- des émissions conduites par l'EST :
  - sur câbles d'alimentation (toujours)
  - sur câbles signaux (souvent)
- des émissions rayonnées par l'EST et ses câbles :

Les limites d'émissions conduites protègent, en principe, les autres équipements raccordés au même réseau ou récepteurs radio de façon à :

- ne pas risquer de les perturber, ou
- ne pas les rendre à leur tour « perturbateurs secondaires ».

## Où donc est le problème ?

Pourtant les câbles d'interconnexions sont aussi des antennes fortuites redoutables, surtout dans la plage 30 MHz à 300MHz (soit  $\lambda = 10$  m à 1 m).

L'on s'attendrait donc à une certaine **cohérence** entre les **courants HF maximum permis** sur les câbles, et les **champs maximum autorisés** pour l'équipement complet.

**L'on va voir qu'il n'en est rien...**

# BASE DE COMPARAISON :

## Essais types DO-160 ou automobile.

\* Note : La Mil-Std461 a été exclue de la comparaison. Motif : depuis la rev. D, la Mil-Std a supprimé les mesures CE sur les câbles signaux (!) et arrête les mesures CE sur câbles d'alimentation à 10MHz (!!).

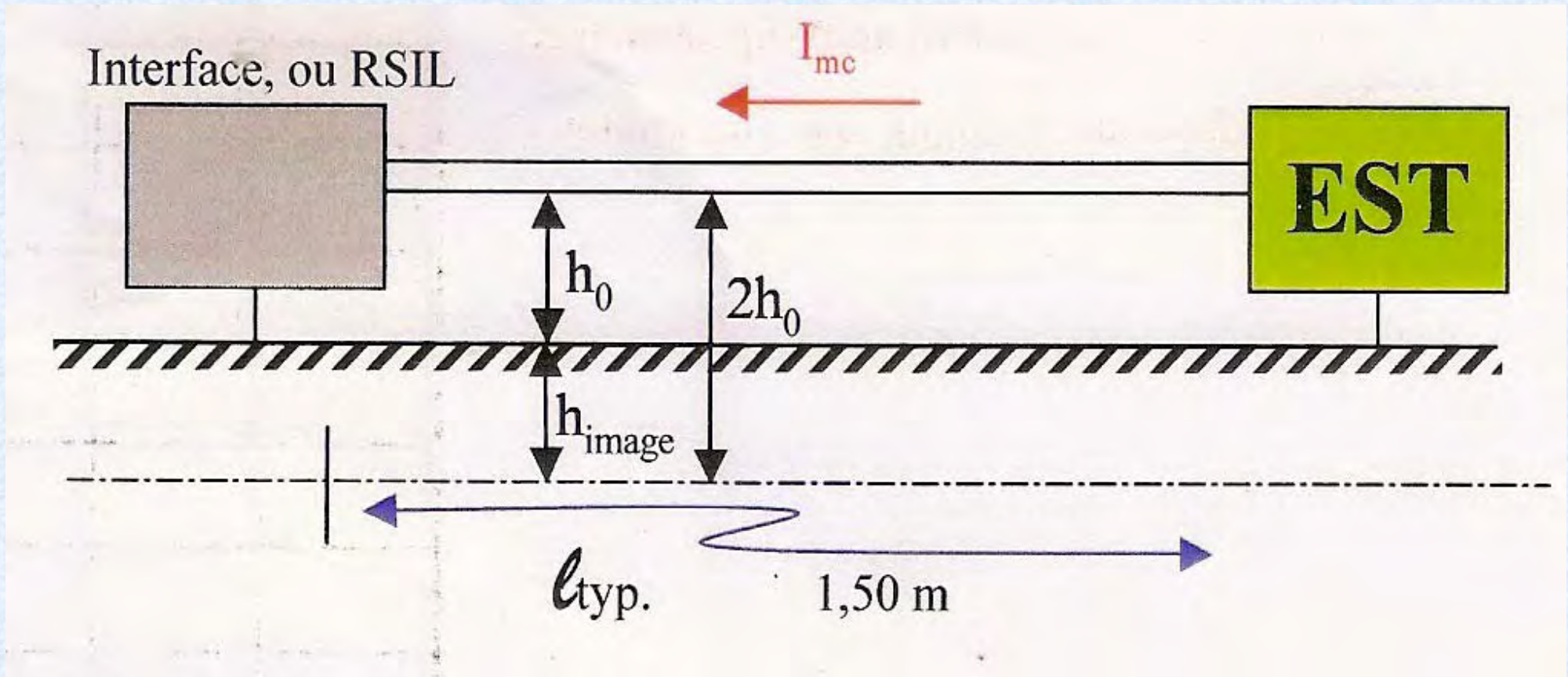
On part de l'estimation du champ rayonné par un câble rectiligne à 5 cm au-dessus d'un plan de masse, porteur d'un courant de mode commun  $I_{mc}$ .

2 modèles simples : modèle boucle et modèle du fil rayonnant.

### Hypothèses :

- Distance de mesure câble-antenne : 1m, réflexion sur le sol négligeable.
- Les conditions de champ lointain existent pour  $F > 50\text{MHz}$ .
- Longueur exposée du câble de l'EST: 1,50 m à 2 m (DO-160).
- Pour  $F > 40\text{MHz}$ , le câble a dépassé  $\lambda/4$ , donc le champ E ne dépend plus de la longueur physique «  $\ell$  ».

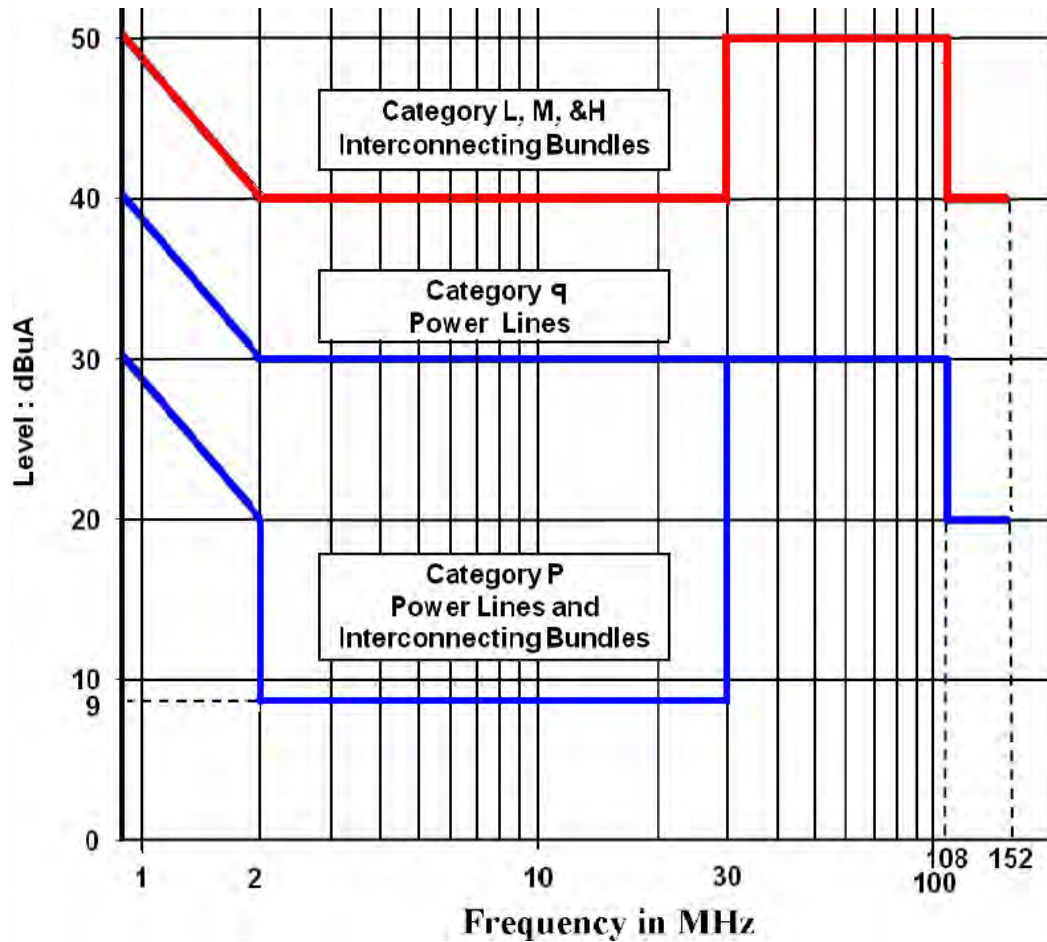
# Rayonnement d'un câble au-dessus d'un plan de masse



Dans les limites de ces hypothèses, les deux modèles donnent (à +/- 1 dB) la même relation approchée (de 40 à 600 MHz) :

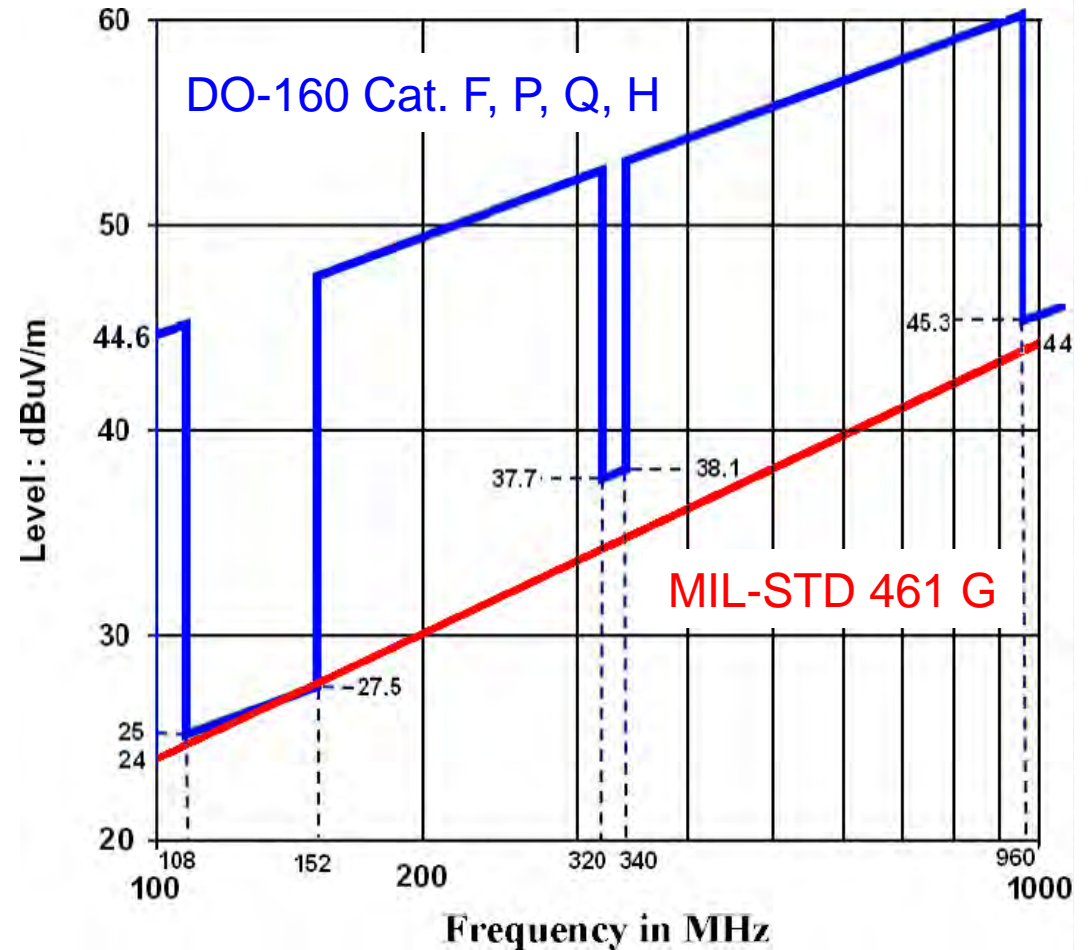
$$E(\text{dB}_{\text{uV/m}}) = 20 \text{ Log}_{10} I_{\mu\text{A}} + 20 \text{ Log}_{10} F_{\text{MHz}} - 21 \text{ dB}$$

# Limites en conduction et en rayonnement



Limites des émissions conduites

DO-160 G section 21



Limites des émissions rayonnées

DO-160 section 21 et MIL-STD 461

# Comparaison des niveaux DO-160 et MIL-STD

**Table 1.** Champ rayonné par un câble interco juste conforme à la limite H en conduction comparé aux limites F, P, Q ou H d'émission rayonnée :

| Fréquence (MHz)                        | 50        | 100       | 150         | 200         |
|--|-----------|-----------|-------------|-------------|
| $I_{\text{limite DO160}}$ (dB $\mu$ A) | 50        | 50        | 40          | (40)        |
| <b>Calcul E</b> (dB $\mu$ V/m)         | <b>63</b> | <b>69</b> | <b>62.5</b> | <b>(65)</b> |
| Limite DO160 (dB $\mu$ V/m)            | ***       | 44.5      | 27.5        | 49          |
| $\Delta$ (dB) Dépassement DO160        | ***       | 24.5      | <b>35</b>   | <b>16</b>   |
| $\Delta$ (dB) / Mil-Std 461 RE102      | <b>39</b> | <b>45</b> | <b>35</b>   | <b>35</b>   |

**Table 2.** Limites de courant de M-Commun qui devraient être imposées (ou vérifiées en préqualif.) sur n'importe quel câble :

| Fréquence (MHz)                  | 50        | 100      | 150      | 200      |
|----------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| $I_{\text{MAX mc}}$ (sans marge) |           |          |          |          |
| Pour DO160 (dB $\mu$ A):         | ***       | 25.5     | <b>5</b> | 24       |
| Pour Mil-Std 461 RE102:          | <b>11</b> | <b>5</b> | <b>5</b> | <b>5</b> |

# Cas des normes civiles (CISPR 11, 22 ou 32)

Les normes civiles, pour leur partie « Emission », présentent les particularités :

- De n'imposer des limites en émissions conduites que jusqu'à 30MHz.
  - D'avoir des limites rayonnées qui ne commencent qu'à 30 MHz.
- Il n'y a pas de plage de fréquence de recouvrement.

On peut toutefois faire une comparaison à 30MHz - fin des limites conduites et début des limites rayonnées - en s'intéressant aux exigences les plus sévères en détection quasi-crête (Classe B, « résidentiel ») :

a) limite pour conduction en fin de bande (5 à 30MHz) :

- **60dB $\mu$ V** sur chaque fil d'alimentation (Ph ou N par exemple),

Converti en courant dans le RSIL 50 $\Omega$  :  $60 \text{ dB}\mu\text{V} - 34 \text{ dB}\Omega = 26 \text{ dB}\mu\text{A}$

soit pour l'ensemble des 2 fils, courant de MC total admissible = **32 dB $\mu$ A**

b) limite rayonnée CISPR 22 ou 32, classe B, en début de bande (30MHz):

- **30dB $\mu$ V/m à 10m**

Pour tenir cette limite dans le pire cas: appareil sur table, longueur de câble exposée  $\geq 1\text{m}50$ , avec addition de l'onde réfléchiée, il faut que le courant que sur le câble ne dépasse pas :  **$I_{mc} = 3\mu\text{A}$**  (soit  **$\leq 10 \text{ dB}\mu\text{A}$** ) vers 30 MHz (et jusque 230 MHz).



# Comparaison des niveaux civils sur câble d'alimentation

En supposant un EST satisfaisant tout juste les limites d'émission conduites, le dépassement en émission rayonnées peut atteindre :

- Pour un câble monophasé **sans conducteur PE** :  $32 \text{ dB}\mu\text{A} - 10 \text{ dB}\mu\text{A} = \mathbf{22 \text{ dB}}$

Un conducteur PE réduit l'émission rayonnée de 10 à 14 dB, soit typiquement 12 dB.

- Pour un câble monophasé **avec conducteur PE** :  $22 \text{ dB} - 12 \text{ dB} = \mathbf{10 \text{ dB}}$

Ceci pour un brouillage Bande Etroite vers 30 MHz.

Si le spectre émis par l'EST vers 30MHz est de type Bande Large :

La mesure rayonnée est faite dans une B.P. de 120kHz, la comparaison doit inclure une correction de bande, les mesures conduites étant stipulées dans une B.P. de 9kHz.

Le dépassement en rayonné vis-à-vis d'une perturbation bande large devient alors :

- Si le bruit est **incohérent** (tel celui de la plupart des alimentations à découpage) :

Correction supplémentaire :  $10 \log_{10} (120 / 9) : \mathbf{+ 11 \text{ dB}}$

- Si le bruit est **cohérent** (type impulsions répétitives, heureusement rares).

Correction supplémentaire :  $20 \log_{10} (120 / 9) : \mathbf{+ 22 \text{ dB}}$

# Comparaison des niveaux civils sur câble réseau

Le niveau de courant maximal en conduction à 30 MHz mesuré à la sonde de courant sur un câble réseau en MC (« asymétrique ») en CISPR 22 ou CISPR 32 = **30 dB $\mu$ A**.

Dans ce cas, il n'y a aucun effet réducteur.

- Dépassement en BE sur câble réseau :  $30 \text{ dB}_{\mu\text{A}} - 10 \text{ dB}_{\mu\text{A}} = \mathbf{20 \text{ dB} !}$
- Dépassement en BL incohérent :  $20 \text{ dB} + 11 \text{ dB} = \mathbf{31 \text{ dB} !!}$
- Dépassement en BL cohérent (rare) :  $20 \text{ dB} + 22 \text{ dB} = \mathbf{42 \text{ dB} !!!}$

# CONCLUSION

Les **limites conduites** pour applications embarquées (DO-160, Mil-Std, AECTP ou automobile), quand elles existent pour  $F \geq 30\text{MHz}$ , ne garantissent nullement que le matériel satisfera les **limites rayonnées** (RE).

**Bien au contraire, elles garantissent qu'il ne les satisfera pas !**

- Un équipement juste conforme aux limites conduites sur câbles d'interco ou toron peut dépasser de **35 dB** les limites rayonnées de la **DO-160** (de 108 à 152 MHz).
- Même les limites sur **câble d'alimentation, pourtant 20 dB plus sévères**, restent insuffisantes pour garantir une conformité à la mesure de RE.

La même remarque s'applique aux limites conduites CISPR 11, 22 ou 32 vers 30 MHz.

C'est donc rendre un bien mauvais service aux concepteurs/développeurs que de leur laisser croire (« Ouf, au moins nous sommes bons en émissions conduites ... »), ou que la conformité en conduction est un brevet de bonne CEM quant aux E/S câblées.

Pire encore : La Mil Std 461 a purement supprimé à partir de l'indice « D » les essais d'émissions conduites sur les câbles signaux (l'AECTP-500 / OTAN les a conservées). Quant aux mesures sur les câbles d'alimentation, elles ont été stoppées à 10 MHz !...

# SUGGESTIONS

- Lorsqu'elles existent, renforcer la sévérité des limites d'émission conduites à partir de 30MHz, pour les aligner sur 5 - 10 dB $\mu$ A, de façon à garantir que les câbles ne seront pas des contributeurs à un dépassement de limites RE.
- Rétablir des limites conduites des normes où elles ont été supprimées.
- A défaut, pratiquer systématiquement sur table ces mesures en développement / préqualification : elles sont rapides et très efficaces !