

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

● GENERALITES

La Compatibilité ElectroMagnétique (C.E.M.) est l'aptitude d'un équipement à fonctionner dans son environnement électromagnétique sans être perturbé, et sans perturber des équipements voisins ou des services radio-électriques.

La C.E.M. est une nécessité pour le fonctionnement satisfaisant de tous les systèmes, équipements et sous-ensembles d'une installation. Depuis longtemps, elle est imposée par cahier des charges dans toutes les applications militaires, spatiales, etc...

Dans le domaine civil, elle est obligatoire en Europe depuis 1996, ainsi que dans bon nombre de pays industrialisés. Vendre un produit non conforme est illégal et passible de lourdes sanctions.

● LA CEM : POURQUOI ? COMMENT ?

Si la C.E.M. est ignorée, ou incorrectement traitée, les conséquences peuvent aller d'une simple nuisance à une grave interruption de service, voire des dommages sérieux aux biens ou aux personnes. Les simples gênes sont, par exemple, celles d'un parasitage sur la radio, la TV ou un téléphone, un taux d'erreurs excessif sur un bus numérique, un rapport signal/bruit dégradé sur une chaîne analogique, des ratés sur un allumage électronique d'automobile, etc...

Dans la liste des incidents graves, qui malheureusement s'allonge, on peut citer le blocage complet d'un processus de fabrication industriel, la manœuvre involontaire d'un pont roulant ou d'un robot dans un hall d'usine, l'impossibilité de basculer de normal à secours le réseau électrique d'un hôpital entier, la destruction d'un système par les effets indirects de la foudre, la mise à feu inopinée d'un dispositif pyrotechnique, voire d'un missile, etc...

Enfin, un secteur particulier, l'anti-compromission (baptisé TEMPEST par les Anglo-Saxons) concerne la défense contre l'espionnage ou le piratage électronique par la capture de signaux électromagnétiques, conduits ou rayonnés.

● GENERALITIES

ElectroMagnetic Compatibility (E.M.C.) is the ability of an equipment to operate in its electromagnetic environment without being disturbed, and without disturbing neighbour equipments or radio services by ElectroMagnetic Interference (E.M.I.).

E.M.C. is a necessity for a satisfactory performance of all systems, equipments and sub-assemblies sharing a same site. For long, E.M.C. compliance has been required in the purchasing specifications of all military and aerospace equipment. In the civilian world, E.M.C. is a legal, since 1996 mandatory requirement for any equipment to be marketed in Europe as well as in most industrialized countries. Selling non-compliant equipment is against the law and can lead to severe penalties.

● EMC : WHY ? HOW ?

If E.M.C. is ignored, or uncorrectly applied, consequences can stretch anywhere from a mere nuisance to a severe service interruption, or even serious damage to installations or to people. Simple nuisances can be, for instance, a discernable interference on radio, TV or telephone, an excessive bit error rate in a data transmission, a degraded S/N ratio in an analog instrument, misfirings in an automobile electronic ignition, etc...

In the list of catastrophic E.M.I. episodes, which unfortunately is getting longer, we can mention the crashdown of large industrial process controls, the unwanted maneuvering of a crane or a manufacturing line robot, the aborted switchover of a power distribution to the emergency power source of an entire hospital, the destruction of a system by the indirect effects of lightning, the unadvertant firing of electro-explosive devices, or even missiles, etc...

Finally, a very specific domain is electronic eavesdropping (termed TEMPEST by the Anglo-Saxon), where sensitive, confidential data must be protected from unauthorized capture by conducted or radiated emissions pick-up.

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Une bonne C.E.M. dicte que chaque équipement ne soit ni perturbateur, ni perturbé. Cette cohabitation implique des précautions pour maîtriser à la fois les **émissions** électromagnétiques des appareils et leur **susceptibilité** aux perturbations ambiantes.

Comme il n'est pas économiquement et techniquement réaliste de construire des équipements qui n'émettent rien et qui résistent à tout, il existe des règles, sous forme de limites standards, qui permettent de gérer les cohabitations en fonction des principales catégories d'environnement.

Ces limites régissent :

- les émissions de signaux indésirables par conduction et rayonnement,
- l'immunité à des perturbations reçues par conduction et rayonnement.

● LES SOURCES

Les sources de perturbations électromagnétiques sont nombreuses. Certaines sont d'origine naturelle : foudre et décharges électrostatiques. Le plus grand nombre est d'origine artificielle. Parmi elles, certaines font inévitablement partie de l'environnement, elles sont licites et on ne peut les empêcher de générer des émissions HF :

- Emetteurs hertziens (radio, TV, radio-navigations, radars, radio-téléphones, etc...),
- Appareils HF industriels, scientifiques ou médicaux.

D'autres appareils n'ont pas pour principe l'émission d'énergie HF, mais leur fonctionnement en génère inévitablement :

- circuits numériques, microprocesseurs..., principalement par leurs horloges,
- convertisseurs à découpage, gradateurs et variateurs de vitesse,
- oscillateur local d'un récepteur radio,
- allumage des véhicules,
- soudure à l'arc,
- tubes à décharge (néons, fluos, flashes),
- composants électromécaniques (relais, moteurs, contacts secs, etc...).

*A sound E.M.C. understanding dictates that no equipment should be a source, or a victim, of electromagnetic disturbances. This cohabitation implies some precautions to control both the electromagnetic **emissions** of equipments and their **susceptibility** to ambient threats. Since it is not realistic, technically or economically, to construct equipments which would emit nothing and be resistant to everything, rules have been set, in form of standard limits which allow to manage the cohabitation of many equipments in certain categories of environments.*

These limits are controlling :

- the undesired signals emitted by conduction and radiation,*
- the immunity to received disturbances, by conduction or radiation.*

● THE SOURCES

E.M.I. sources are countless. Some are of natural origin, like lightning or electrostatic discharges. The largest number is of artificial origin. Among these, some are unavoidable players in our environment, they are licit and cannot be prevented from generating HF :

- Radio transmitters of all kinds (broadcasts, TV, radio-navigations, radars, radio-telephones, etc ...),*
- Industrial, scientific or medical equipments which use HF for their very purpose.*

Other sources do not intend to transmit HF, but their functioning results in the generation of undesirable HF emissions :

- digital circuits, microprocessors..., mostly by their fast clocks,*
- switch-mode power converters, light dimmers and variable speed drives,*
- local oscillator in radio receivers tuning circuit,*
- engine ignition,*
- arc welders,*
- gas discharge tubes,*
- electromechanical devices (switches, commutators, solenoids, relays, etc...).*

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

● POURQUOI UN BLINDAGE ?

Intuitivement, on conçoit qu'un équipement enfermé dans un caisson métallique intégral sans la moindre fuite, ne soit ni émetteur, ni susceptible. Heureusement, ce concept de cage de Faraday quasi-parfaite est rarement indispensable. Pour la plupart des équipements électroniques, la C.E.M. peut être satisfaite grâce à des réalisations de blindage plus modestes.

Selon l'application et l'environnement visés, on peut utiliser des techniques de blindage pour :

- atténuer le champ électromagnétique émis par un appareil afin de le rendre conforme aux normes d'émission rayonnée,
- atténuer le champ électromagnétique ambiant reçu par les circuits internes de l'appareil, pour le rendre conforme aux normes d'immunité rayonnée,
- réaliser un écran autour d'un câblage,
- améliorer la continuité électrique entre les blindages de câble et le châssis d'un appareil de façon à ce que ces câbles blindés jouent pleinement leur rôle,
- améliorer la continuité électrique et l'équipotentialité des masses d'un système ou d'un site, sans nécessairement viser un confinement sur six faces.

● FONCTIONNEMENT ET EFFICACITÉ D'UN BLINDAGE

Lorsqu'un champ électromagnétique, évalué par sa composante électrique E_i , rencontre une barrière conductrice (**fig. 1**), une partie E_r est réfléchie et repart en arrière.

La portion qui pénètre dans l'épaisseur de la paroi (en général, un métal) subit une certaine absorption qui dépend de la nature du matériau et de l'épaisseur traversée. A l'émergence (second dioptré), une nouvelle réflexion a lieu et un résidu E_s apparaît de l'autre côté.

Rigoureusement, l'Efficacité de Blindage EB est le rapport entre le champ qui règnerait dans la région ② si le blindage n'était pas là, et celui qui subsiste après la pose du blindage.

● WHY A SHIELD ?

Intuitively, one might conceive that an equipment which is enclosed in an integral metallic vault, without any leakage, will neither be an emitter or a victim. Hopefully, this concept of a quasi-perfect Faraday cage is seldom necessary. For most electronic equipments of today, E.M.C. can be achieved with more practical and modest shielding hardware.

Depending on the application and the intended environment, shielding techniques can be used for :

- *reducing the electromagnetic field emitted by an equipment, to make it compliant with the radiated emission norms,*
- *reducing the ambient electromagnetic field received by the circuits inside an equipment, to make it compliant with the radiated immunity norms,*
- *building a screen around a cable pair or bundle,*
- *improving the electrical continuity between cable shields and equipment chassis, to facilitate the shield current circulation and optimize the shield performance,*
- *improving the electrical continuity and equipotentiality of the different ground references, chassis and metallic parts of a given system or site, without necessarily resorting to a six-sided enclosure.*

● SHIELD PERFORMANCE AND EFFICIENCY

*When an electromagnetic field, characterized by its electrical component E_i , strikes a conductive barrier (**fig. 1**), part of it E_r is reflected back.*

The remaining portion which penetrates the wall thickness (in general, metallic) will go through an absorption, which depends on the type of material and its thickness. At the emerging metal-to-air interface, a new reflection takes place and finally a residue E_s appears on the other side.

Strictly speaking, the Shielding Efficiency SE is the ratio of the field that would exist in region ② if the shield was not there, to the remaining field once the shield is installed.

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Très souvent, cette mesure rigoureuse n'est pas praticable et on utilise l'approximation :

$$EB = \frac{\text{champ dans la région } \textcircled{1}}{\text{champ dans la région } \textcircled{2}}$$

soit, d'après la figure 1 : $EB = \frac{E_i}{E_s}$

Parfois même, on la mesure comme le rapport entre le champ dans une enceinte "portes ouvertes" puis "portes fermées". Ces deux extrapolations peuvent amener des différences importantes par rapport à la stricte définition : l'on s'en accomode dans la mesure où tout le monde pratique une méthode identique, et que les résultats restent relativement comparables.

Le décibel est universellement utilisé comme mesure de l'efficacité de blindage, soit :

$$EB \text{ (dB)} = 20 \text{ Log} \left(\frac{E_i}{E_s} \right)$$

On peut éventuellement, en champ proche, s'intéresser à la composante magnétique **H** et définir :

$$EB \text{ (dB) magnétique} = 20 \text{ Log} \left(\frac{H_i}{H_s} \right)$$

Le **EB** en dB correspond donc en champ, aux proportions suivantes :

EB / SE (dB)	% champ transmis % transmitted field	% champ non transmis % not transmitted field
0	100 %	0 %
10	31 %	69 %
20	10 %	90 %
40	1 %	99 %
60	0.1 %	99,9 %

On a vu (**Figure 1**) que l'efficacité de blindage est le cumul d'une **perte par réflexion** (ou plus exactement d'une non-transmission), et d'une **perte par absorption**.

La **réflexion R** est liée à la désadaptation de l'onde électromagnétique rencontrant un changement abrupt de milieu (dioptre), exactement comme la manifestation optique du même phénomène. La réflexion dépend donc de l'impédance de surface **Zb** du matériau, et de l'impédance d'onde **Zch** du champ incident définie comme le rapport :

$$Z_{ch} \text{ (}\Omega\text{)} = \frac{E \text{ (V/m)}}{H \text{ (A/m)}}$$

Quite often, this formal measurement is not practical and the following approximation is used instead :

$$SE = \frac{\text{field in region } \textcircled{1}}{\text{field in region } \textcircled{2}}$$

that is, from Fig.1 : $SE = \frac{E_i}{E_s}$

Sometimes, it is even measured as the ratio of the field inside the enclosure "doors opened", to the field with "doors closed". The two above extrapolations can result in significant variations vs the strict definition : if we accomodate them and everybody uses identical method, the results remain comparable in relative terms.

The decibel is a universal measure for shielding effectiveness, i.e. :

$$SE \text{ (dB)} = 20 \text{ Log} \left(\frac{E_i}{E_s} \right)$$

One might eventually, in near field, be concerned by the magnetic field **H** performance :

$$SE \text{ (dB) magnetic} = 20 \text{ Log} \left(\frac{H_i}{H_s} \right)$$

SE in dB corresponds, in terms of field, to the following proportions :

We have seen (**Fig.1**), that shielding effectiveness is the addition of a **reflection loss** and an **absorption loss**.

The **reflection R** is related to the impedance mismatch of the electromagnetic wave meeting an abrupt change of media (air to metal interface), exactly like the optical manifestation of the same phenomena. So, reflection depends on the surface impedance **Zb** of the metal barrier, and the wave impedance **Zw** of the incident field, where **Zw** is defined as the ratio :

$$Z_w \text{ (}\Omega\text{)} = \frac{E \text{ (V/m)}}{H \text{ (A/m)}}$$

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Cette impédance d'onde vaut 377Ω lorsque le blindage se trouve à plusieurs longueurs d'onde λ de la source émettrice. Lorsqu'il est très proche (par exemple à $\lambda/10$ ou moins) d'une source essentiellement magnétique, l'impédance du champ **Zch** est d'autant plus faible et la perte par réflexion est moins bonne (**Figure 3**).

La seconde contribution à l'efficacité de blindage **EB** est l'**absorption A**, liée à l'effet de peau dans le métal. Le calcul montre que la perte par absorption vaut 8,7dB par épaisseur de peau traversée. Cette épaisseur de l'effet pelliculaire δ dépend de la conductivité et de la perméabilité magnétique du matériau, ainsi que de la fréquence.

L'efficacité de blindage totale **EB** (dB) est donc la somme des deux termes **R** et **A** (dB) dont on voit l'allure sur les **Figures 2 et 3**.

Quelques constantes et formules utiles :

1. Longueur d'onde électromagnétique dans le vide ou l'air :

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{300}{F \text{ (MHz)}}$$

2. Conductivités et perméabilités magnétiques relatives de quelques métaux usuels :
le cuivre $\sigma = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ étant pris comme référence

Matériaux / <i>Materials</i>	conductivité relative <i>relative conductivity</i> σ_r	perméabilité relative <i>relative permeability</i> μ_r
Cuivre / <i>Copper</i>	1	1
Aluminium / <i>Aluminium</i>	0,6	1
Acier ordinaire / <i>Ordinary steel</i>	0,17	300 -700
Monel / <i>Monel</i>	0,07	1
Etain / <i>Tin</i>	0,15	1

3. Pertes par absorption :

$$A \text{ (dB)} = 0,13 \times t \times \sqrt{F \times \sigma_r \times \mu_r}$$

t : épaisseur de la paroi en mm

F : fréquence en Hz

*This wave impedance has a value of 377Ω when the shield is at several wavelengths λ from the radiating source. When the shield is very near (like $\lambda/10$ or less) from a predominantly magnetic source, the **Zw** term is correspondingly smaller and the reflection loss is decreasing (**Fig.3**).*

*The second contribution to **SE** is **absorption A**, related to the skin effect in metal. Calculation shows that absorption loss amounts to 8,7dB per skin depth. The value of this skin depth δ depends on the conductivity and magnetic permeability of the material, and on the frequency.*

*Hence, the total shielding effectiveness **SE** (dB) is the summ of the terms **R** and **A** dB whose values are shown on **Fig. 2 and 3**.*

A few useful constants and formulas :

1. Electromagnetic wave length in free space or air :

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{300}{F \text{ (MHz)}}$$

*2. Relative conductivity and magnetic permeability for few common metals :
copper $\sigma = 1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ is taken as a reference*

3. Absorption loss:

$$A \text{ (dB)} = 0,13 \times t \times \sqrt{F \times \sigma_r \times \mu_r}$$

t : barrier thickness in mm

F : frequency in Hz

● ALTÉRATIONS DANS UN BLINDAGE : OUVERTURES, FENTES ET DISCONTINUITÉS

Les données précédentes supposent que la barrière métallique soit d'étendue quasi-infinie, ou bien une enveloppe parfaite sans la moindre ouverture. En pratique, les équipements sont pourvus d'ouvertures :

- visualisation,
- ventilation,
- passages de câbles, axes, voyants, etc...,
- fentes aux portes & panneaux,
- jointures mécaniques, avec leurs tolérances et espacements de vis.

● SHIELDING ALTERATIONS : OPENINGS, SLOTS AND SEAMS

The previous data were given in assuming that the metal skin was of quasi infinite dimensions, or that there was a continuous envelope without any opening. In real life, equipments do have openings :

- displays,
- cooling,
- cable entries, shafts, indicators, etc...,
- slots around doors & panels,
- mechanical assembly seams, with tolerances and screws spacing.

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Or, la fuite créée par une ouverture s'aggrave avec la fréquence, car elle est liée à la dimension de l'orifice par rapport à la longueur d'onde radio-électrique du champ. Si sa plus grande dimension atteint $\lambda/2$ de la fréquence perturbatrice, l'ouverture se comporte à peu près comme une antenne accordée parfaite et re-rayonne derrière elle toute l'énergie du champ incident. L'efficacité de blindage **EB** de la paroi tombe alors à ≈ 0 dB (100 % du champ est transmis), **quelle que soit la qualité du métal de la paroi**. Ainsi, une fente rectangulaire de 30 cm de long devient pratiquement "transparente" au champ à partir de 500 MHz, et n'offre, dans une tôle mince, que 20 à 30 dB d'atténuation vers 50 MHz (la hauteur de l'ouverture ne joue qu'au second ordre).

Dès que l'on dépasse quelques centaines de KHz, **EB** augmente rapidement avec F, pour le métal plein, alors qu'il diminue avec F pour les ouvertures. L'atténuation d'une paroi est donc essentiellement limitée par celle de ses plus grandes ouvertures.

Une certaine continuité de blindage doit donc être reconstituée au niveau de ces ouvertures. Cette restauration se fait au moyen de treillis, joints conducteurs, doigts de contact-ressort, etc... dont la performance doit être aussi bonne (en fait au moins 10 dB supérieure) que celle attendue du blindage terminé.

EXIGENCES DE BLINDAGE

La performance requise pour un blindage est à la mesure de ce qu'il faut atténuer. On doit donc se poser les questions suivantes :

- quel est le domaine de fréquences concerné ?
- s'agit-il de susceptibilité, l'agression venant de dehors, les circuits victimes étant dedans ? Les exigences de susceptibilité dépendent de l'application (civile ou militaire) et du risque présenté par l'environnement. Le **tableau 1** indique les immunités au champ radio requises par quelques normes essentielles.

Sachant que la susceptibilité (seuil d'apparition de dysfonctionnements pour cartes nues, sans blindage) de circuits électroniques courants est de l'ordre de 0,1 à 1 V/m dans les plages VHF - UHF (30 - 3000 MHz), on en déduit l'atténuation de blindage nécessaire, en prévoyant un facteur de sécurité de 2 à 3 (6 à 10 dB).

*The leakage created by an opening aggravates when frequency increases, since it is linked to the hole dimension compared to the radio-electric wavelength of the field. If the opening largest dimension reaches $\lambda/2$ of the disturbing frequency, the opening behaves practically as a tuned antenna, which re-radiates behind the shield all the incident energy. At this point, the **SE** of the barrier collapses to ≈ 0 dB (100 % of field is transmitted). For instance, a rectangular opening with 30 cm (12") length becomes practically transparent to the E.M. field above 500 MHz, and provides only, with a thin sheet metal, 20-30 dB of attenuation to 50 MHz (the aperture height plays only as second order).*

*As soon as frequency exceeds hundreds of KHz, **SE** increases rapidly with F, for the plain metal, whereas it decreases with F for the openings. The **SE** of a practical enclosure is therefore driven by the attenuation of its largest apertures. Hence, shielding integrity must be restored as much as possible at the openings.*

This is accomplished by screen meshes, conductive gaskets, spring contact fingers, etc..., whose performance must be at least as good as (and preferably ≈ 10 dB better) the global performance expected from the finished enclosure, rack, box, etc...

SHIELDING REQUIREMENTS

The performance required for a shield is commensurate to the amount of field reduction which is needed. The following questions must be answered :

- *what is the frequency domain of concern ?*
- *are we dealing with susceptibility, the threat coming from outside, and the victim inside ? In such case, the immunity requirements depend on the application (civilian or military) and on the environment (residential, commercial, industrial, airborne, shipboard, etc...). The **table 1** provides coarse general values of the required field immunity by the most common specifications. Given that the typical susceptibility of common electronics PCBs - bare boards w/o any shield- is in the range of 0.1 to 1 V/m for the VHF - UHF domain (30 - 3000 MHz), we can easily derive the required **SE**, adding a safety factor of 2 to 3 (6 to 10 dB).*

LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING

c) s'agit-il d'émissions, la source étant dedans et la limite prescrite dehors ? Ce cas est souvent le plus contraignant, car la paroi pourra se trouver en conditions de champ proche d'une source magnétique (impédances de circuits $\ll 377\Omega$), ce qui donnera une réflexion médiocre (**Figure 3**) et des phénomènes de re-réflexions et résonances multiples à l'intérieur. Le **tableau 2** indique les limites de champ rayonné imposées pour quelques applications. Là encore, on sait qu'un ensemble de circuits numériques modernes, avec des fréquences d'horloge toujours supérieures à 20-30 MHz, rayonne en l'absence de toutes précautions C.E.M. (cartes nues, sans plan de cuivre intégral), des champs de l'ordre de 60 à 80 dB μ V/m (2000 à 10000 μ V/m à 1 m de distance). On en déduit l'atténuation de blindage nécessaire.

TABLEAU 1 : Quelques valeurs indicatives de l'immunité requise en champ radio

Types d'environnement / <i>Types of environment</i>	10 - 100 MHz	100 - 1000 MHz
Résidentiel, commercial / <i>Residential, commercial</i>	3 V/m	3 V/m
Industriel / <i>Industrial</i>	10 V/m	10 V/m
Militaire, sévère non protégé <i>Military, severe unprotected</i>	100 -200 V/m	-----> 40 GHz
Automobile & camion / <i>Automobile & truck</i>	30 - 150 V/m	-----> 18 GHz

TABLEAU 2 : Quelques valeurs de limites pour les émissions rayonnées indésirables.

Limites ajustées à une distance de 1 m, pour comparaison

Types d'environnement / <i>Types of environment</i>	30 - 230 MHz	230 - 1000 MHz
Résidentiel, commercial / <i>Residential, commercial</i>	50 dB μ V/m (300 μ V/m)	57 dB μ V/m (700 μ V/m)
Industriel / <i>Industrial</i>	60 dB μ V/m (1000 μ V/m)	67 dB μ V/m (2300 μ V/m)
Militaire, applications sensibles (par ex. avion) <i>Military, sensitive applications (f.inst. airborne)</i>	20 dB μ V/m (10 μ V/m)	30 - 50 dB μ V/m (30 - 300 μ V/m)
Automobile / <i>Automobile</i>	20 - 30 dB μ V/m dans les bandes / <i>in the band waves</i> FM (80-108 MHz) et GSM (420-500, 820-960 MHz)	

- are we dealing with emissions, the source being inside and the prescribed limits outside ? This case is often the most demanding because the shield will be quite often in the near field conditions of a magnetic source (radiating source impedance $\ll 377\Omega$). This will cause a mediocre reflection (see **fig.3** for H field) and multiple bouncing re-reflections and resonances inside. The **table 2** indicates the radiated emission limits required by few typical norms. Here again, we know that a typical modern electronic circuitry with clock frequencies generally above 20-30 MHz would radiate, without any E.M.C. precautions (bare PC boards, no integral ground planes), electric fields of 60 to 80 dB μ V/m (2000 to 10000 μ V/m to 1 m distance). The required **SE** can be easily derived.

TABLE 1 : Some average values of RF Field immunity requirements

TABLE 2 : Some average values of limits for unwanted radiated emissions.

Limits have been adjusted to 1 m distance, for comparison

Michel MARDIGUIAN
Consultant C.E.M.



LE BLINDAGE ELECTROMAGNETIQUE

ELECTROMAGNETIC SHIELDING



Fig. 1 Représentation
Representation

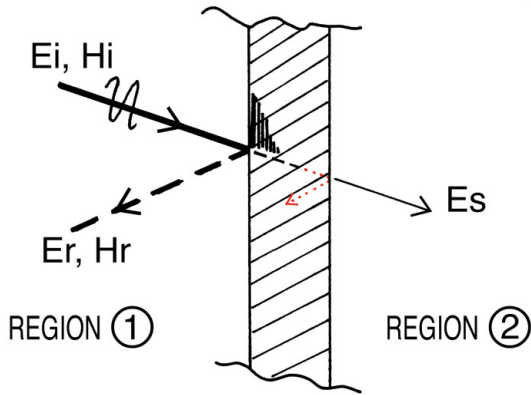


Fig. 2 Pertes par absorption
Absorption loss

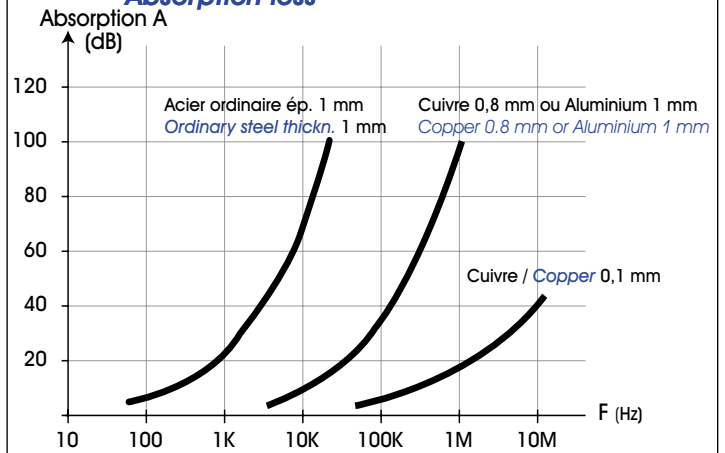


Fig. 3 Pertes par réflexion contre une source en champ lointain, ou champ H proche
Reflection loss for source in far field, or near H-Field

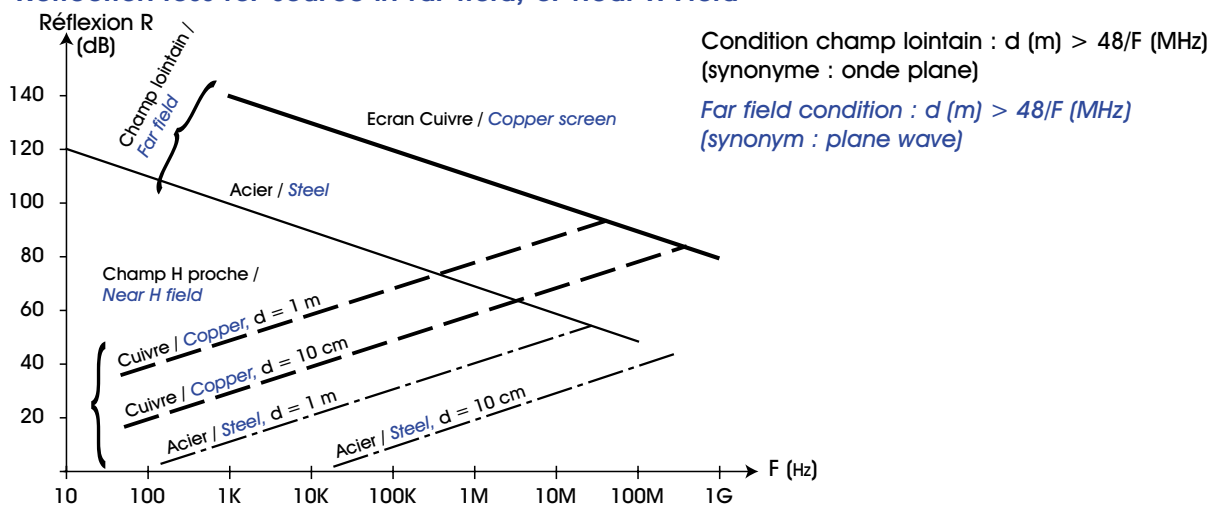


Fig. 4 Atténuations d'une fente nue et munie de joint
Attenuations of a bare slot and a gasketed slot

E_s : Réapparition d'un champ derrière la fente

E_s : Field re-surfacing behind the slot

Atténuation fente nue : $20 \log \left(\frac{E_i}{E_s} \right)$

Bare slot attenuation

$\approx 0 \text{ db}$ quand $L (cm) \geq \frac{15 \cdot 10^3}{F (MHz)}$

0 db when $L (cm) \geq \frac{15 \cdot 10^3}{F (MHz)}$

E_s faible si résistance joint $\ll 377 \Omega$

E_s is small if gasket resistance $\ll 377 \Omega$

E_s proportionnel à : $I_s \times r$

E_s proportional to : $I_s \times r$

