

LA COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Jeudi 27 mars 2014

Intervenant : André COLLIN

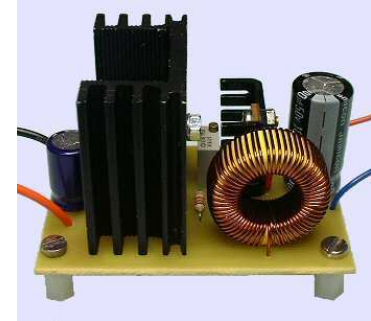
Tél : 06 95 25 89 23

The logo for Aprima, featuring the word "Aprima" in a stylized, cursive script. The letters are black with a pink-to-purple gradient shadow. A horizontal line underlines the text, starting from the left and ending under the 'a'.

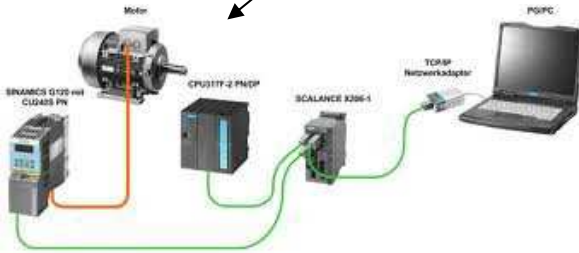
Sommaire

- Qu'est ce que c'est
- Les problèmes C.E.M.
- Types de perturbation
- Les harmoniques
- La terre
- Les masses
- Les régimes de neutre
- Les perturbations
 - Conduites
 - Rayonnées
- Les filtres
- Mise en œuvre et règles de l'art
 - Bâtiment
 - Chainage des masses
 - Blindage, alimentation, câbles et chemin de câble
- Synthèse et conclusion

La CEM



Cohabitation harmonieuse entre des systèmes utilisant
l'énergie électrique



- **Au départ**

Possibilité d'un appareil de fonctionner correctement en présence d'un autre appareil ou d'un parasite externe

Cohabitation lignes fort niveau (EDF, ...) / bas niveau (liaisons informatiques)

- **Par extension**

L'ensemble des techniques qui traitent de ces propriétés

Les perturbations d'énergie E.M.

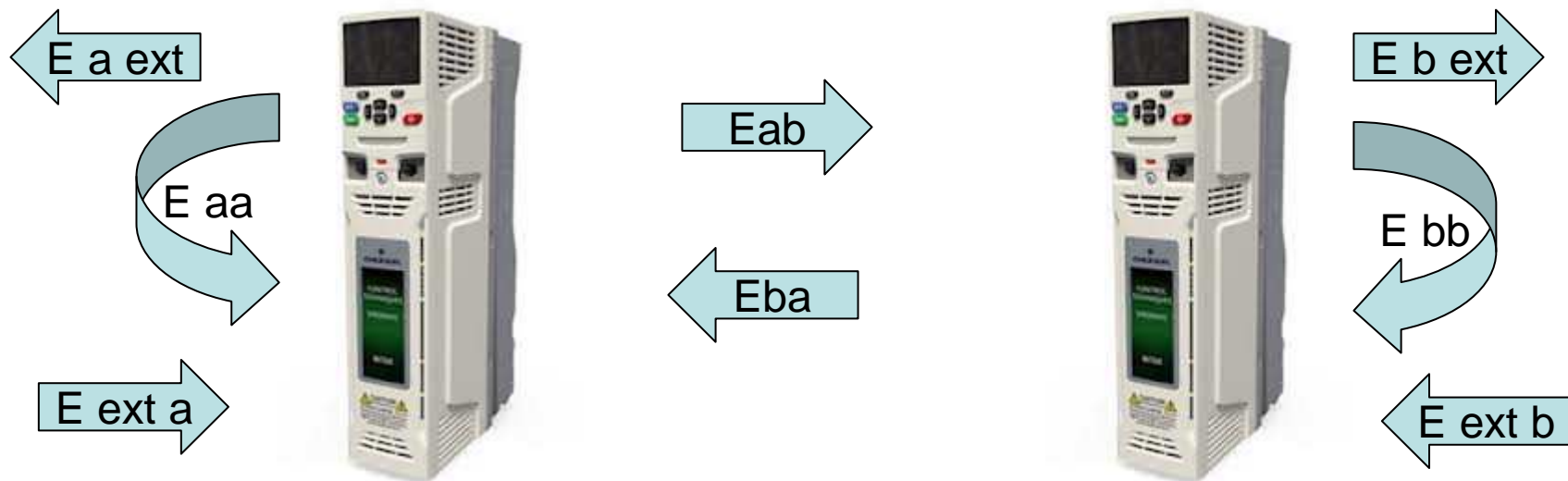
Le moyen de s'en protéger

```
graph TD; A[L'ensemble des techniques qui traitent de ces propriétés] --> B[Les perturbations d'énergie E.M.]; A --> C[Le moyen de s'en protéger]; B --> D([Vaste domaine]); C --> D;
```

Vaste domaine

Autre définition

Aptitude pour un matériel de fonctionner de manière satisfaisante dans son environnement électromagnétique et sans introduire de perturbations intolérables pour l'environnement ou tout autre matériel



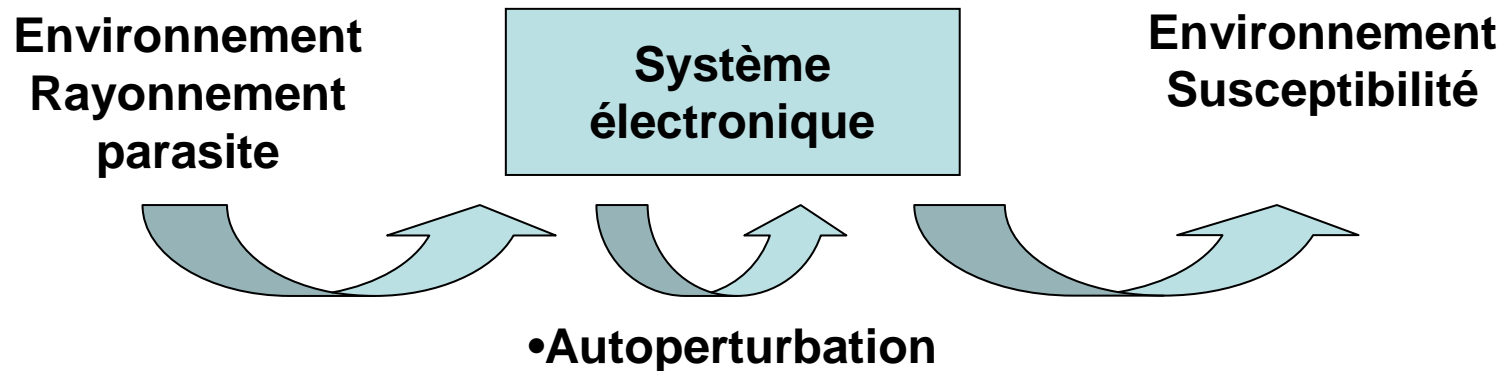
E_{aa} , E_{bb} : autoperturbation

E_{ab} , E_{ba} : perturbation entre systèmes

$E_{\text{ext } b}$ $E_{\text{ext } a}$

$E_{\text{ext } b}$; $E_{b \text{ ext}}$: influence de l'environnement sur le système *(et réciproquement)*

Les problèmes C.E.M.



Accroissement des problèmes C.E.M. liés à :

- L'augmentation du nombre de systèmes électroniques embarqués (*perturbés*) et non embarqués (*perturbateurs*).
- L'augmentation des fréquences d'horloge.
- Intégration accrue des composants.

Quelques définitions C.E.M.

Immunité E.M.

Aptitude d'un équipement à résister à une perturbation E.M.

Niveau d'immunité : valeur maximal d'une perturbation tolérable (N_{in})

Perturbation E.M.

Signal indésirable qui se superpose à un signal utile. (E_{em})

Dégradation des performances.

Marge d'immunité

$$M = 20 \log |(N_{in}/E_{em})|$$

Il y a Compatibilité , si $M > 0$ dB

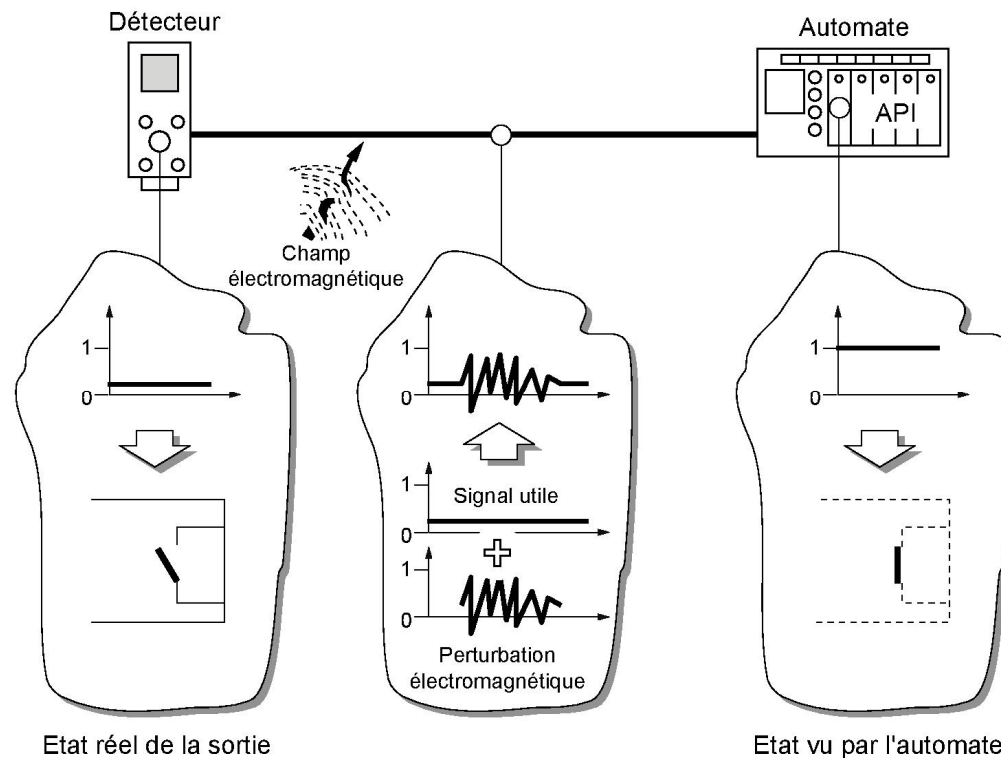
En générale il y a des fluctuations

⇒ il faut laisser une marge de 10 à 20 dB

Définition d'une perturbation électromagnétique

Tout phénomène électromagnétique susceptible de dégrader les performances d'un dispositif, équipement ou système...

Une perturbation électromagnétique peut être un bruit électromagnétique, un signal non désiré ou une modification du milieu de propagation lui-même.

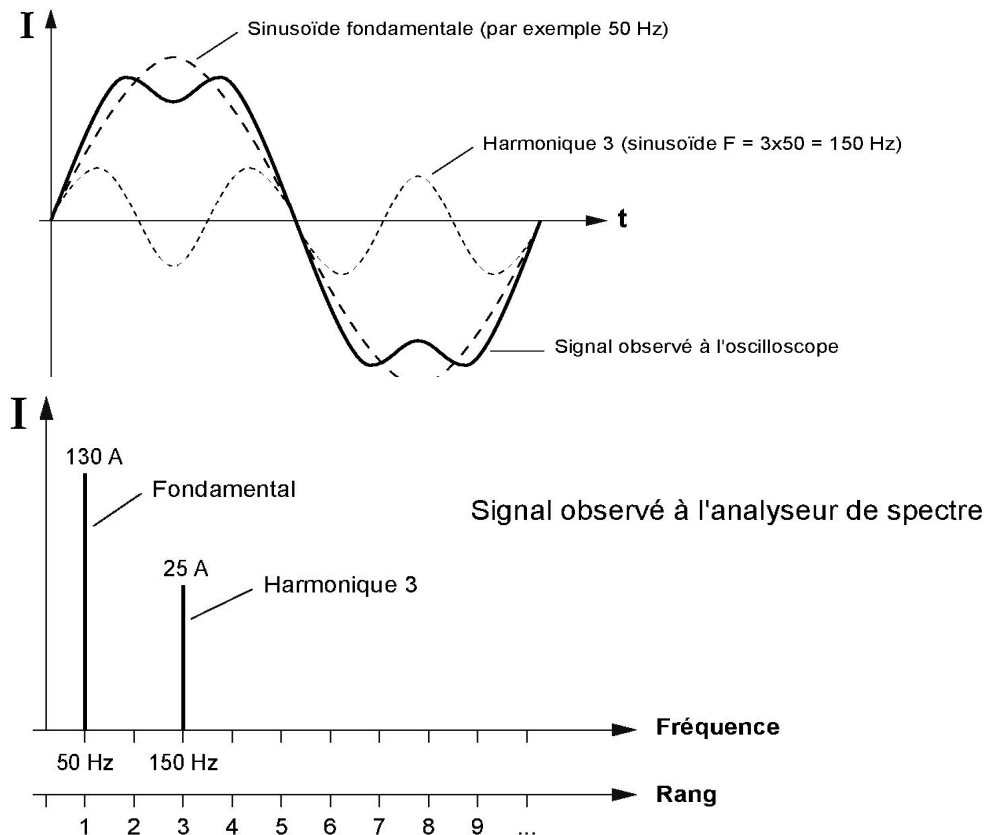


De plus, une perturbation électromagnétique, comme son nom l'indique est composée d'un champ électrique E généré par une différence de potentiel et d'un champ magnétique H ayant pour origine la circulation d'un courant I dans un conducteur

La perturbation électromagnétique «parasite» n'est qu'un signal électrique indésirable qui vient s'ajouter au signal utile.

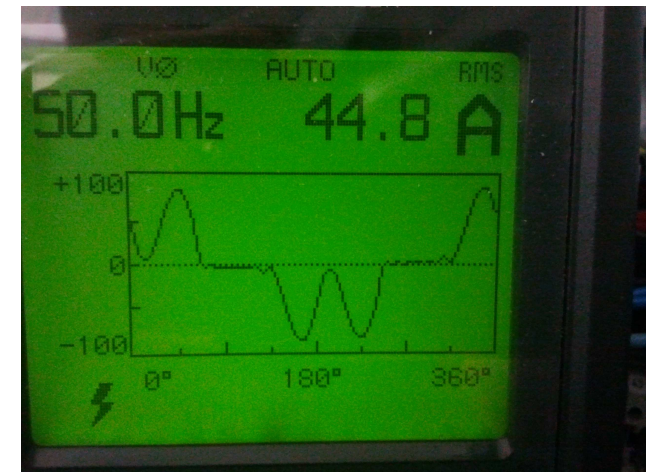
Les harmoniques

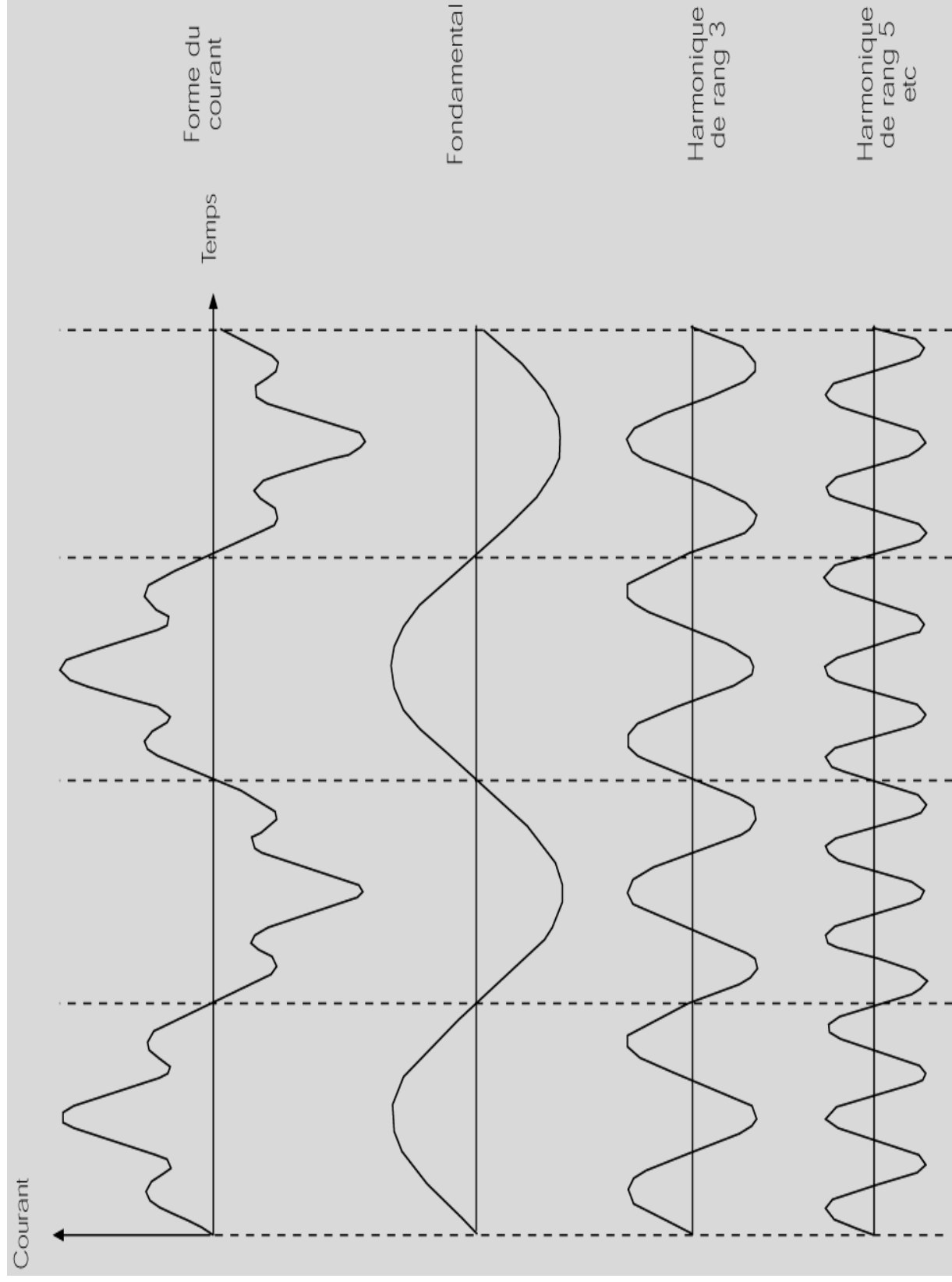
Un signal périodique de forme quelconque est décomposable mathématiquement en une somme de signaux sinusoïdaux ayant différentes amplitudes et phases et dont la fréquence est un multiple entier du fondamental.



Fondamental : fréquence la plus basse et utile du signal.
C'est la décomposition d'un signal en série de FOURIER

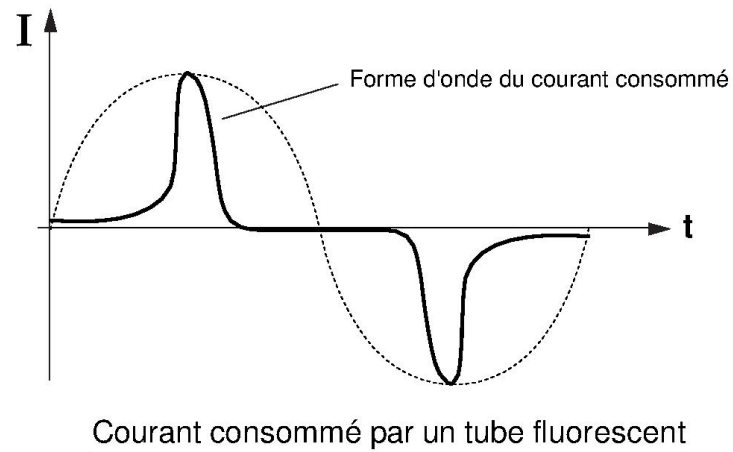
Les perturbations harmoniques sont des perturbations de type basse fréquence «BF» et sont donc principalement «conduites».





Origine

Toutes les charges (récepteurs) non linéaires (éclairage fluorescent, redresseur ...) consomment un courant non sinusoïdal et génèrent ainsi des courants harmoniques



La source d'alimentation transforme ces courants harmoniques en tensions harmoniques par le biais de son impédance «Z» interne.

$$U = ZI$$

C'est cette tension harmonique véhiculée sur le réseau qui peut venir perturber d'autres récepteurs

Types de perturbations électromagnétiques

Perturbations basse fréquence «BF»

Plage de fréquence : 0 = < Fréquence < 1 à 5 MHz.

Les perturbations basse fréquence «BF» se retrouvent dans l'installation principalement sous forme CONDUITE (câbles ...)

Durée : souvent longue (quelques dizaines de ms)

Dans certains cas, ce phénomène peut être permanent (harmonique).

Energie : l'énergie conduite peut être importante et se traduit par le dysfonctionnement voire la destruction des appareils interconnectés.

$$(Energie) \ W_{(j)} = U_{(V)} I_{(A)} t_{(s)}$$

Perturbations haute fréquence «HF»

Plage de fréquence : 30 MHz

Les perturbations haute fréquence «HF» se retrouvent dans l'installation principalement sous forme RAYONNÉE (air ...)

Durée : impulsions HF. Le temps de montée de l'impulsion < 10 ns.

Ce phénomène peut apparaître de façon permanente (redresseurs, horloges...).

Energie : l'énergie rayonnée est généralement faible et se traduit par le dysfonctionnement des matériels environnants.

Taux de distorsion harmonique

Le taux de distorsion harmonique total permet de chiffrer la déformation d'un signal quelconque par rapport au signal sinusoïdal fondamental (rang 1).

$$\text{TDH \%} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{H_n}{H_1} \right)^2}$$

H_n = amplitude de l'harmonique de rang

H_1 = amplitude du fondamental (rang 1)

Que l'on peut simplifier ainsi : $\text{TDH} \approx \frac{\sum \text{Amplitudes de tous les harmoniques de rang } > 2}{\text{Amplitude du fondamental ou harmonique de rang 1}}$

Les harmoniques de rang supérieur à 40 ont un effet négligeable sur le taux de distorsion harmonique (mais pas sur les installations).

Taux admissibles

La norme EN 50160 indique, pour les réseaux publics de distribution, que « ... pendant chaque période d'une semaine, 95 % des valeurs efficaces de chaque tension harmonique moyennées sur 10 minutes, ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau ci dessous.

Des tensions plus élevées pour un harmonique donné peuvent être dues à des résonances.

De plus, le taux global de distorsion harmonique de la tension fournie (y compris tous les harmoniques jusqu'au rang 40) ne doit pas dépasser 8 % ».

Pour diminuer les courants et les tensions harmoniques, il est possible d'utiliser des filtres passifs ou compensateurs actifs

Harmoniques impairs				Harmoniques pairs	
Multiples de 3		Non multiples de 3			
Rang	Tension relative (% Un)	Rang	Tension relative (% Un)	Rang	Tension relative (% Un)
3	5	5	6	2	2
9	1,5	7	5	4	1
15	0,5	11	3,5	6 à 24	0,5
21	0,5	13	3		
		17	2		
		19	1,5		
		23	1,5		

Principaux générateurs d'harmoniques

Onduleur, hacheur

Ponts redresseurs : électrolyse, machines à souder, etc,

Fours à arc,

Fours à induction,

Démarreurs électroniques,

Variateurs de vitesse électronique pour moteurs à courant continu,

Convertisseurs de fréquence pour moteurs asynchrones et synchrones

Appareils domestiques

Circuits magnétiques saturés (transformateurs ...)

Comme on peut le constater, ces types de récepteurs sont de plus en plus utilisés et la «puissance» qu'ils contrôlent est de plus en plus élevée, d'où l'importance croissante des perturbations.

Principaux récepteurs gênés par les harmoniques

Récepteurs

Gênes

Machines synchrones :Echauffements supplémentaires

Transformateurs :Pertes et échauffements supplémentaires
Risques de saturation en présence d'harmoniques pairs

Machines asynchrones :Echauffements supplémentaires notamment pour les moteurs à cage et plus particulièrement à encoches profondes
Couples pulsatoires, destruction des roulements

Câbles :Augmentation des pertes ohmiques et diélectriques

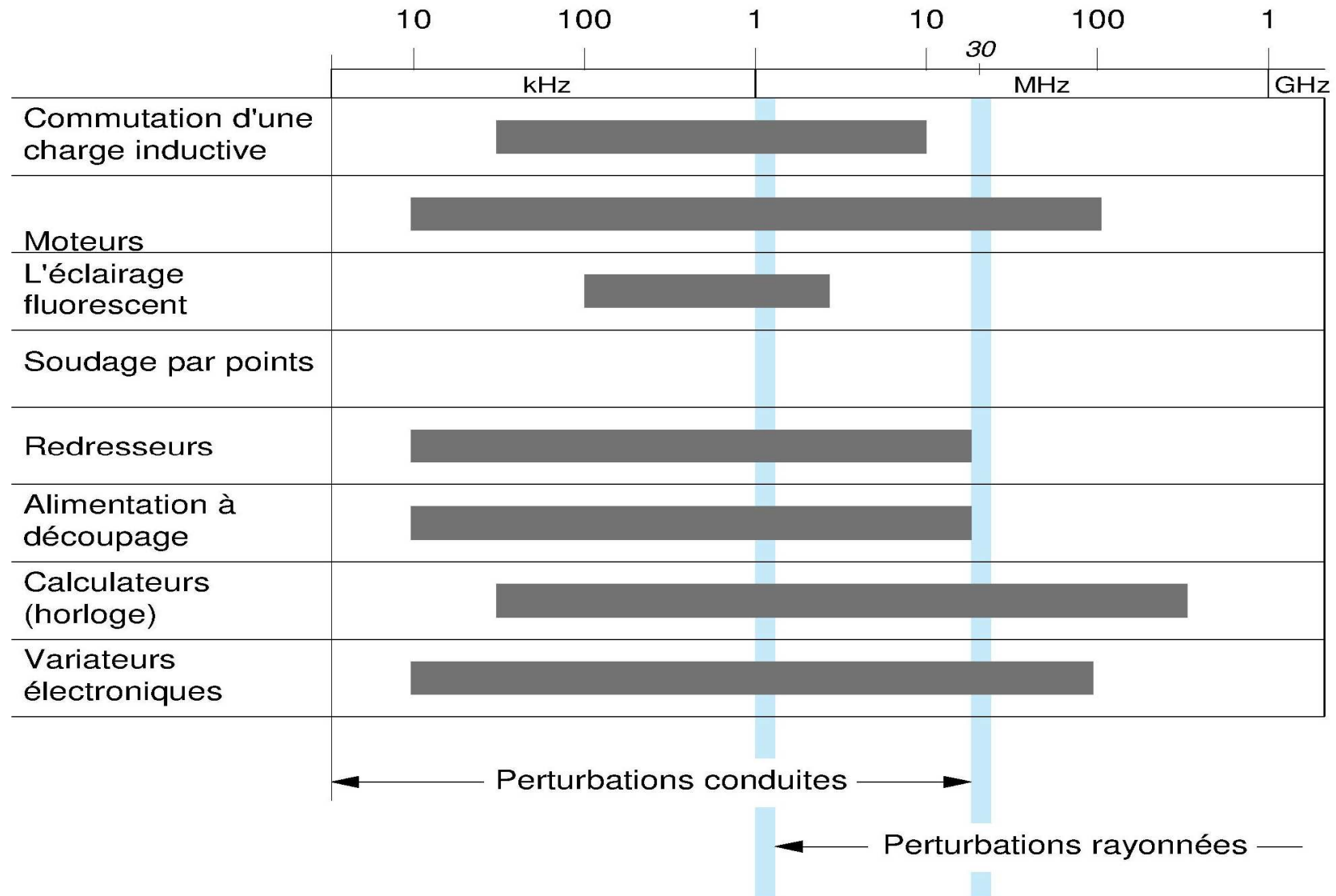
Ordinateurs :Troubles fonctionnels dûs par exemple aux couples pulsatoires des moteurs d'entraînement

Electronique de «puissance» : Troubles liés à la forme d'onde : commutation, synchronisation

Condensateurs : Echauffement, vieillissement, mise en résonance du circuit, etc

Régulateurs, relais : Mesure faussée, fonctionnement intempestif, pertes de précision, etc

Répartition spectrale des perturbations



La terre

Par simplicité, nous appellerons «terre» toutes les parties ou structures conductrices non accessibles ou enterrées. Bien que non officielle, cette définition nous permettra de mieux identifier dans une installation la terre et les masses.

Rappel préalable

Tout courant circulant dans la terre y est entré et en ressortira pour retourner à sa source

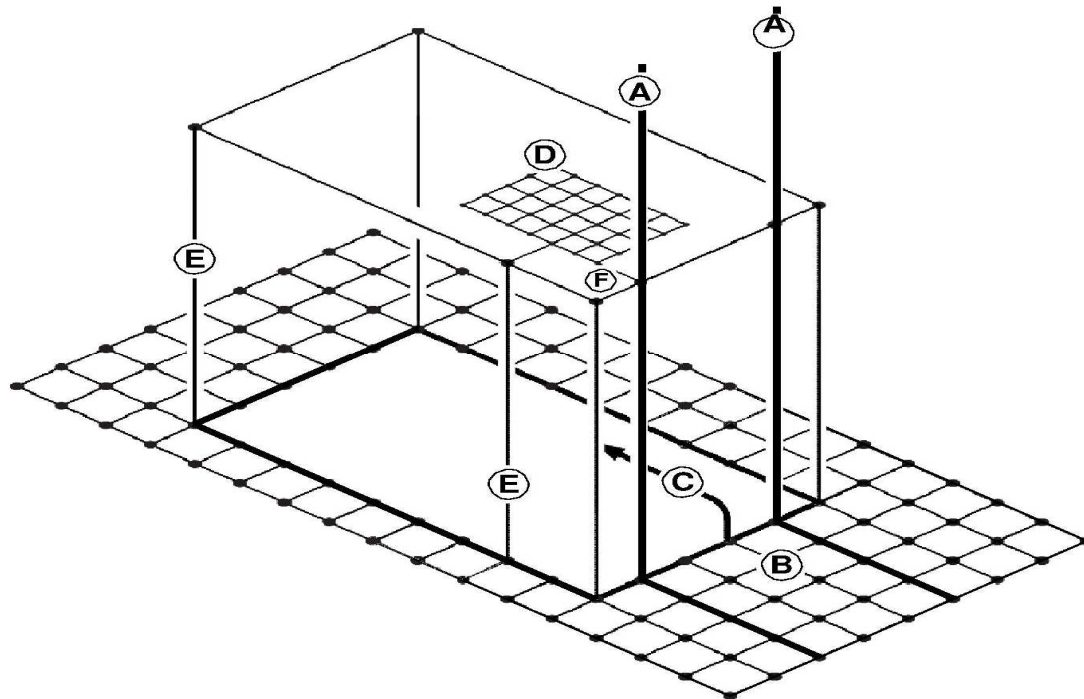
**Pour une installation électrique donnée,
il est nécessaire et suffisant d'avoir une bonne et unique prise de terre.**

Bonne parce que les lignes de descente des paratonnerres doivent pouvoir occasionnellement écouler des courants de l'ordre de 20 à 30 K.A. dans un sol de résistivité très variable (5 à 10 000 Ω/m) sans trop provoquer de dégradations à l'interface prise-sol.

Unique parce que la résistance très variable du sol entraînerait dans ces conditions extrêmes des différences de potentiel extrêmement élevées et destructrices entre les différentes prises de terre et que l'installation elle-même en marche normale (courants de fuite, de défauts, etc ...) entraînerait des perturbations inacceptables

Schéma type

- A** : Descentes de paratonnerres.
- B** : Réseau de terre maillé et enterré avec renforcement particulier au pied des descentes de paratonnerres.
- C** : Liaison de terre de l'installation raccordée à la barre de raccordement d'origine des PE (ou PEN) de l'installation.
- D** : Maillage des masses d'une partie de l'installation raccordée aux structures métalliques ou éléments complémentaires de maillage (E).
- E** : Shunts réalisés entre descentes de paratonnerres et maillage de masse, structure métallique proche pour éviter les éventuels amorçages (risques d'incendie).



La masse

Ne pas confondre blindage et masse

Une masse est un point ou plan de raccordement équipotentiel relié ou non à la terre, servant de référence à un circuit ou système

Définition spécifique aux installations électriques

Une masse est toute partie conductrice accessible au toucher d'un appareil, équipement ou installation qui n'est

pas sous tension en service normal, mais peut le devenir en cas de défaut.

Exemples de masses :

- structure métallique du bâtiment (charpente, tuyauterie ...),
- bâtis de machines, armoires métalliques, plaques de fond d'armoire non peintes, goulottes métalliques, carcasse de transformateur, panier d'automate ..
- les fils vert - jaune (PE - PEN) de liaison à la terre

Masses et sécurité des personnes et des biens

La norme CEI 364, décrit les dispositions constructives garantissant l'atteinte de niveaux de sécurité adéquats.

En marche normale, ou en situation de défaut(s) à la masse :

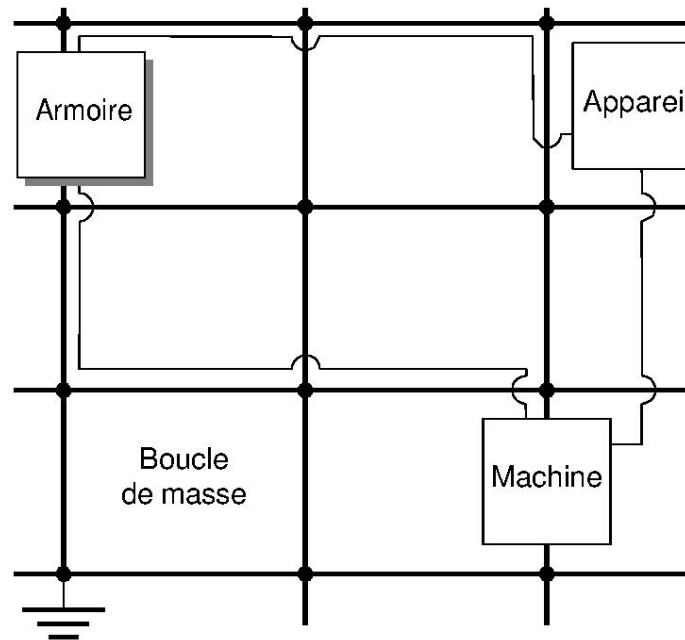
- les courants de défaut élevés soient éliminés (sécurité des biens),
- aucune tension dangereuse ne puisse apparaître entre deux masses, masse et sol ou structure métallique (sécurité des personnes),

La sécurité des installations primant sur tout autre aspect, les interventions ultérieures sur le raccordement des masses ne devront en aucun cas entraîner :

- la déconnexion d'un «PE» (vert-jaune) d'une masse,
- l'augmentation d'impédance de tout raccordement «PE»

Boucle de masse

Une boucle entre masses est la surface comprise entre deux câbles de masse

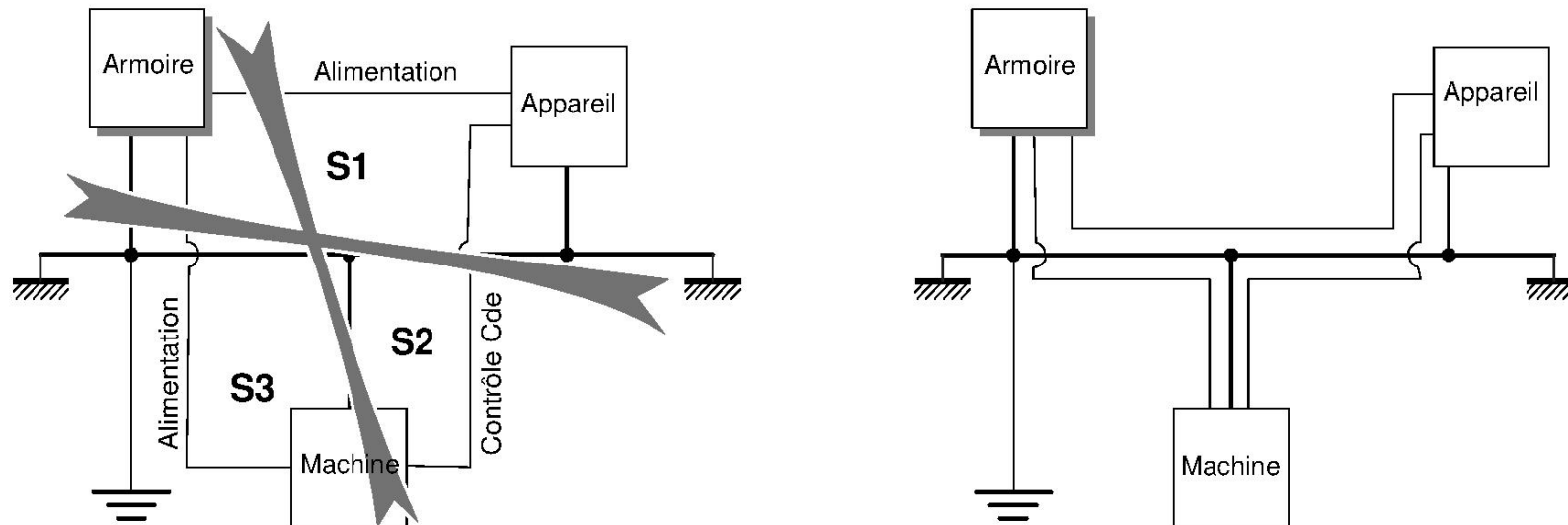


Les boucles entre masses sont le résultat d'un maillage systématique et rigoureux permettant d'assurer l'équipotentialité d'un site.

Il faut réduire la surface de chaque boucle en multipliant les connexions entre toutes les masses

Boucles de masse

Une boucle de masse est la surface comprise entre un câble fonctionnel (câbles d'alimentation, de contrôle- commande, réseau de communication ...) et le conducteur ou la masse mécanique la plus proche

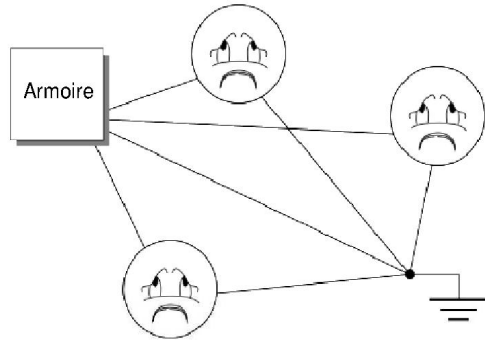


Il est impératif de réduire la surface des boucles de masse

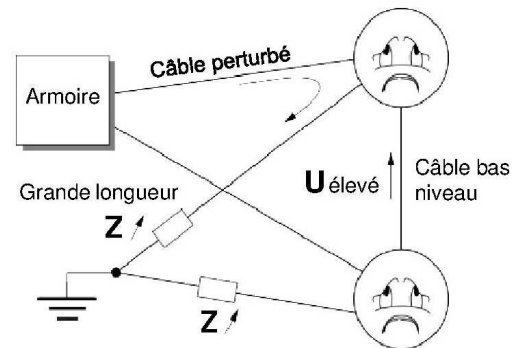
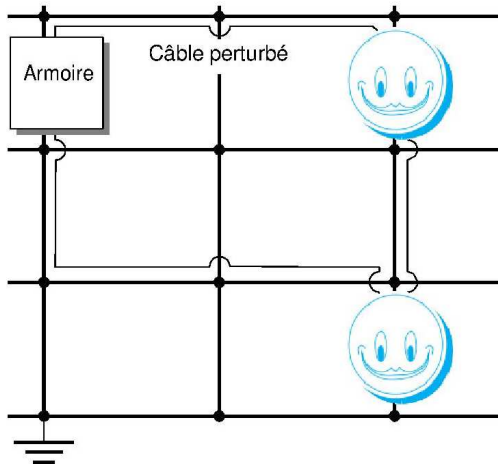
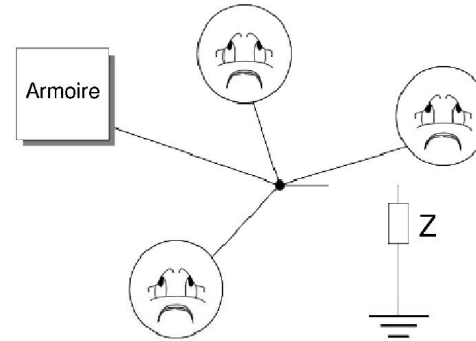
en faisant passer les câbles fonctionnels sur toute leur longueur, le plus près possible des masses. Les boucles de masse sont la principale source des problèmes de la «CEM», le couplage des perturbations rayonnées y est particulièrement efficace.

le raccordement des masses

Eviter le raccordement des masses en étoile à la terre



Boucles de masse de grande surface

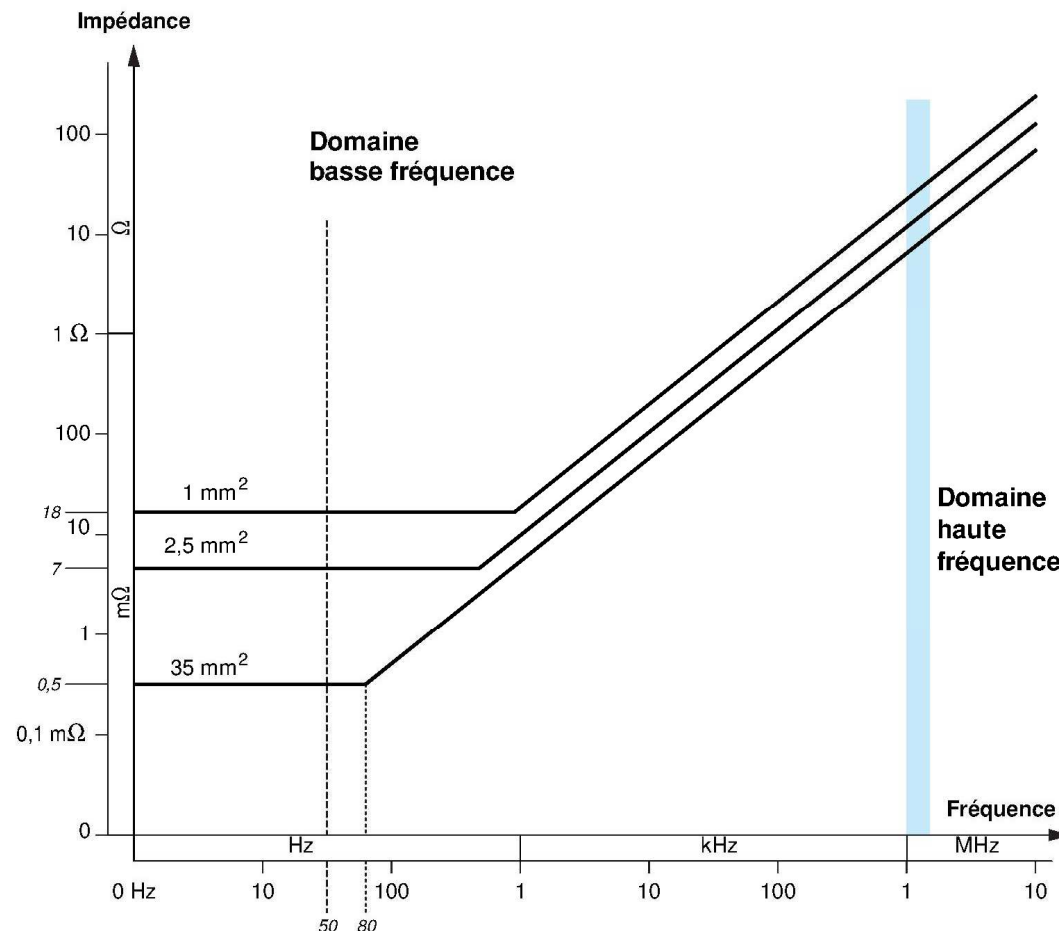


Forte impédance commune
==> ddp entre les équipements

Seul un maillage systématique et rigoureux des masses entre elles permet d'obtenir une bonne équipotentialité haute fréquence «HF» du site.

Comportement d'un conducteur en fréquence

Le niveau de compatibilité électromagnétique (CEM) dans un équipement est lié aux couplages entre les circuits, ces couplages étant eux-mêmes directement fonction des impédances entre ces circuits. Les conducteurs utilisés et leur mise en œuvre sont donc prépondérants dans le comportement électromagnétique de l'installation.



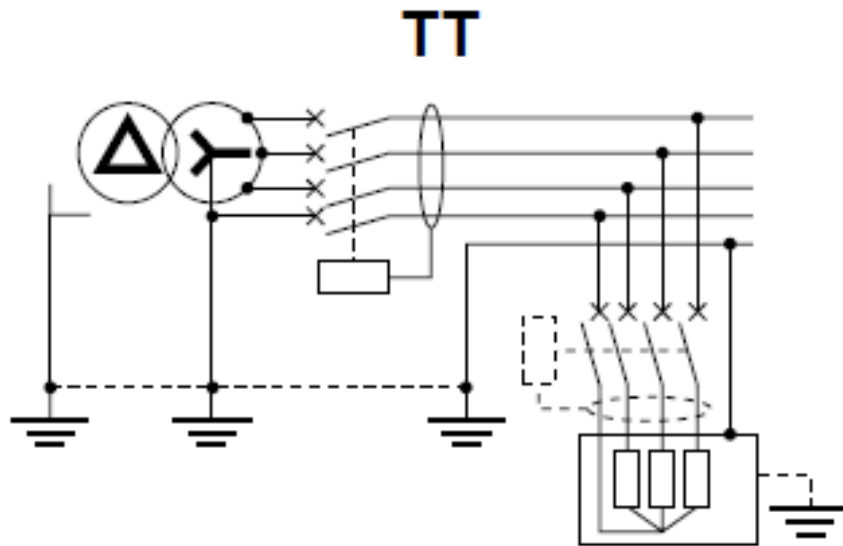
*A 100 kHz 2 câbles de 1 mm² en parallèle sont moins impédants qu'un câble de 35 mm²
==> d'où l'intérêt du maillage*

Valeurs caractéristiques de l'impédance d'un conducteur électrique de longueur $L = 1$ m

Les régimes de neutre

Régimes TT

Tout à la Terre



Son principe :

- le neutre du transformateur est mis à la terre ;
- les masses des récepteurs électriques sont aussi reliées à une prise de terre.

- Son fonctionnement :

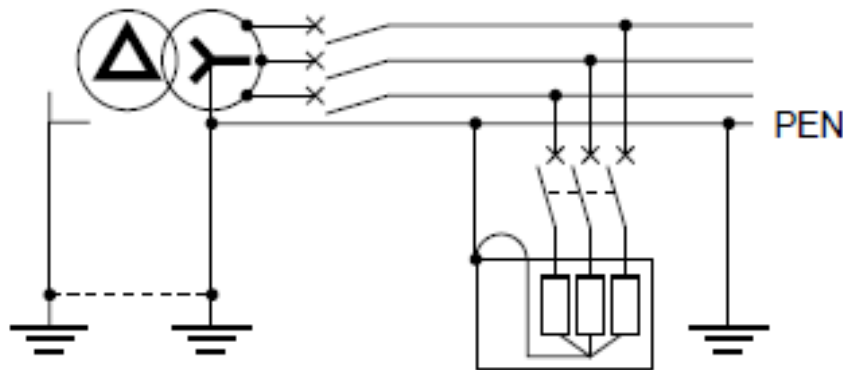
Le courant d'un défaut d'isolement est limité par l'impédance des prises de terre. La protection est assurée par des Dispositifs à courant Différentiel

Résiduel -DDR- : la partie en défaut est déconnectée dès que le seuil I_{Dn} , du DDR placé en amont, est dépassé par le courant de défaut, de cette manière $U_{\text{contact}} < I_{\text{détection}} \times \text{Resistance de terre}$.

Régime TNC

TN-C

Terre et Neutre Confondus



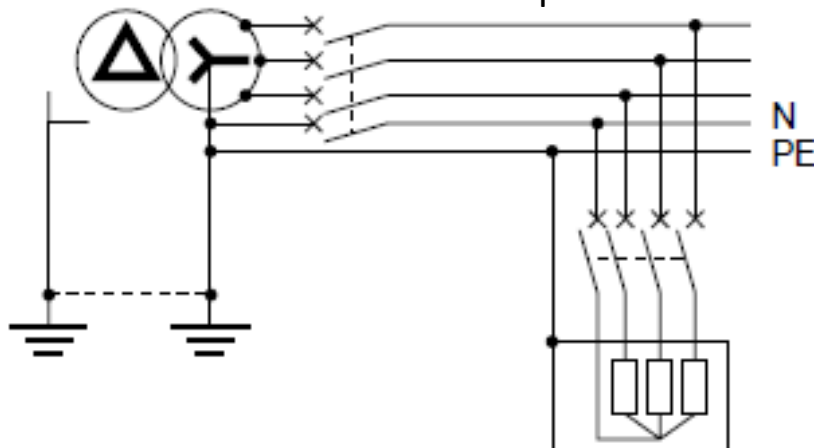
1 : En schéma TN-C, le conducteur PEN, neutre et PE confondus, ne doit jamais être coupé.

En schéma TN-S comme dans les autres schémas, le conducteur PE ne doit jamais être coupé.

2 : En schéma TN-C, la fonction "conducteur de protection" l'emporte sur la fonction "neutre". En particulier un conducteur PEN doit toujours être raccordé à la borne "terre" d'un récepteur et un pont doit être réalisé entre cette borne et la borne neutre.

TN-S

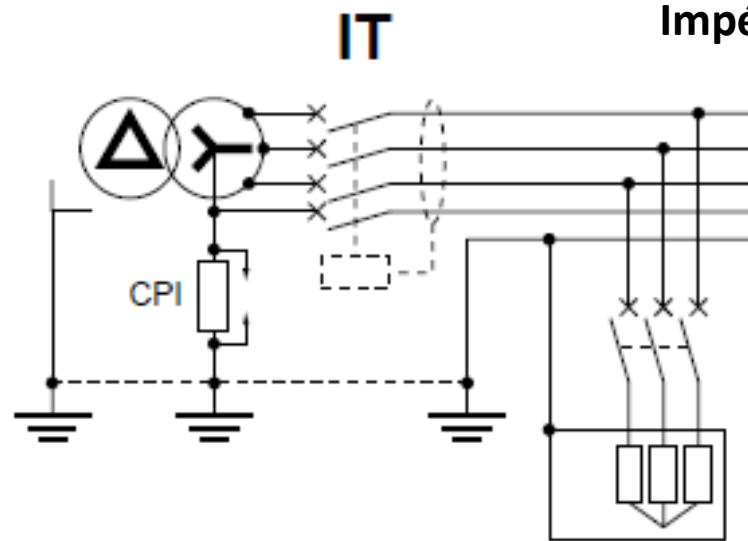
Terre et Neutre Séparés



3 : Les schémas TN-C et TN-S peuvent être utilisés dans une même installation. Le schéma TN-C doit obligatoirement être en amont du schéma TN-S.

Le schéma TN-S est obligatoire pour des sections de câbles $< 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ou $< 16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ ou pour des câbles souples

Régime IT



Impédance à la terre

le neutre du transformateur n'est pas relié à la terre. Il est théoriquement isolé de la terre. En fait, il est naturellement relié à la terre par les capacités parasites des câbles du réseau et/ou volontairement par une impédance de forte valeur d'environ 1 500 Ω (neutre impédant) ;

Pour mémoire, l'impédance naturelle de fuite à la terre d'un câble triphasé, de longueur 1 km, est caractérisée par les valeurs typiques : 1 μF / km, 1 $\text{M}\Omega$ / km, qui donnent (en 50 Hz) :
 $v Z_{cf} = 1 / j C \omega = 3\,200 \, \Omega$, $v Z_{rf} = 1 \, \text{M}\Omega$, donc $Z_f \approx Z_{cf} = 3\,200 \, \Omega$.

les masses des récepteurs électriques sont reliées à la terre. si un défaut d'isolement se produit, un faible courant se développe du fait des capacités parasites du réseau.

La tension de contact de la prise de terre (reliée aux masses), tout au plus quelques volts ne présente pas de danger ;

- si un deuxième défaut survient sur une autre phase, alors que le premier n'est pas éliminé , les masses des récepteurs concernés sont portées au potentiel développé par le courant de défaut dans le conducteur de protection (PE) qui les relie. Ce sont les dispositifs de protection qui assurent l'ouverture du circuit.

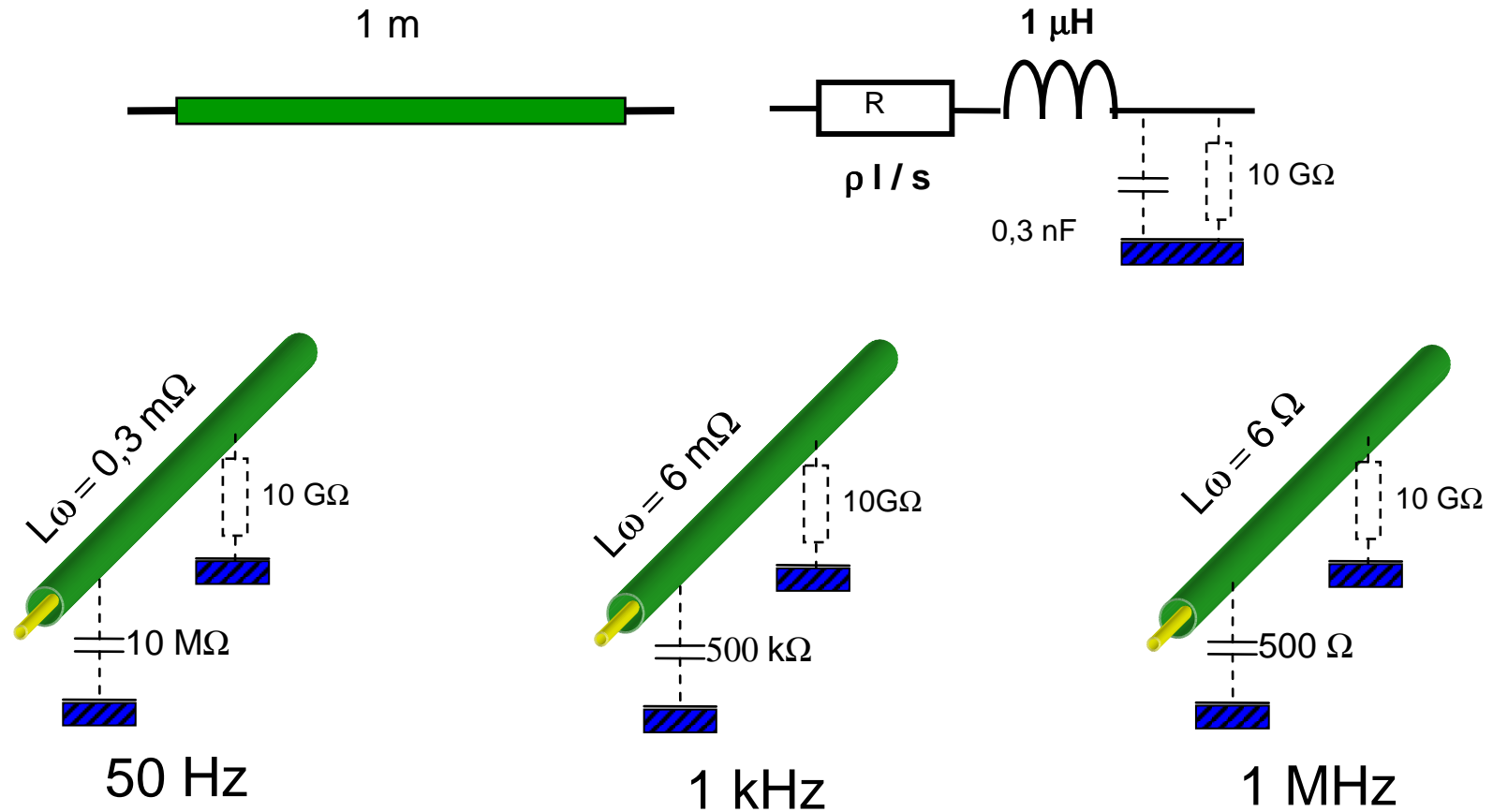
	TT	TN-C	TN-S	IT
Sécurité des personnes	Bien Disjoncteur différentiel obligatoire	Bien Être vigilants et assurer la continuité du conducteur PE lors d'extension d'installation		
Sécurité des biens Risques d'incendie Risques pour les matériels	Bien	Mauvais Courants très élevés dans le conducteur PEN pouvant être > kA Interdit dans les locaux à risque	Mauvais Protection différentielle 500 mA	Bien Recommandé en sécurité intrinsèque car pas d'arc électrique
Disponibilité de l'énergie	Bien	Bien	Bien	Très bien
Comportement en «CEM»	Bien Le PE n'est plus une référence de potentiel unique pour l'installation - Parafoudres à prévoir (distribution aérienne) - Nécessite la gestion des équipements à courants de fuite élevés situés en aval des protections différentielles	Mauvais Circulation de courants perturbateurs dans les masses Rayonnement de perturbations «CEM» par le PE. A déconseiller si générateur d'harmonique dans l'installation	Très bien - Nécessite la gestion des équipements à courant de fuite élevés situés en aval des protections différentielles - Courants de défaut importants dans le PE (perturbations induites) - 1 seule terre	Mauvais Incompatibilité avec l'utilisation de filtre de mode commun. - Il peut être nécessaire de fragmenter l'installation pour réduire la longueur des câbles et limiter les courants de fuite. - Schéma TN au 2ème défaut

Les Perturbations

Les perturbations conduites

Perturbations conduites

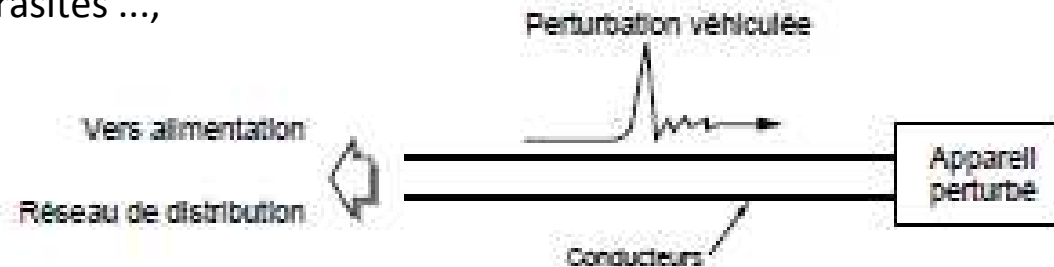
impédance équivalente d'un câble



Les couplages par conduction

Les perturbations conduites sont véhiculées par un «conducteur» électrique. Elles peuvent donc être transmises par :

- lignes d'alimentation internes, ou le réseau de distribution,
- câbles de contrôle,
- câbles de transmission de données, bus ...,
- câbles de masses (PE - PEN ...),
- terre ...,
- les capacités parasites ...,

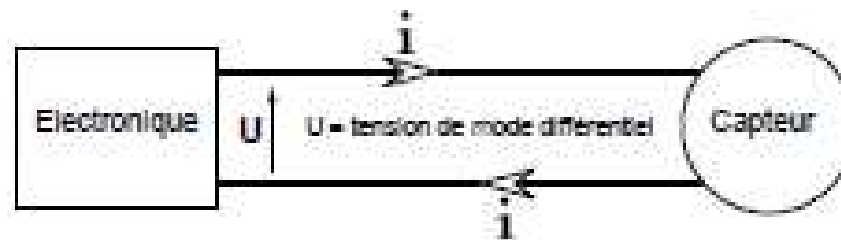


Sur une liaison bifilaire (2 fils), un signal (utile ou parasite) peut se déplacer de deux façons :

- le mode différentiel
- le mode commun

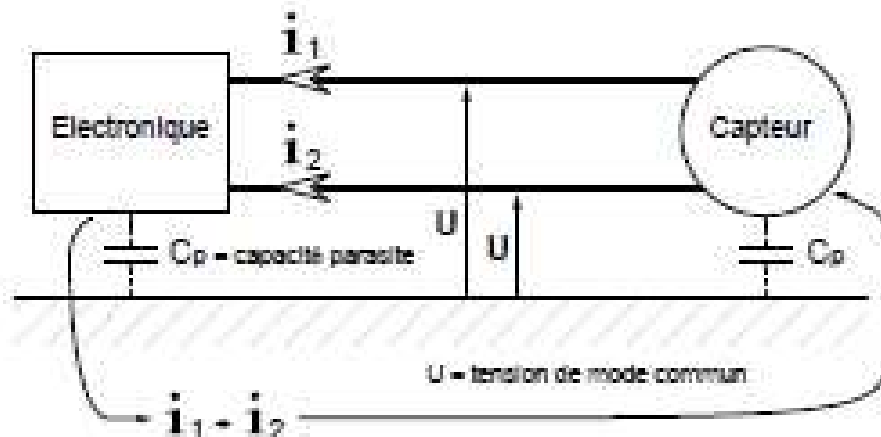
Le mode différentiel

Le courant de mode différentiel (ou mode série) se propage sur l'un des conducteurs, passe à travers l'appareil, y générant ou non des dysfonctionnements et revient par un autre conducteur.



Le mode commun

Le courant de mode commun se propage sur tous les conducteurs dans le même sens et revient par la masse au travers des capacités parasites.



Les perturbations de mode commun représentent le principal problème de la «CEM» car leur chemin de propagation est difficile à identifier.

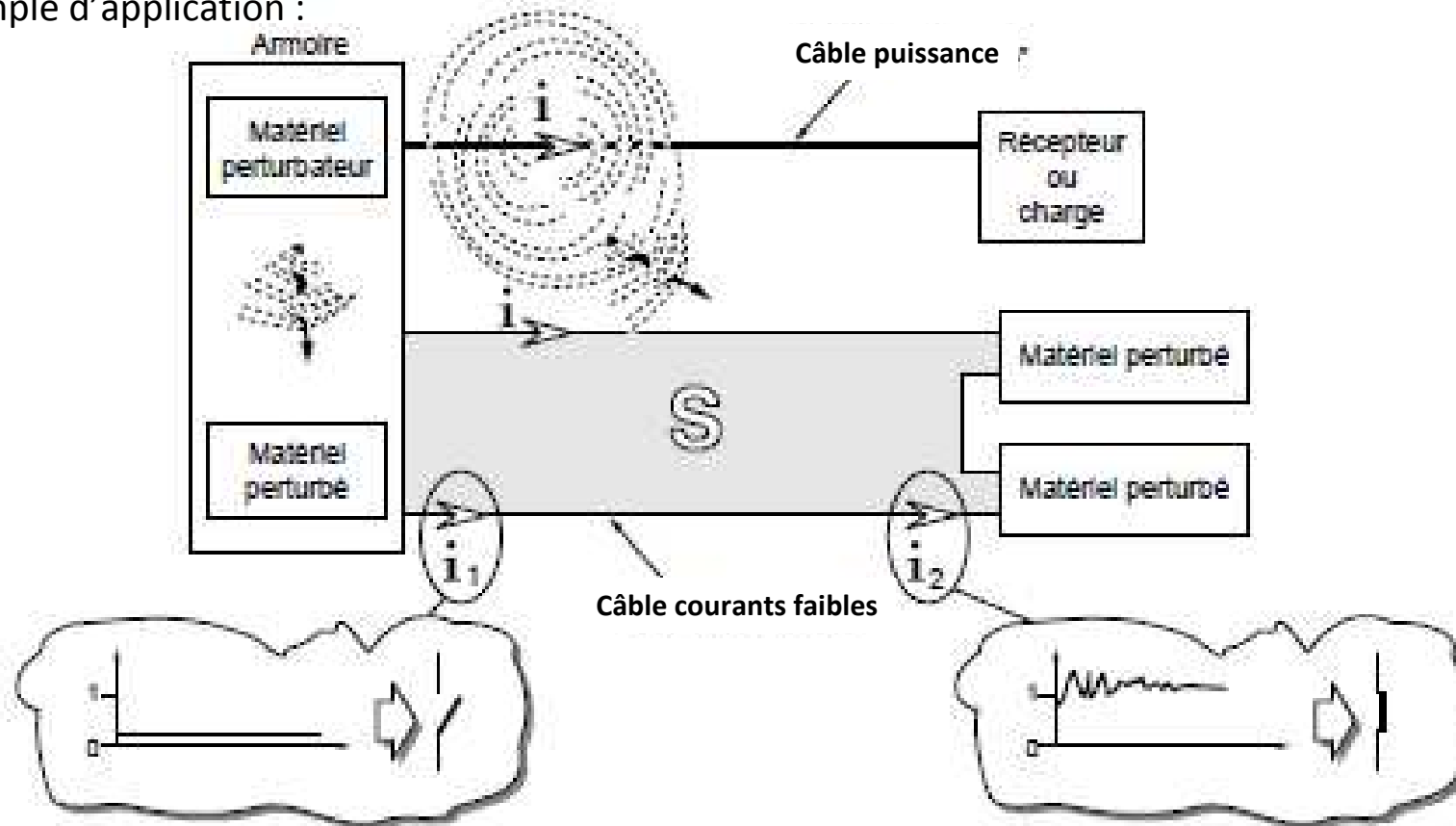
Les Perturbations

Les perturbations rayonnées

Les couplages par rayonnement

Les perturbations rayonnées sont véhiculées par le milieu ambiant (air ...)

Exemple d'application :



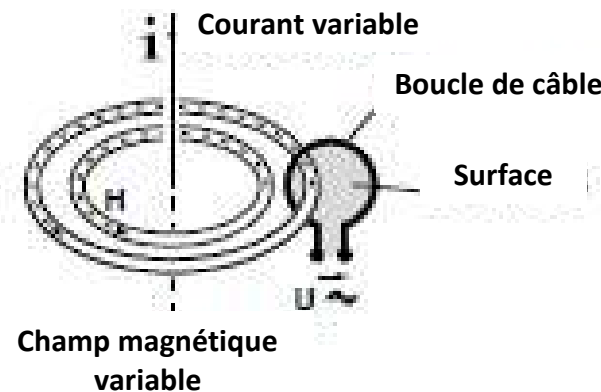
Selon la nature de la perturbation émise, les couplages pourront être de deux types :

- couplage inductif
- couplage capacitif

Le couplage inductif

Un courant I circulant dans un conducteur électrique crée un champ magnétique qui rayonne autour du conducteur. Il est évident que le courant circulant doit être élevé ... il est principalement généré par les circuits «puissances» (véhiculant de forts courants) > 10 A.

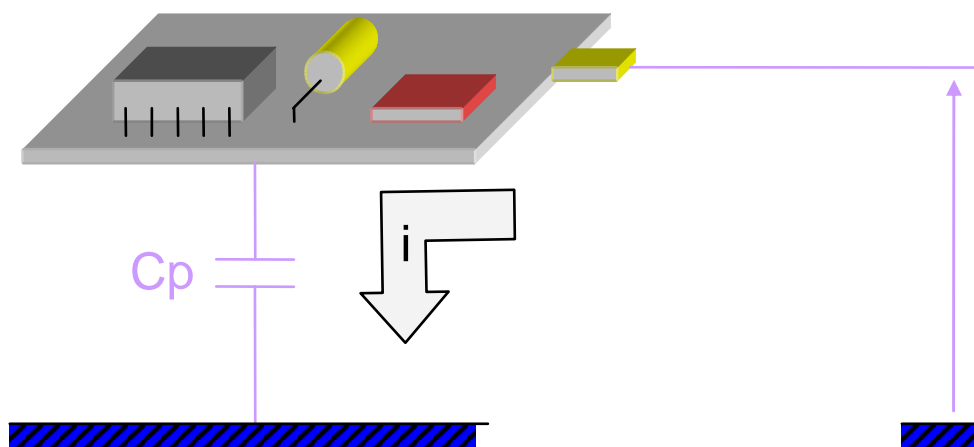
Toute boucle formée par un conducteur électrique de surface S et baignée dans un champ magnétique variable voit apparaître une tension alternative à ses bornes.



Différents types de Couplages

Le couplage capacitif

$$\text{Capacité } C = \epsilon \cdot S / e$$



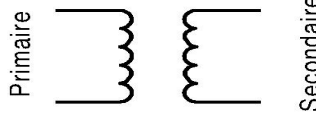
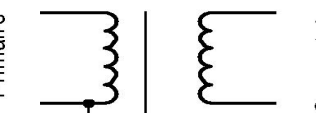
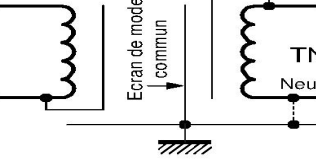
Il existe toujours une capacité non nulle entre un circuit électrique (câble, composant ...) et un autre circuit proche (conducteur, masse ...).

Une différence de potentiel variable entre ces deux circuits va générer la circulation d'un courant électrique de l'un vers l'autre à travers l'isolant (l'air ...) et former ainsi un condensateur appelé capacité parasite. Ce courant parasite est d'autant plus élevé que la fréquence de la tension aux bornes de la capacité parasite est élevée.

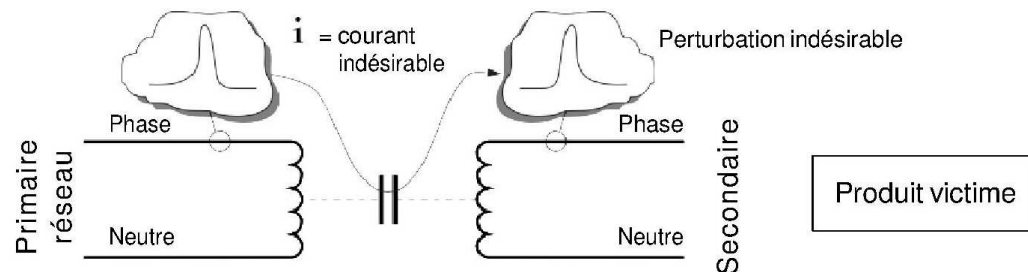
Si ces capacités parasites entre circuits sont totalement négligeables en 50 Hz, **elles ont une importance considérable en haute fréquence «HF» et sont à l'origine de dysfonctionnements d'installations.**

Découplage des perturbations

Les transformateurs d'isolement

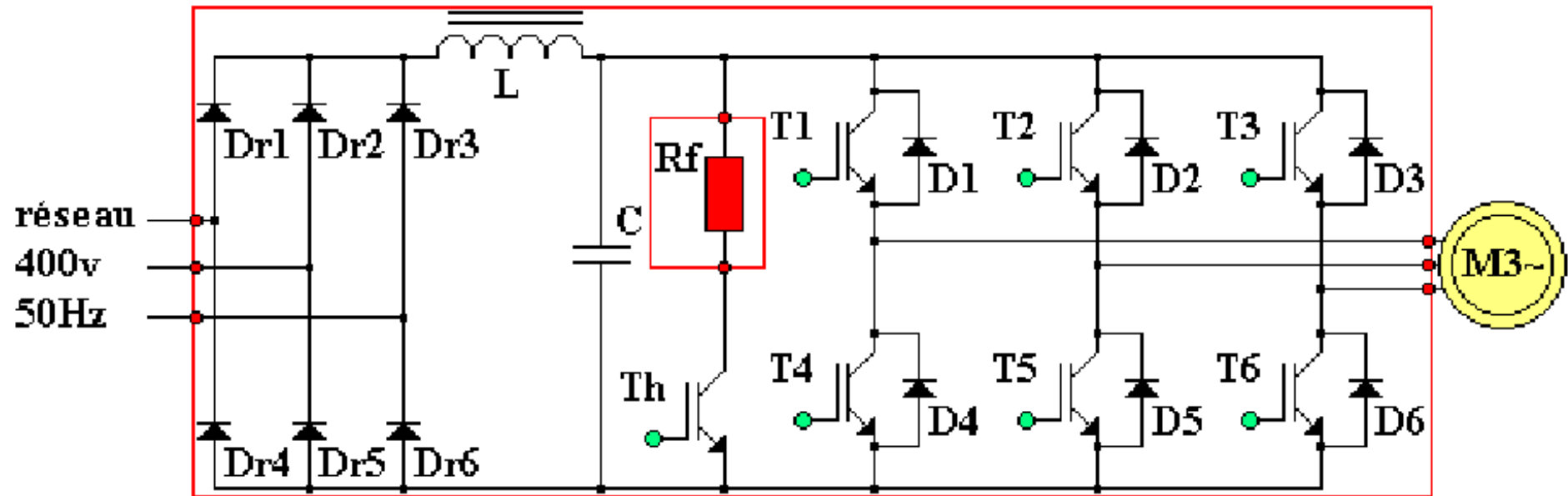
Transformateur	Représentation	Isolement	
		BF	HF
Standard		OK	Inefficace
Simple écran		OK	Moyen
Double écran		OK	Bien

- Permet de changer de régime de neutre n'importe où dans l'installation,
- Assure un bon isolement galvanique en basse fréquence seulement,
- Un transformateur double écran sera nécessaire si l'on veut assurer un isolement galvanique convenable en «HF»,
- Bloque et écoule les courants de mode commun vers les masses,
- Permet d'ouvrir les boucles de masse.



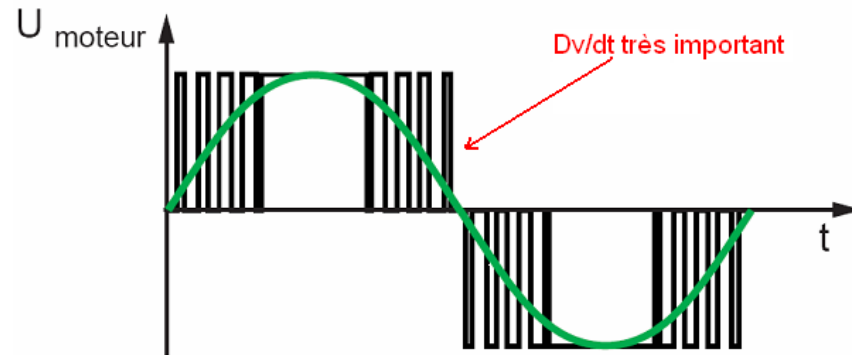
Un des éléments perturbateur

Variateur de fréquence par Modulation de Largeur d'Impulsion



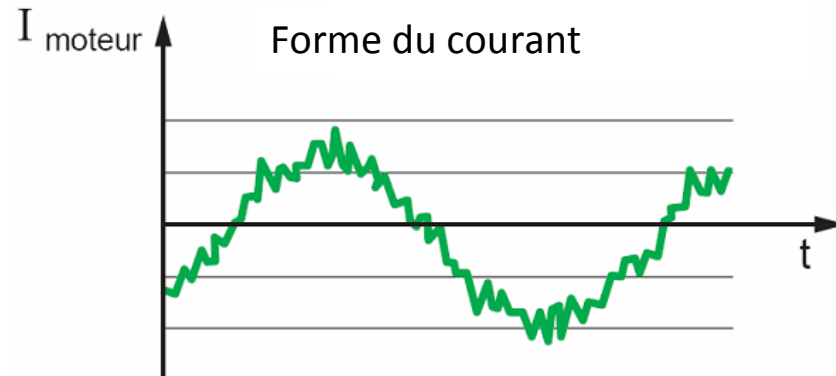
Découpage de la tension pour obtenir un courant quasi sinusoïdal

Principe de la MLI



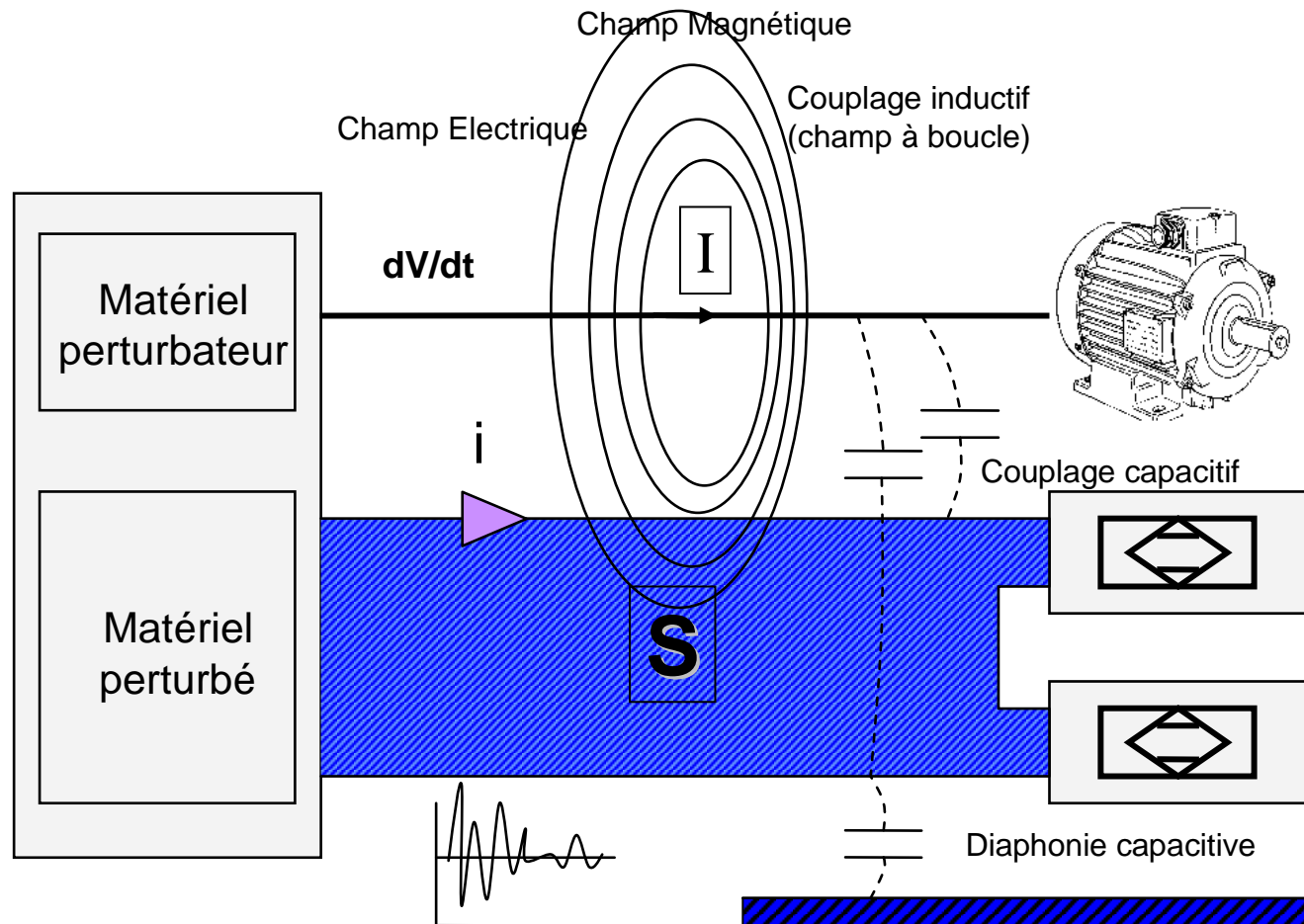
Génération d'impulsion dont la largeur est une fonction sinusoïdale et d'un rapport tension fréquence « linéaire » de manière à avoir la tension nominale à la fréquence nominale moteur.

Mais quelque soit la tension efficace de sortie la valeur crête reste celle du bus continu

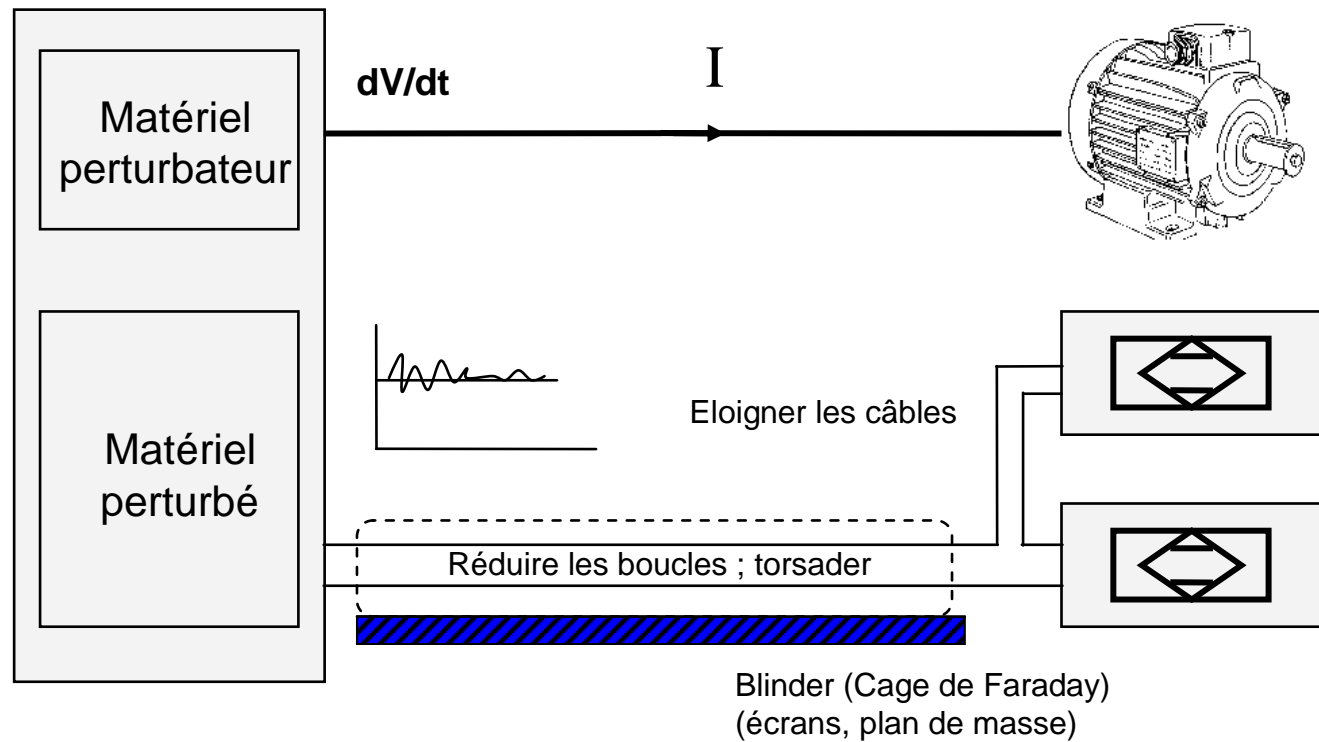


De part le lissage lié à l'effet de self le courant est pratiquement sinusoïdal

Effets des perturbations

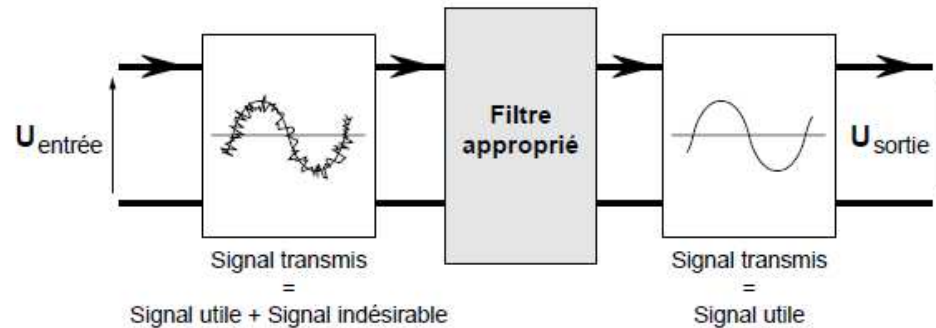


les précautions



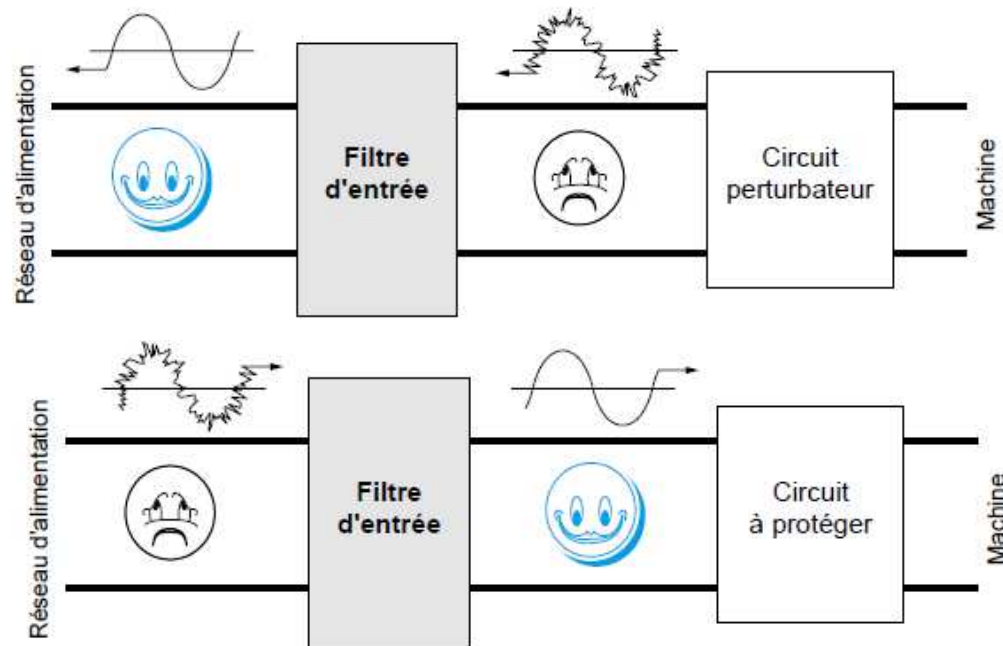
LES FILTRES

Les filtres ont pour fonction de laisser passer les signaux utiles et de supprimer la partie indésirable du signal transmis



Domaine d'emploi :

- filtres anti-harmoniques $F < 2,5 \text{ kHz}$
- filtres RFI (Radio - Perturbations conduites) $F < 30 \text{ MHz}$



Sens d'actions :

- filtres d'entrée

exemple : filtres anti-harmoniques, filtres RFI
Ils protègent le réseau d'alimentation des perturbations générées par l'équipement alimenté.

Ils protègent également l'équipement des perturbations venant du réseau d'alimentation.

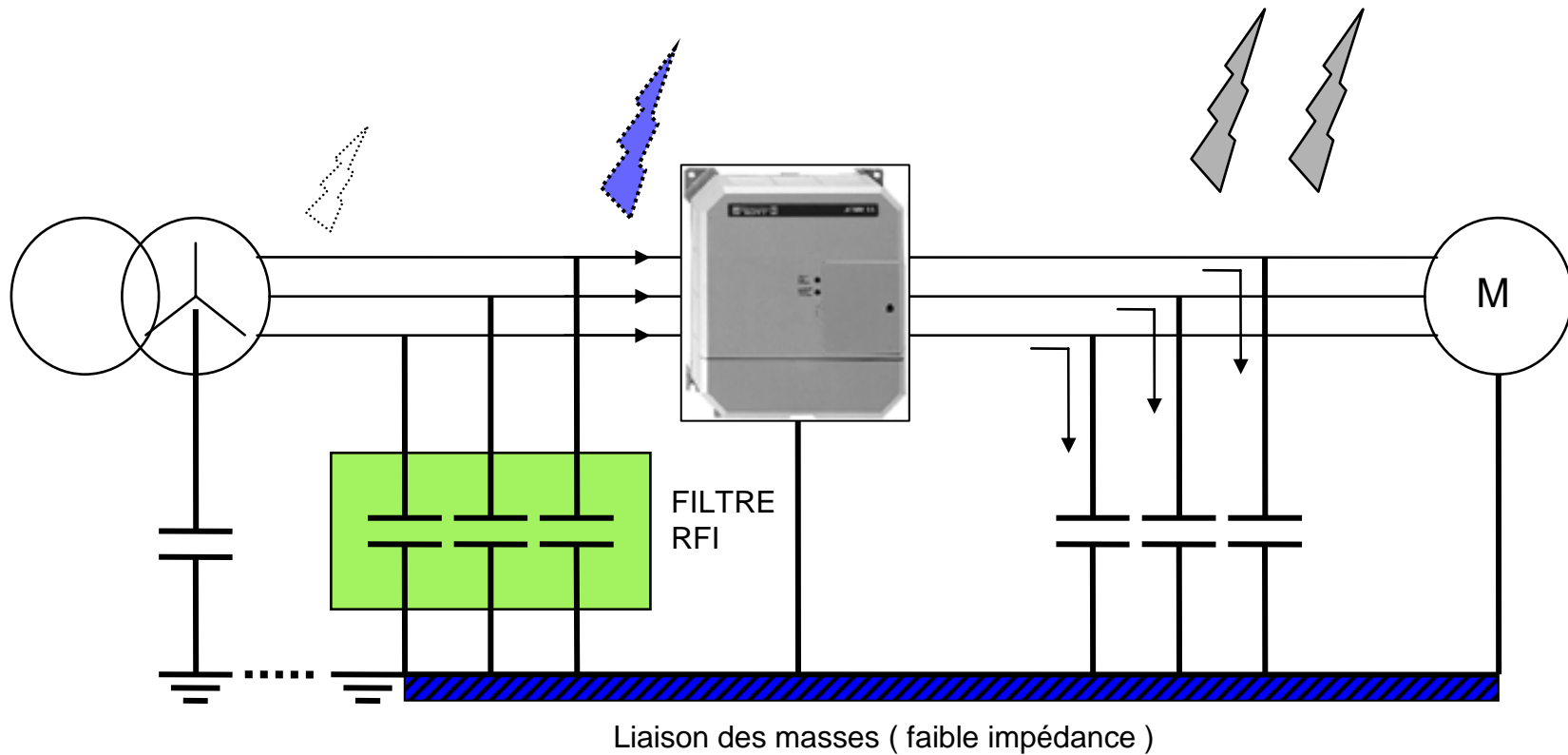
Filtres de sortie

Exemple : filtres «sinus»

Ils protègent la charge contre les perturbations venant de l'équipement.

LES FILTRES

ATTENTION : le filtre RFI supprime le conduit et le rayonné côté ligne, pas le rayonné côté sortie !

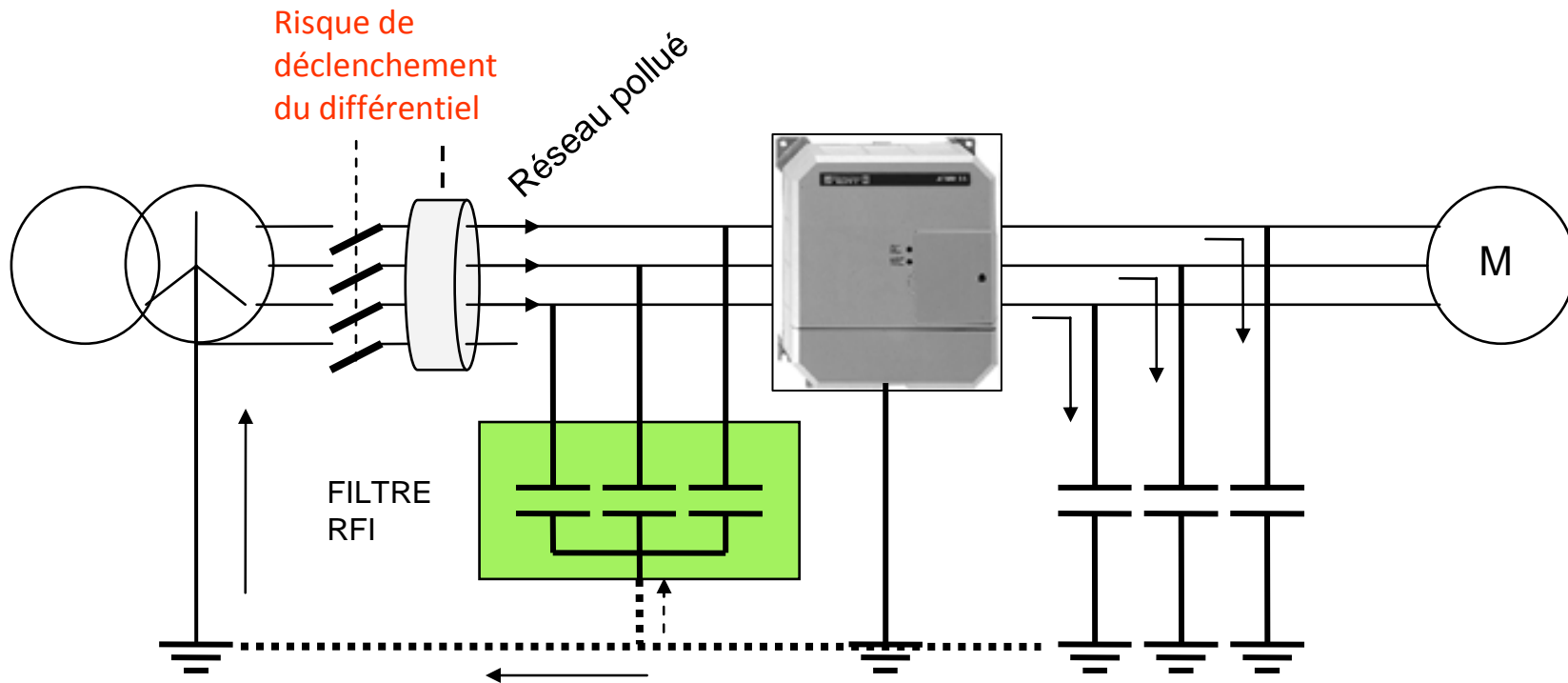


FILTRES RFI ET REGIMES DE NEUTRE

La norme Variateurs de Vitesse EN 61800-3 n'impose pas les filtres en IT

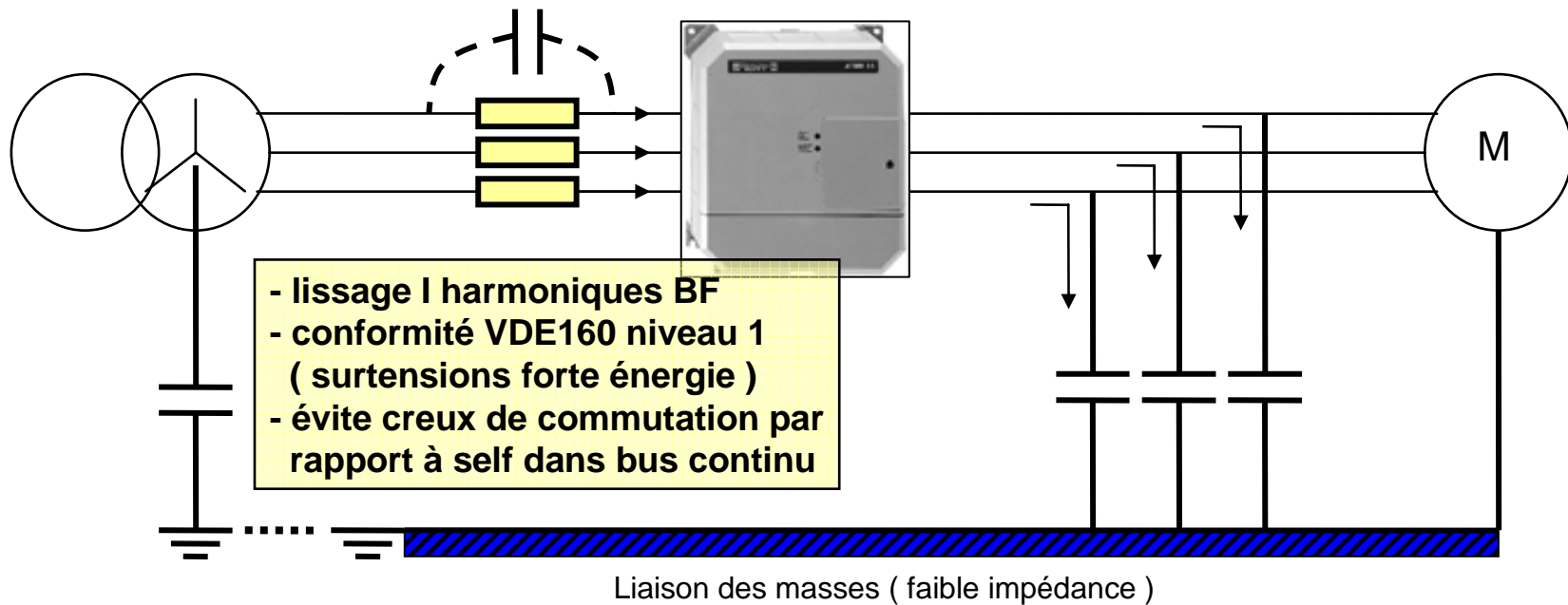
ATTENTION : tenue des filtres en tension composée du réseau en IT en cas de défaut d'isolement

Les CPI à injection DC peuvent être perturbés ; les CPI à injection AC (tels que **MG XM200** et **XM300**) distinguent les fuites capacitatives des défauts d'isolement résistifs



LES FILTRES

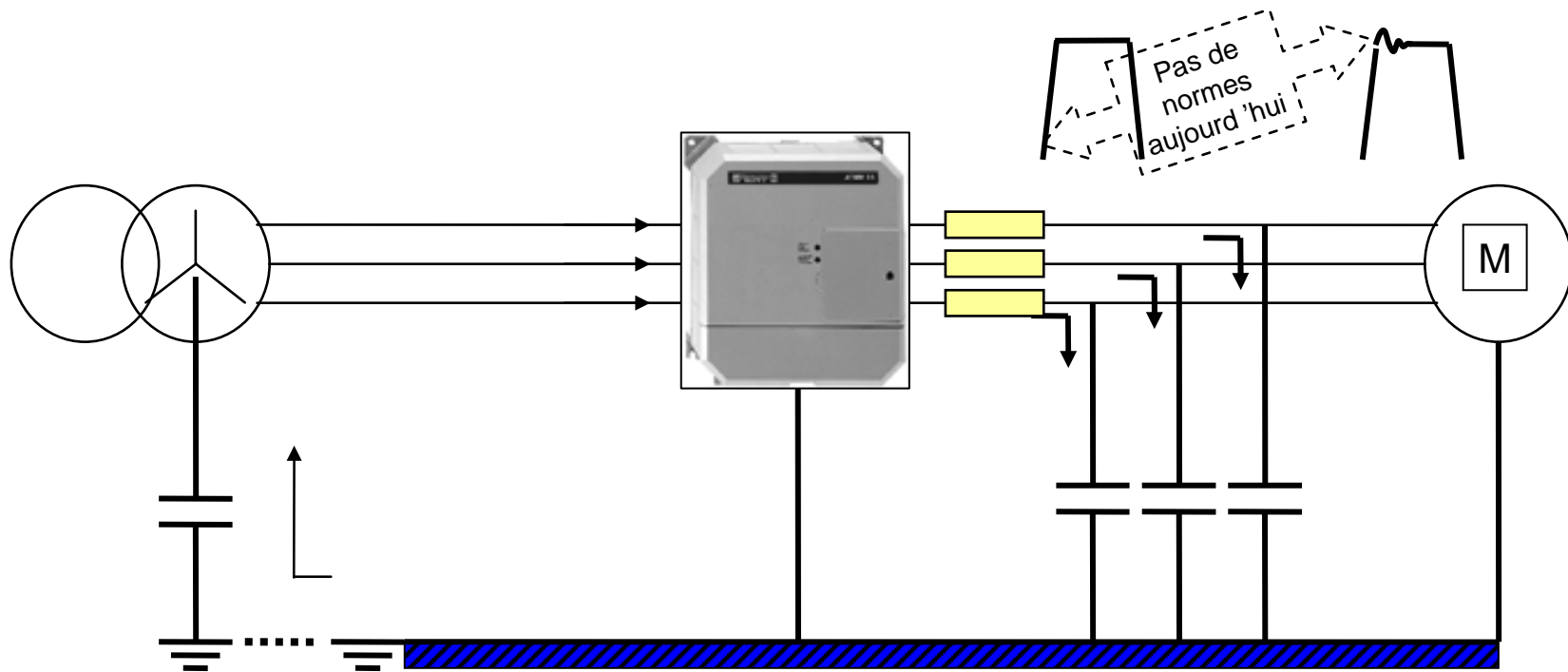
Les selfs de ligne : peu efficaces en HF



LES FILTRES

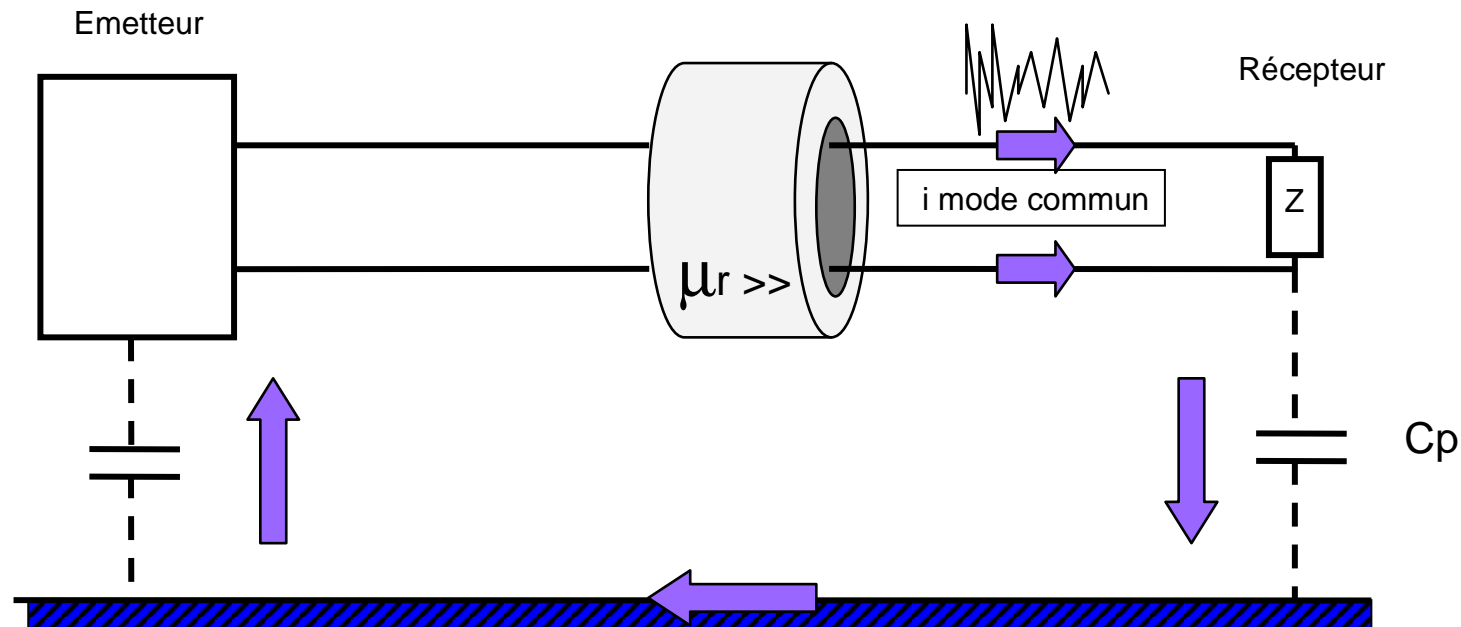
Les filtres L ou LC de sortie

- diminution des dV/dt et pics de tension
- atténuation des radioperturbations
- diminution des I crête sortie variateur



LES FERRITES

Ce sont des filtres de mode commun en haute fréquence «HF».
Les ferrites sont constituées de matériaux à forte perméabilité magnétique μ_r .



La ferrite utilise deux principes :

- l'inductance de mode commun
 - l'absorption par pertes joules (échauffement) induites des perturbations «HF» de mode commun.
- Ces deux principes aboutissent à une impédance de mode commun dont l'efficacité dépend de son rapport en regard de l'impédance du circuit à protéger.

**OBTENTION
DE LA
COMPATIBILITÉ
ÉLECTROMAGNÉTIQUE
DANS LES INSTALLATIONS**

-- RÈGLES DE L'ART

Préambule

La conception, la réalisation, la modification ou la maintenance d'un équipement commencent toujours par une étude qui amène à définir :

- les caractéristiques des matériels et constituants capables de remplir la fonction désirée
- les règles de conception mécaniques et électriques permettant d'assurer la fonction désirée.

Cette étude est réalisée en tenant compte des contraintes technico-économiques.

De ce point de vue, il est recommandé de se préoccuper d'**assurer la compatibilité électromagnétique dès le stade de la conception d'une installation.**

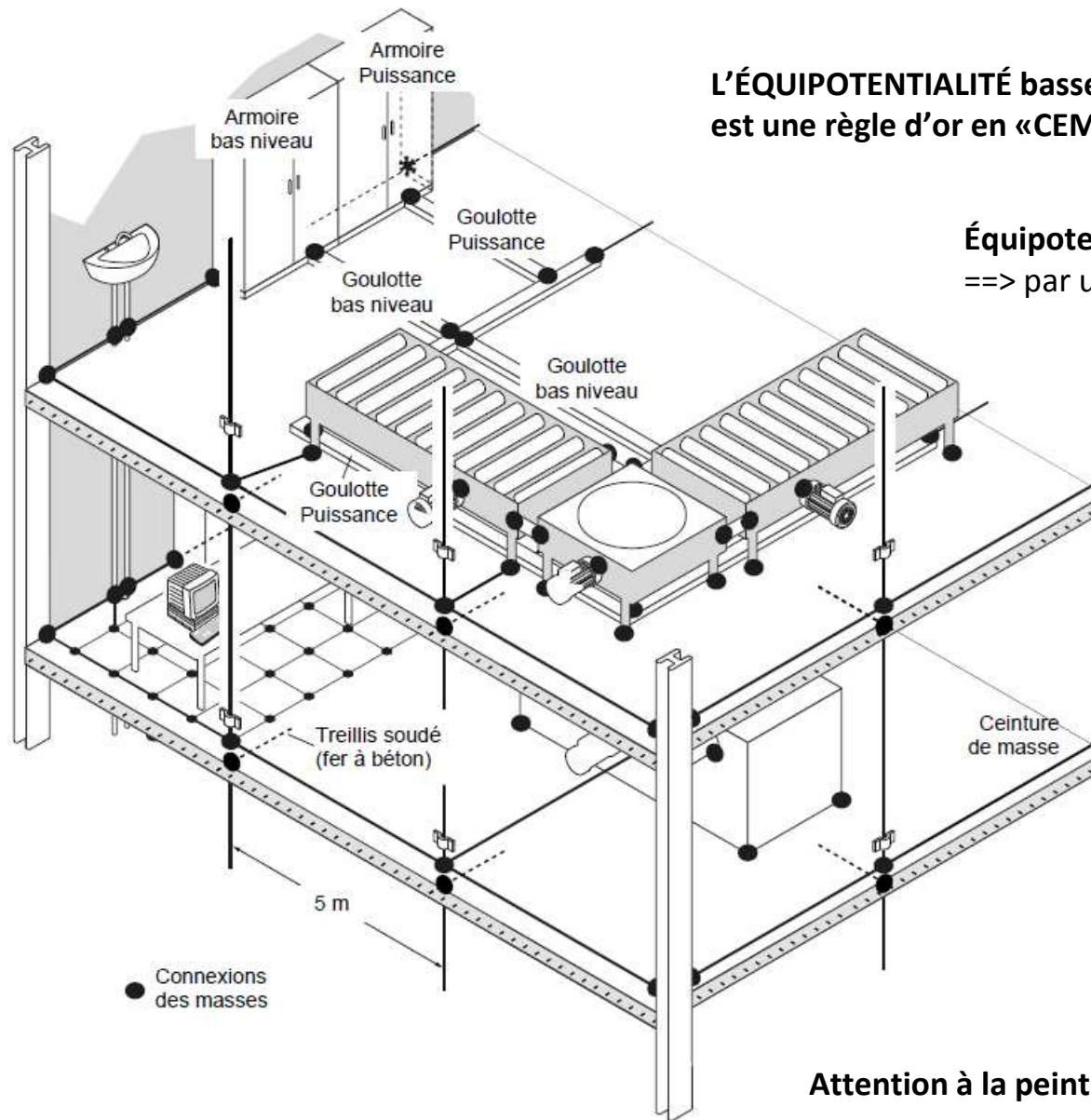
C'est la meilleure assurance contre les dysfonctionnements et la dérive des coûts.

En effet, négliger la «CEM» lors de l'étude du projet génère une économie immédiate de quelques pourcents du coût global de l'installation (les spécialistes «CEM» s'accordent sur un surcoût de 3 à 5%).

Mais, dans ce cas, il est bien souvent nécessaire de réaliser des modifications lors de la mise en service de l'installation. Le coût global de ces modifications, de par la faible marge de manœuvre dépasse souvent plusieurs dizaines de pourcents. Ceci entraîne des délais supplémentaires à la livraison assortis de problèmes de relations commerciales avec le client.

La démarche «CEM» doit être globale

LE BATIMENT



L'ÉQUIPOTENTIALITÉ basse et haute fréquence des masses est une règle d'or en «CEM».

Équipotentialité «BF» et «HF» du site
==> par un maillage spécifique adapté, etc ...

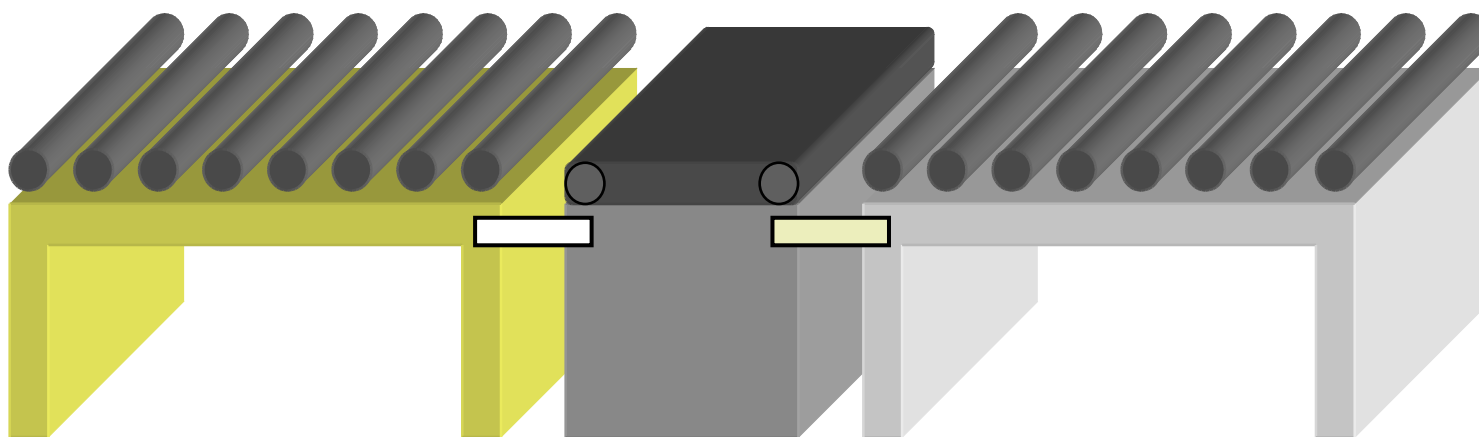
Équipotentialité «BF» et «HF» locale

==> par un maillage de toutes les masses et si nécessaire la réalisation d'un plan de masse spécifique adapté, etc ..

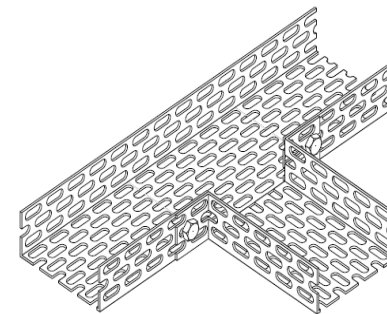
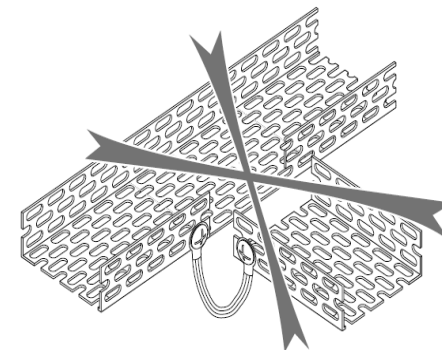
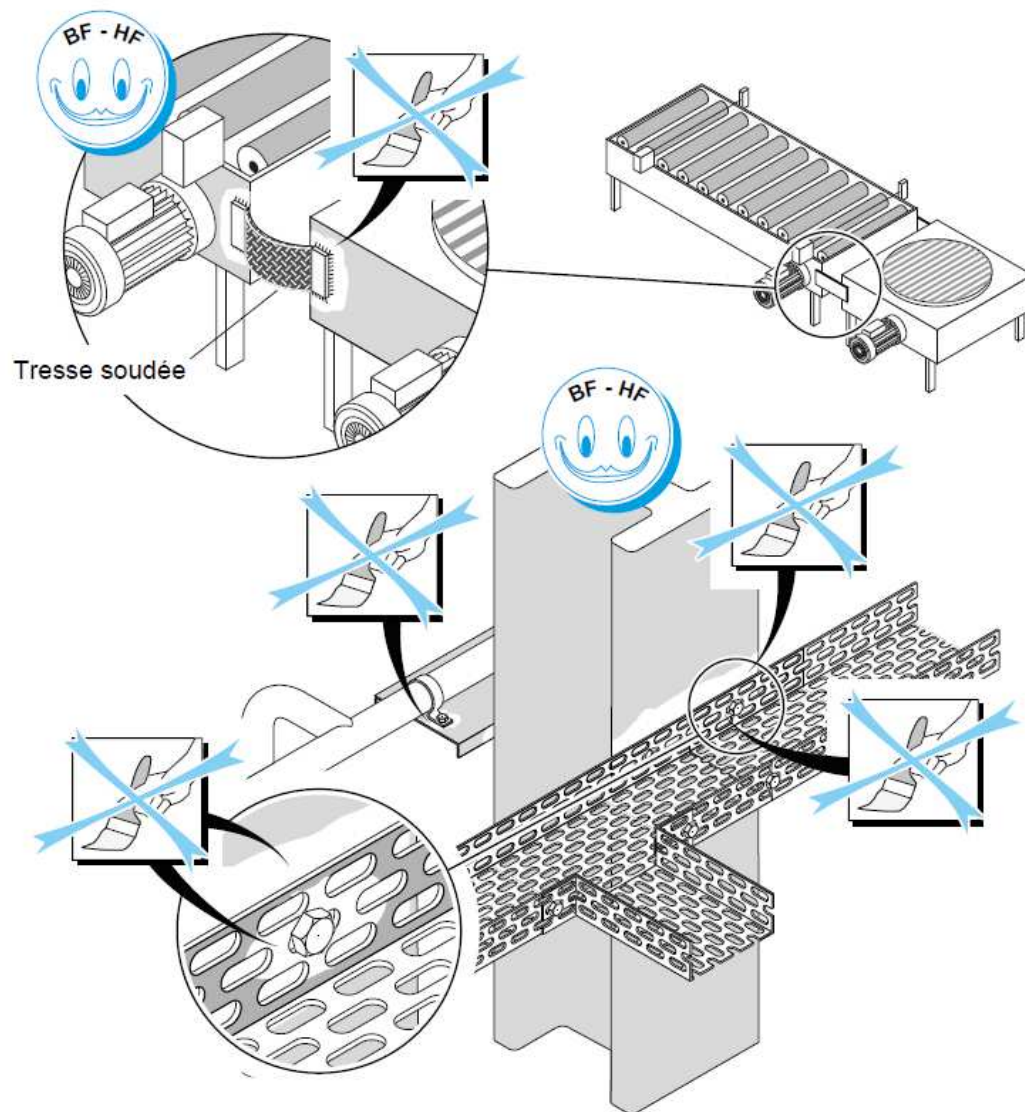
Attention à la peinture et aux revêtements isolants

Boucles de Masse

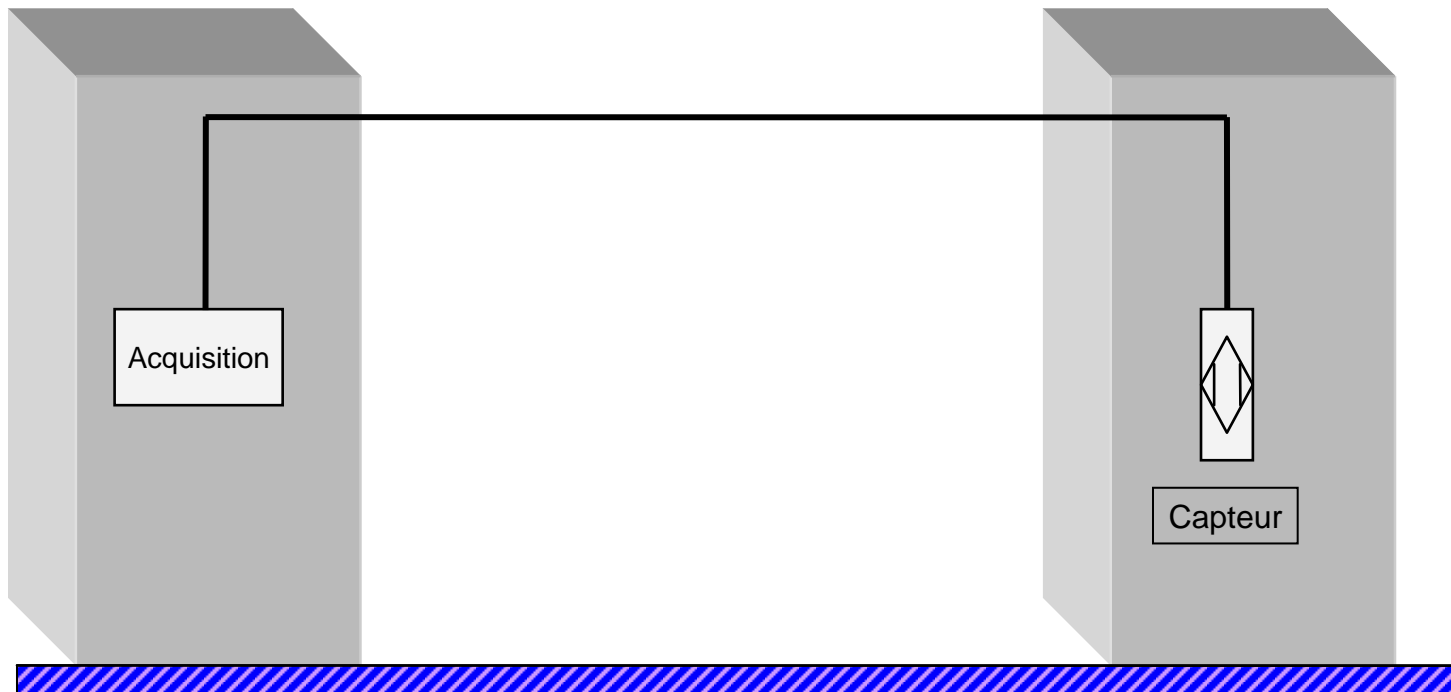
Un constat sur site trop fréquent : l'absence de chaînage



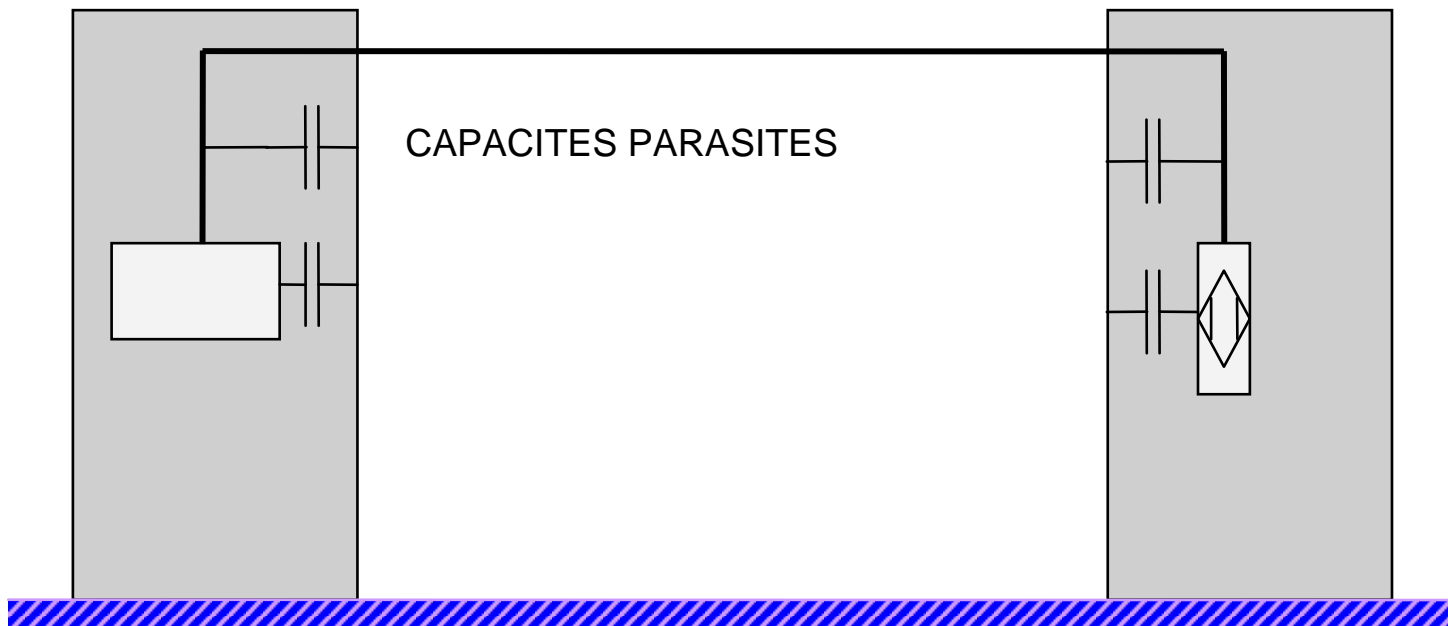
Interconnexions «chaînage» des masses



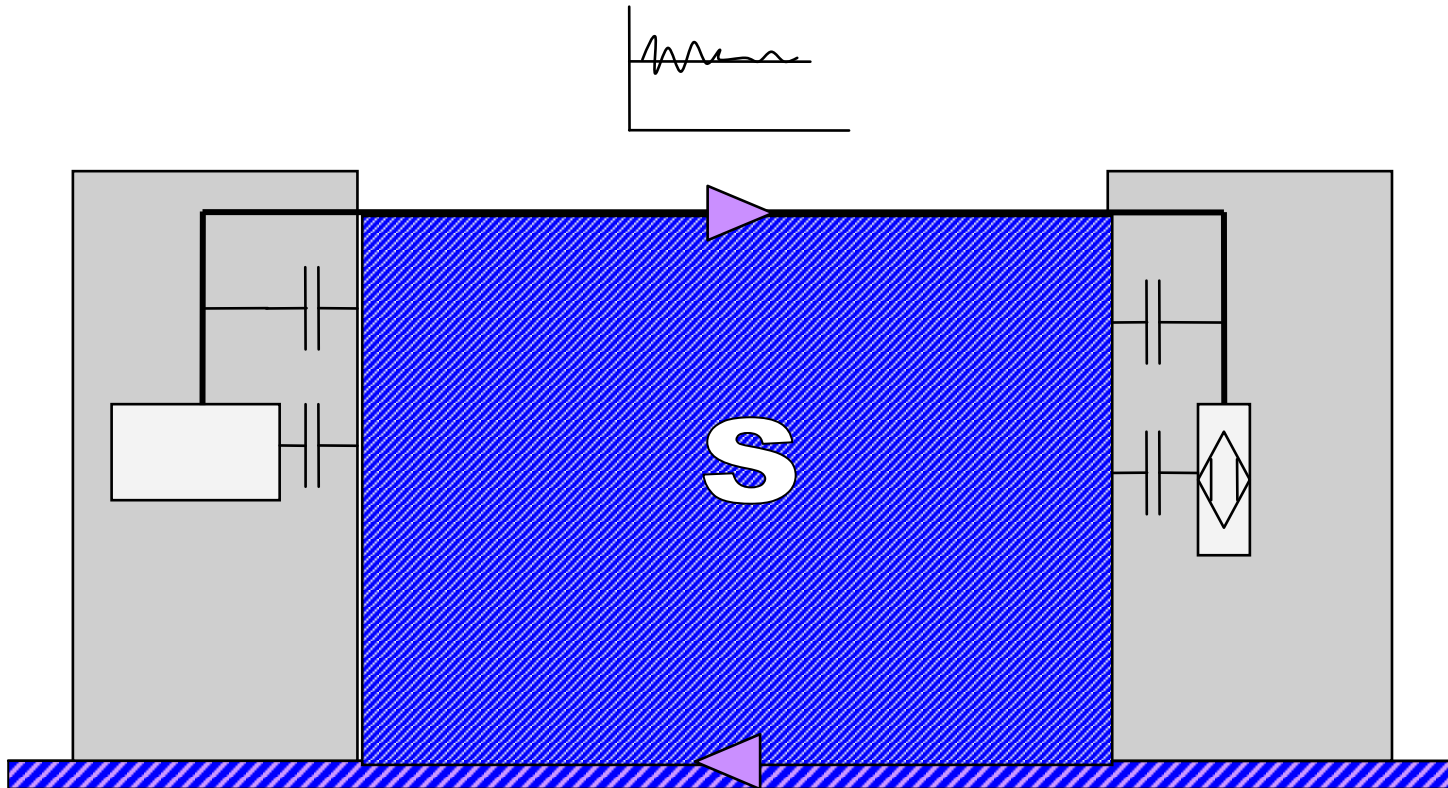
LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES



LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

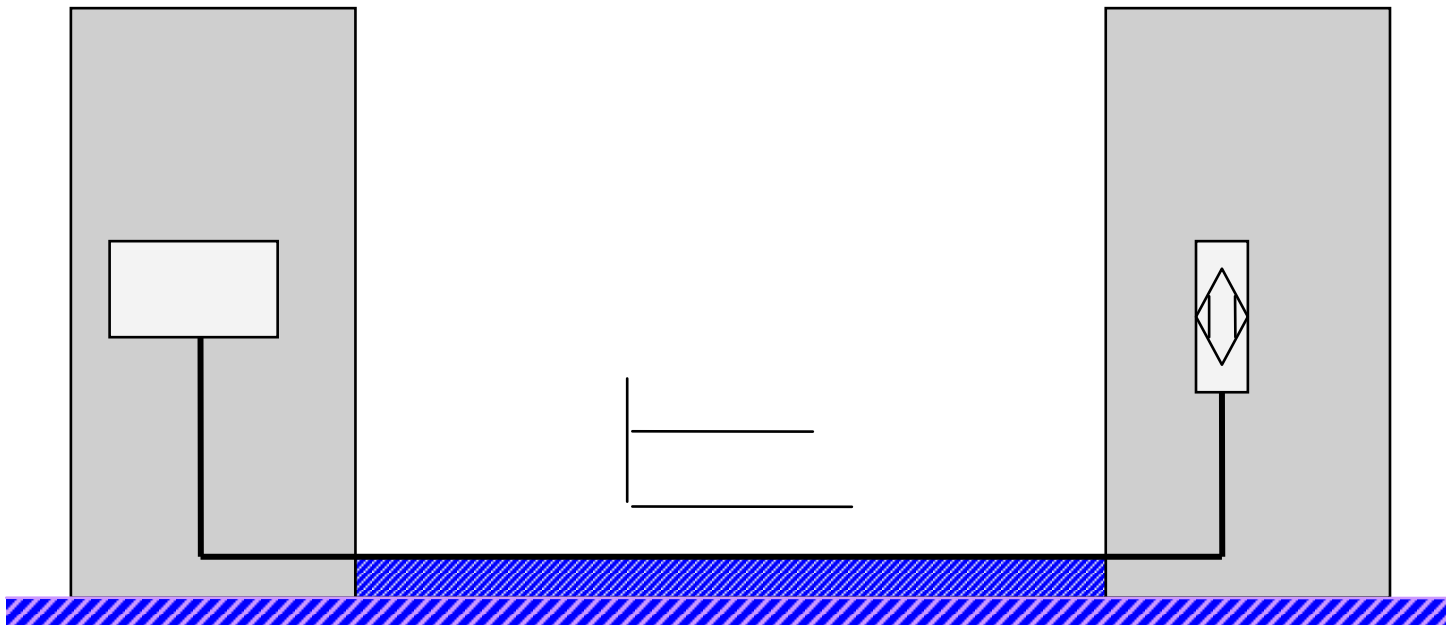


LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES



LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

- réduire les boucles de masse à leur minimum
- assurer la continuité des masses (CEI 364)



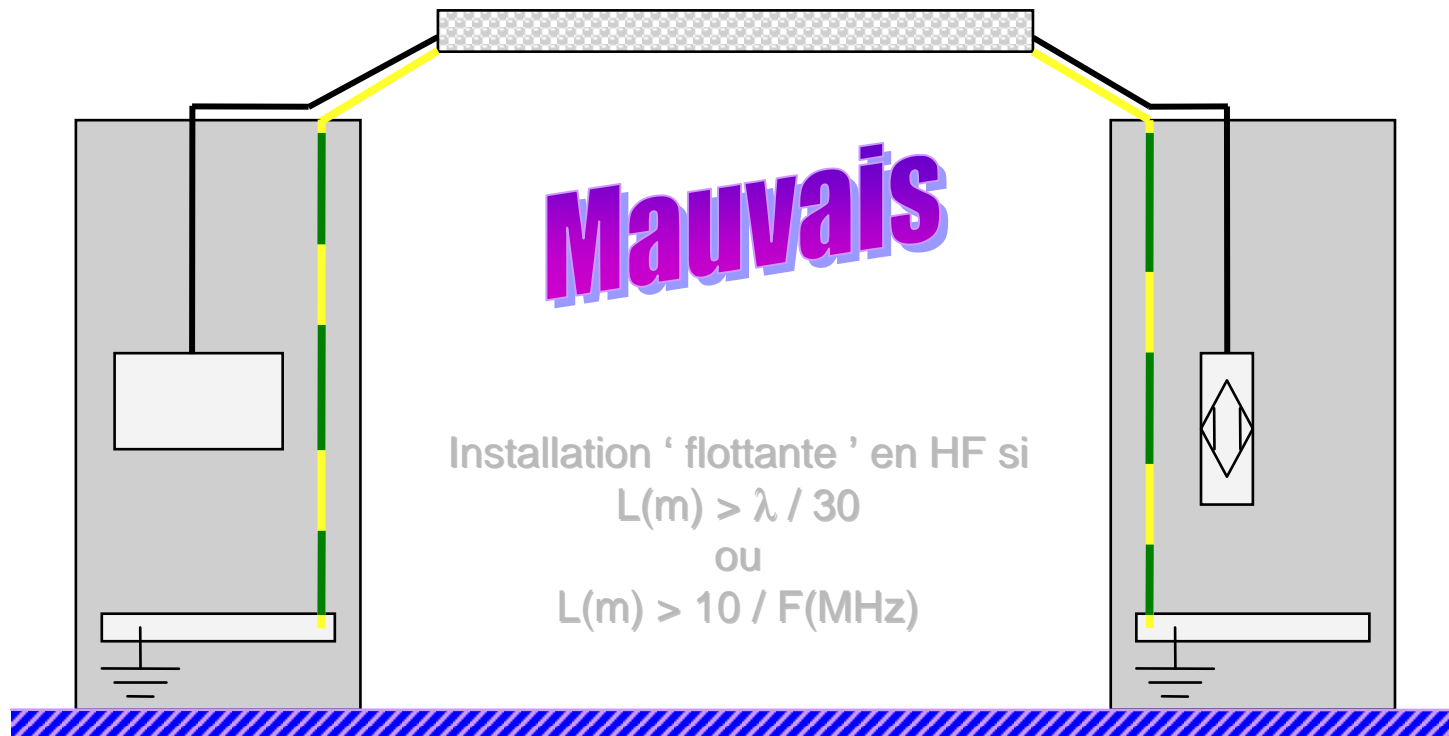
LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

Utiliser les chemins de câble métalliques



LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

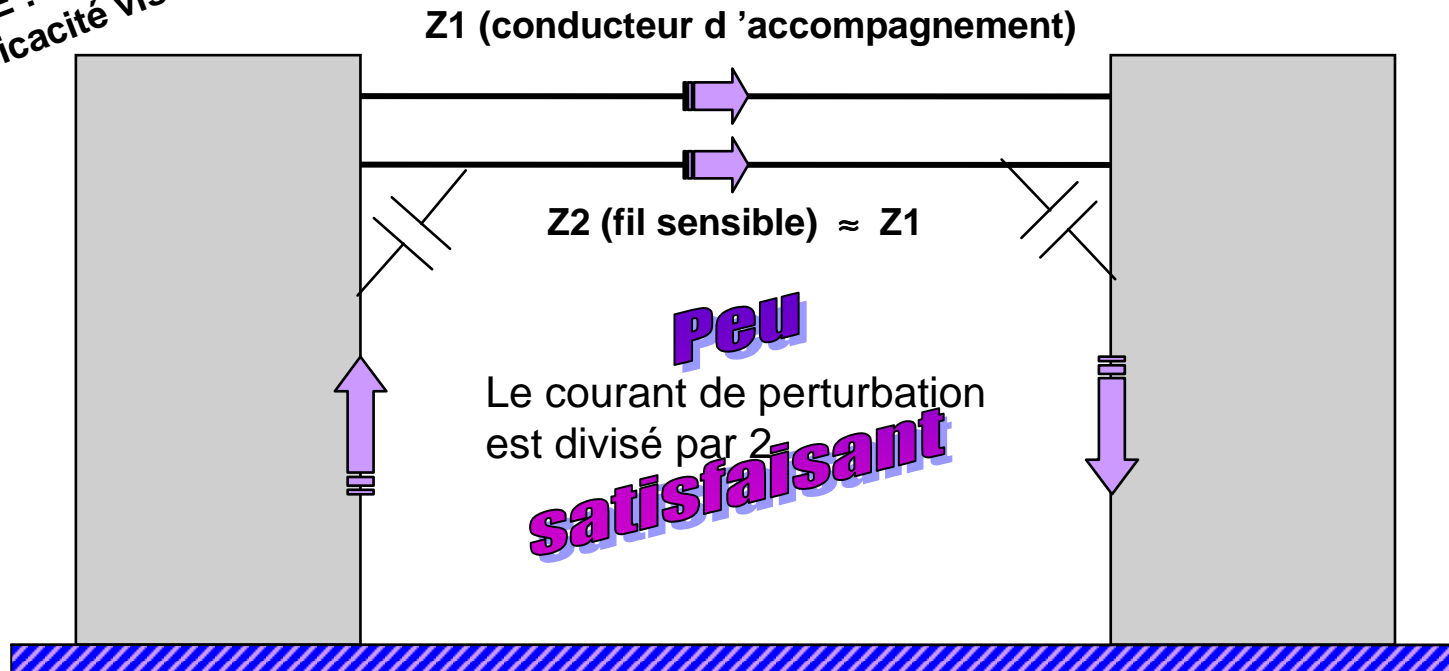
Les erreurs commises



Le V / J est un conducteur d'accompagnement d'impédance élevée

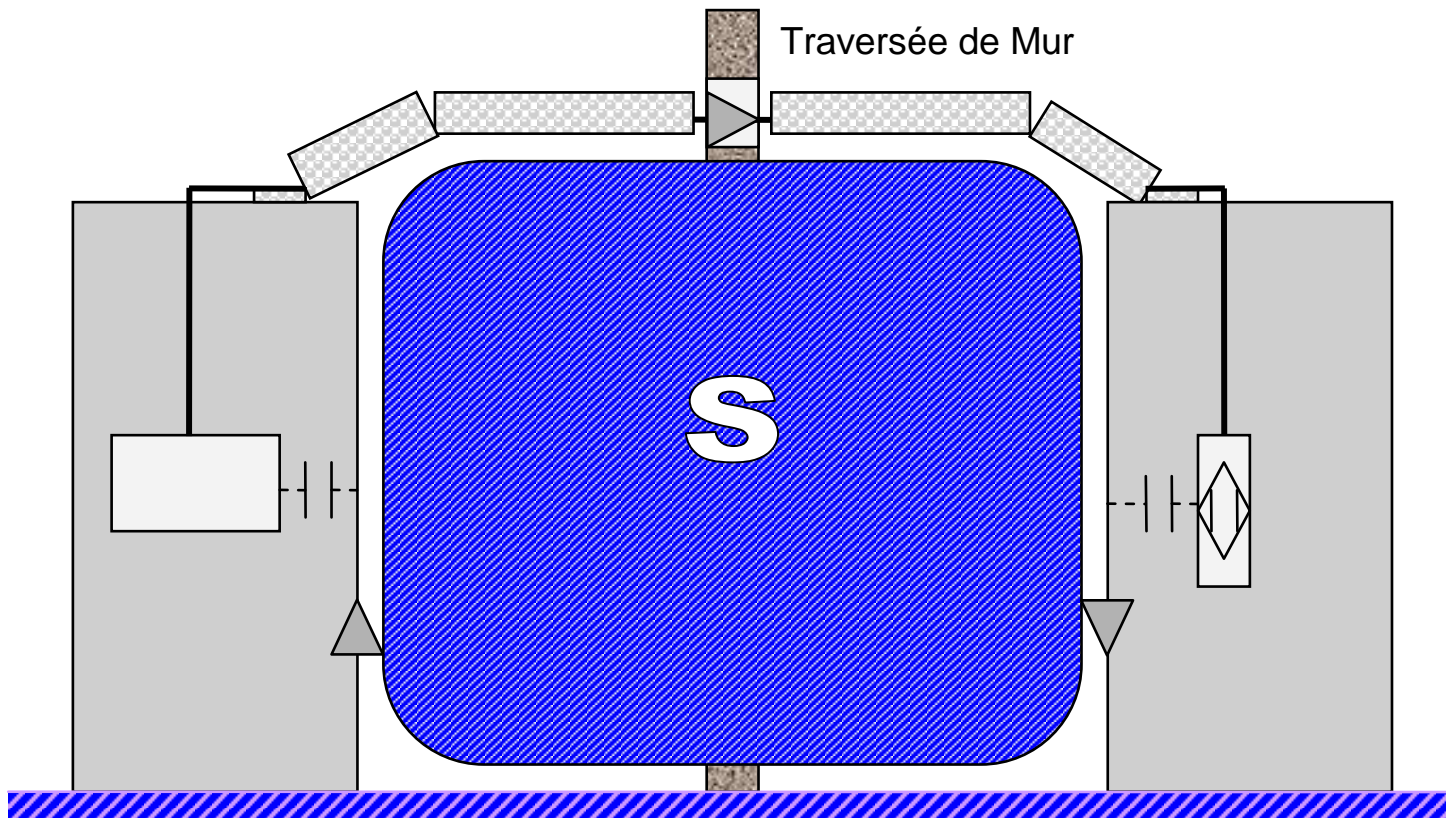
LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

REMARQUE : le torsadage par paires n'a aucune efficacité vis-à-vis du mode commun



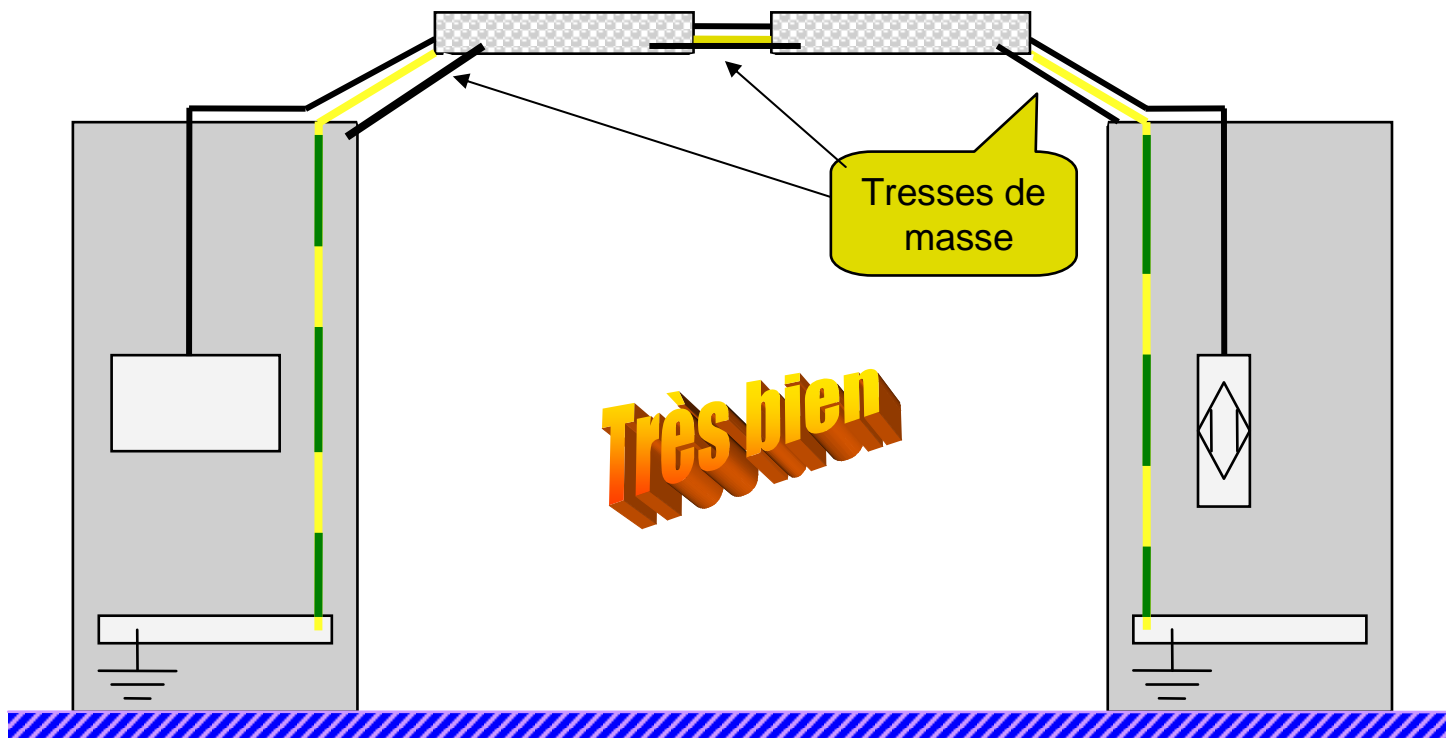
LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

Un constat sur site trop fréquent : l'absence de chaînage lors des traversée de cloisons

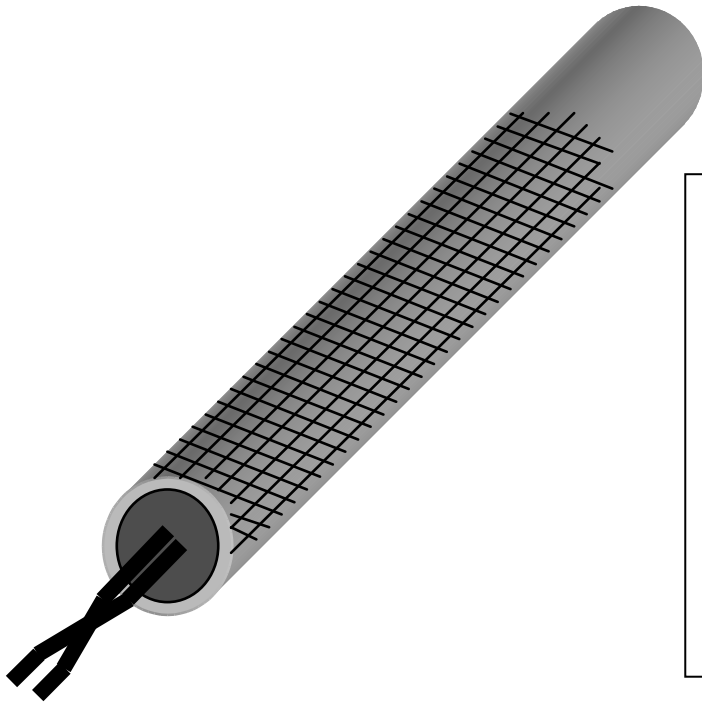


LES BOUCLES DE MASSE ENTRE ARMOIRES

Réaliser l'équipotentialité et la continuité des masses (par basses impédances en HF)



LES BLINDAGES

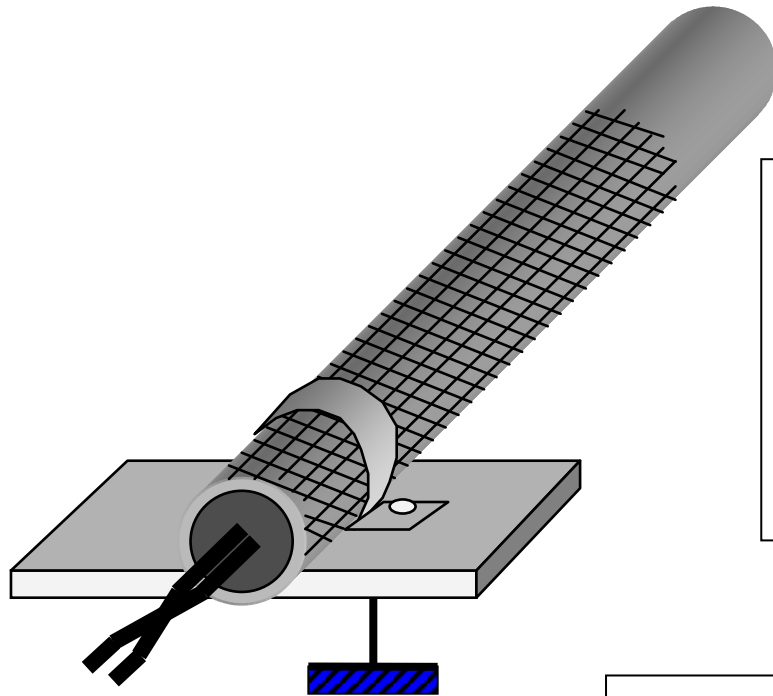


Non reliés à la masse

interdit si accessible au toucher
(CEI 364)

inefficace vis-à-vis des perturb.externes
inefficace contre le champ magnétique
limite la diaphonie capacitive

LES BLINDAGES



Reliés à la masse à une extrémité

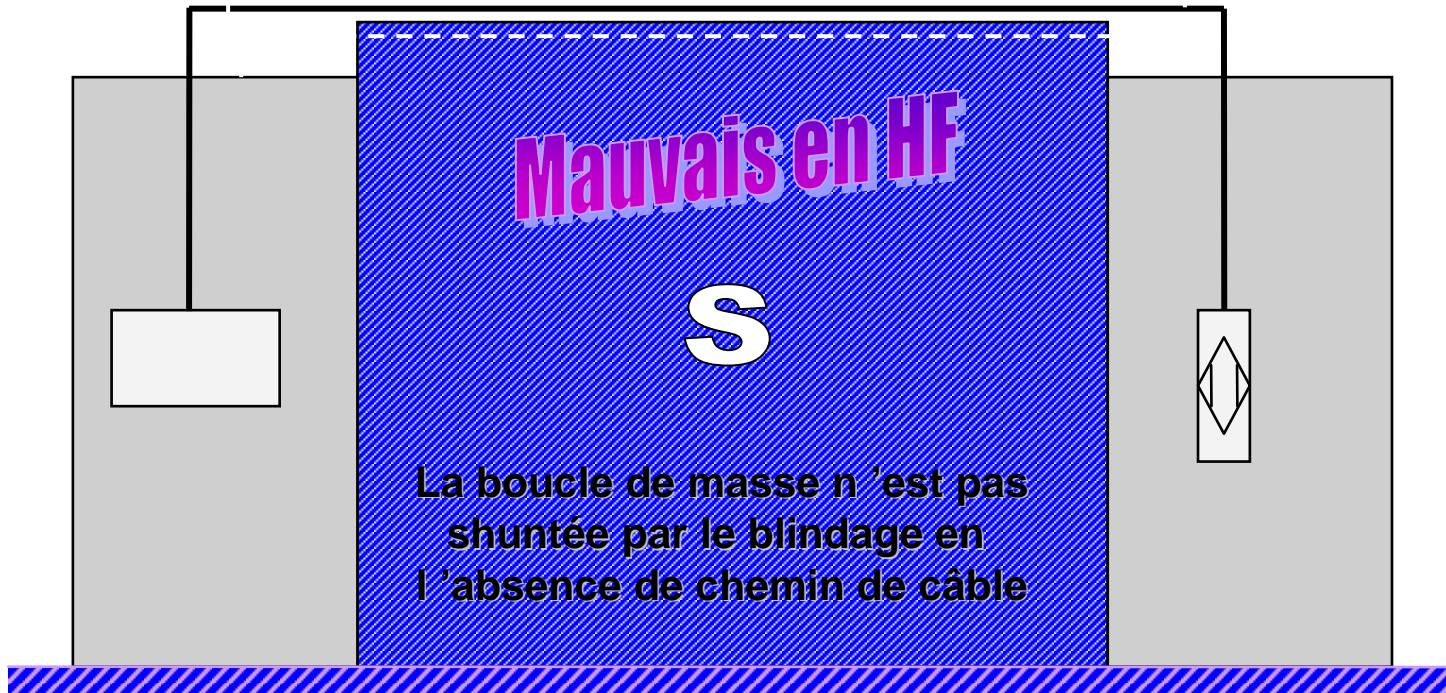
interdit si extrémité libre accessible au
toucher (CEI 364)

inefficace si champ élec extérieur HF
valable si champ élec extérieur BF

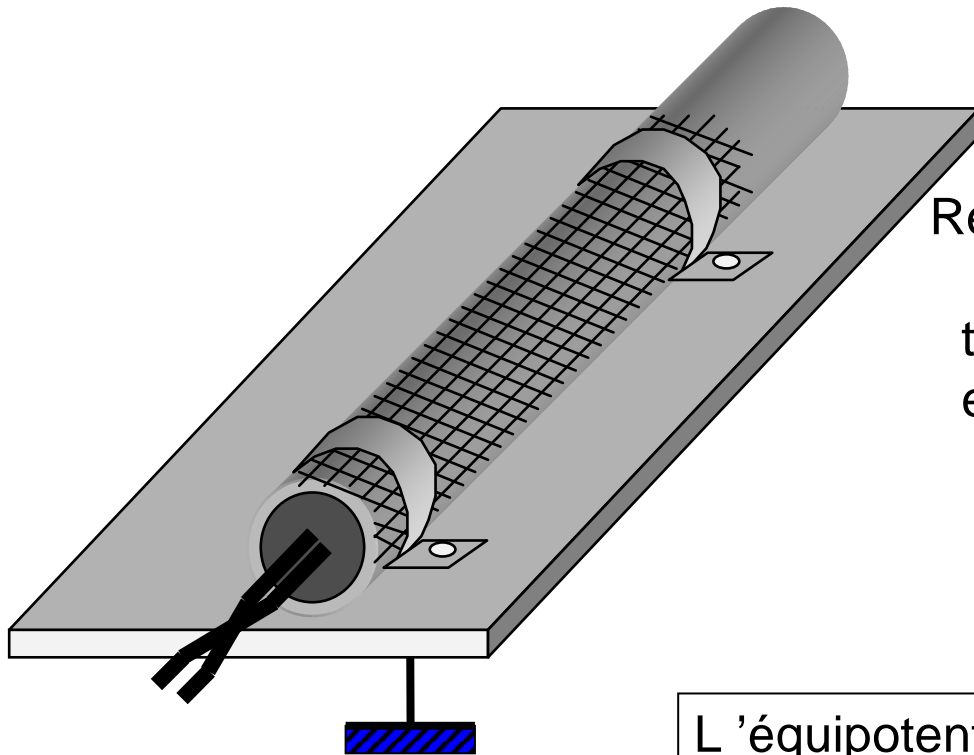
Acceptable si problème d ' équipotentialité du site,
évite la ' ronflette ' BF

LES BLINDAGES

Problème si blindage à 1 extrémité à la masse



LES BLINDAGES



Reliés à la masse aux 2 extrémités

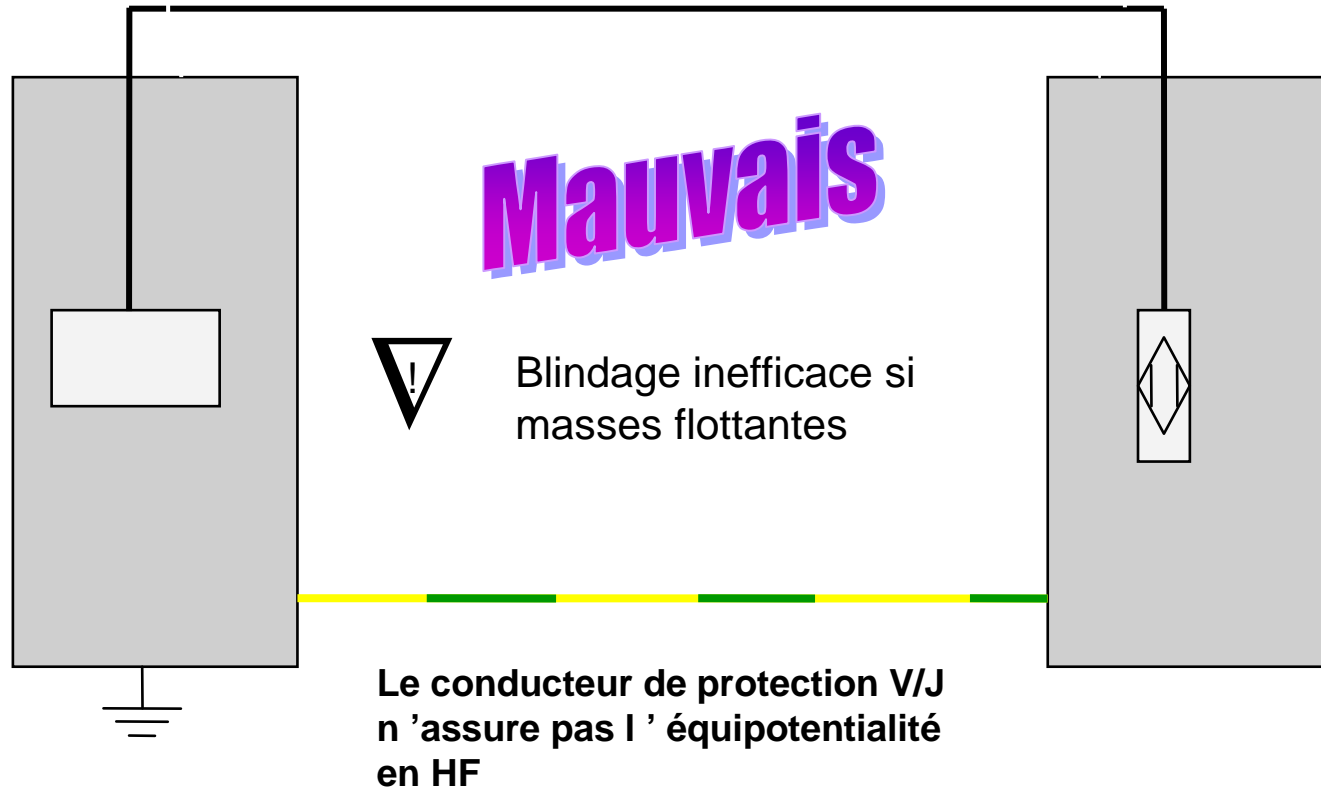
très efficace contre perturbations HF
effet réducteur élevé 100 à 300

L'équipotentialité du site doit être réalisée

LES BLINDAGES

Problèmes si non liaison des masses

Risques d'échauffement du blindage



LES BLINDAGES

Raccorder le blindage aux 2 extrémités



L'ALIMENTATION

Les constituants

- Répertorier les perturbateurs potentiels et déterminer le type de perturbations émises (nature, intensité, fréquence ...).

- Répertorier les matériels sensibles et déterminer leur niveau d'immunité.

Utiliser par exemple les documents constructeurs, relever les caractéristiques tels que :

- puissance, tension d'alimentation (380 V ; 500 V ...), la nature des signaux , la fréquence des signaux (50 Hz, 60 Hz, 10 kHz ...),
- le type du circuit (commutation à contact sec ...)
- le type de charge commandée (inductance ou bobine ...).

Avant toute chose, il est nécessaire de définir et de réaliser un plan de masse de référence non peint en fond d'armoire

Plan de masse de référence

Cette tôle ou grille métallique sera raccordée en plusieurs points au bâti de l'armoire métallique elle-même reliée au réseau de masse de l'équipement.

Tous les composants, (filtres ...) seront directement boulonnés sur ce plan de masse.

Tous les câbles seront plaqués sur ce plan de masse.

Les reprises de blindage à 360° seront réalisées par colliers directement boulonnés sur ce plan de masse.

Un soin particulier sera apporté dans la réalisation de toutes les connexions

L'ALIMENTATION

Implantation des constituants

Séparer et répartir les constituants, câbles ... «perturbateurs» et «sensibles» dans des armoires distinctes.

Petites armoires

Un cloisonnement par des tôles de séparation raccordées en plusieurs points à la masse permet de réduire l'influence des perturbations.

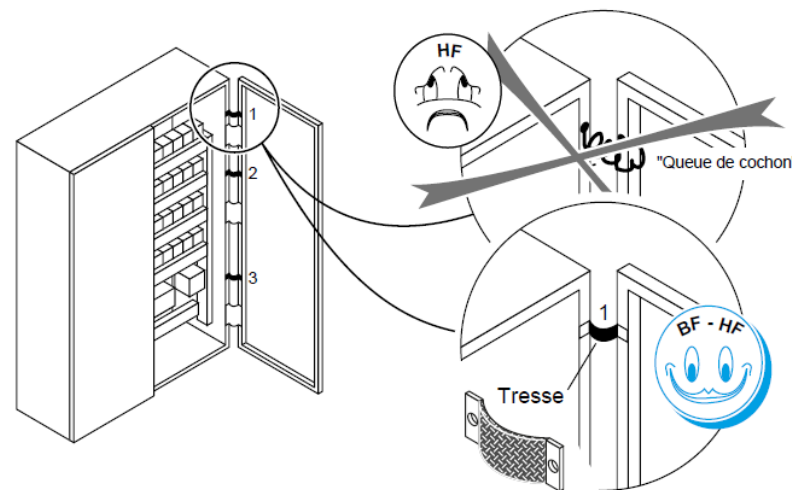
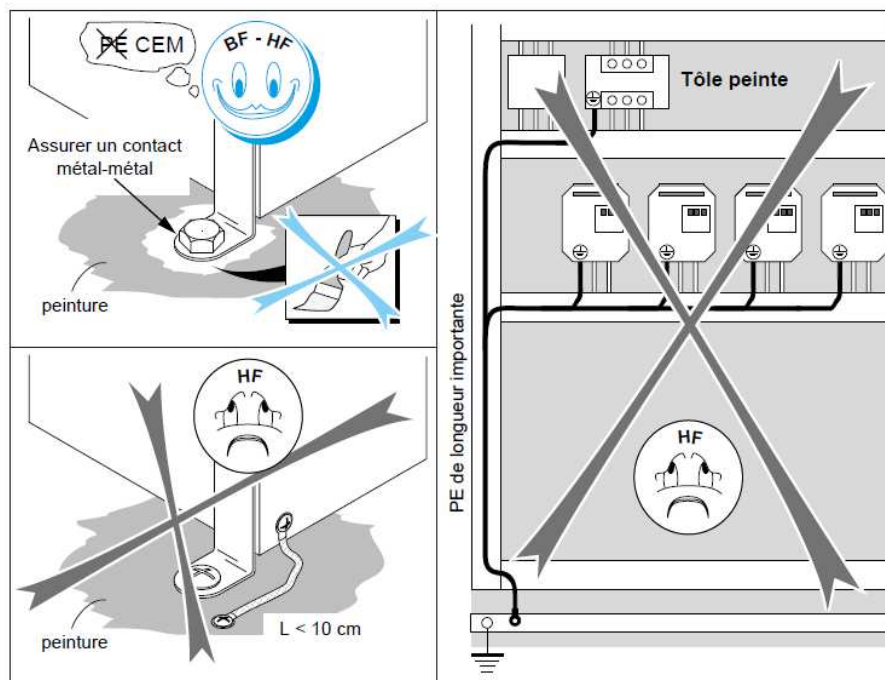
Grandes armoires

Affecter une armoire par classe de constituant ...

Les armoires «perturbateurs» et «sensibles» doivent être distinctes et séparées les unes des autres.

Le non respect de ces points peut réduire à néant tous les efforts réalisés sur le montage et la mise en œuvre.

L'ALIMENTATION

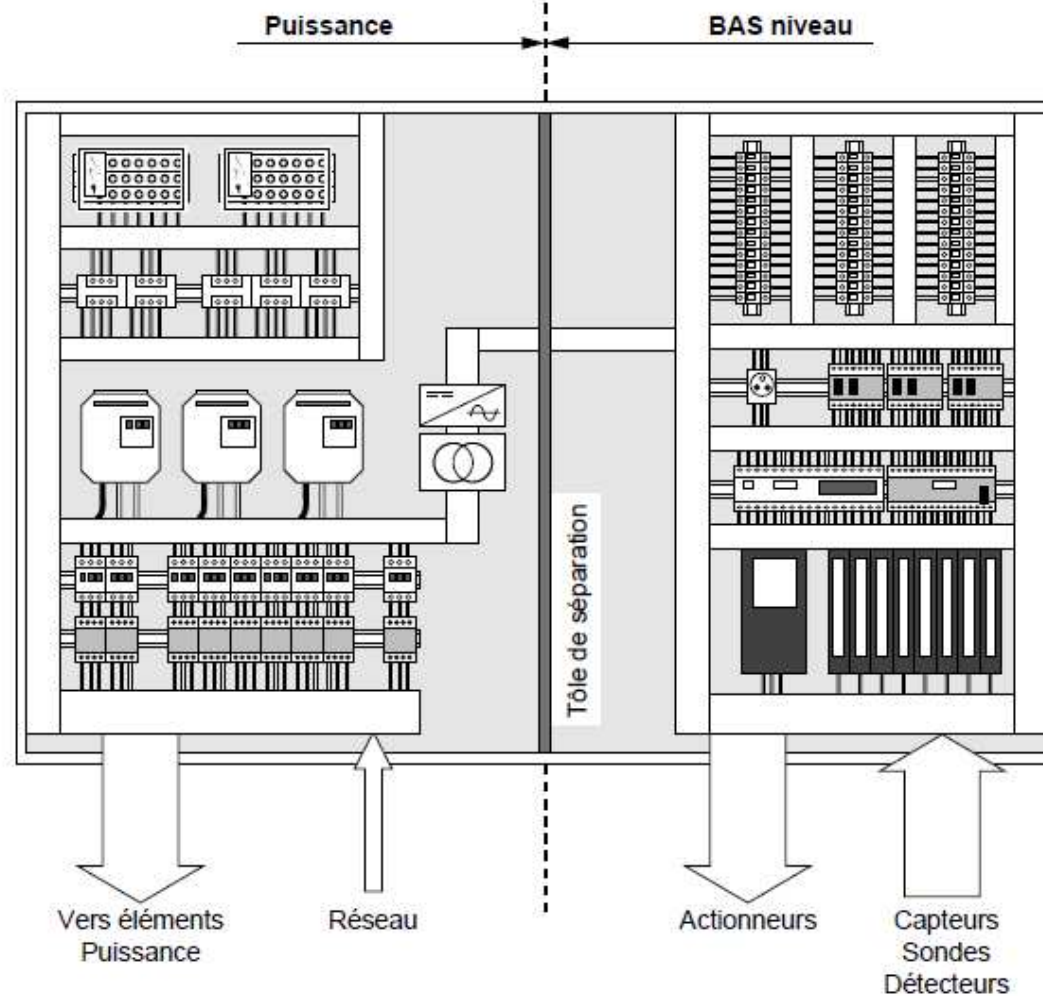


Toutes les masses métalliques des composants et constituants montés dans l'armoire devront être boulonnées directement sur la plaque de plan de masse afin d'assurer un contact métal/métal de qualité et durable.
==> Le fil de terre vert-jaune de par sa trop grande longueur ne peut généralement pas assurer un raccordement à la masse de qualité en «HF»

Toute armoire doit comporter une plaque de plan de masse en fond d'armoire
NON PEINTE

L'ALIMENTATION

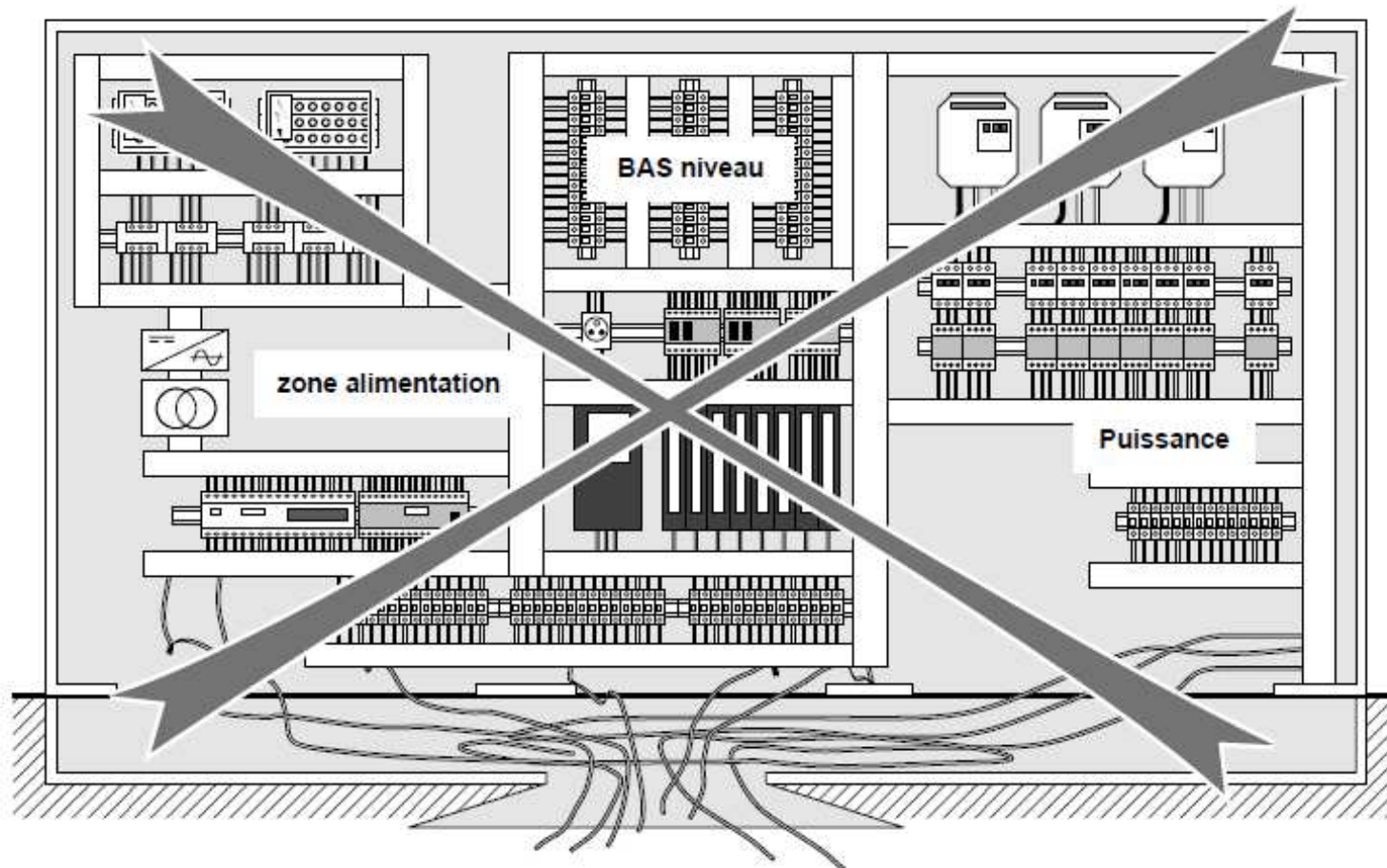
Exemple de structuration d'une petite armoire



Dans les petites armoires, un cloisonnement par tôle métallique boulonnée au châssis peut suffire

L'ALIMENTATION

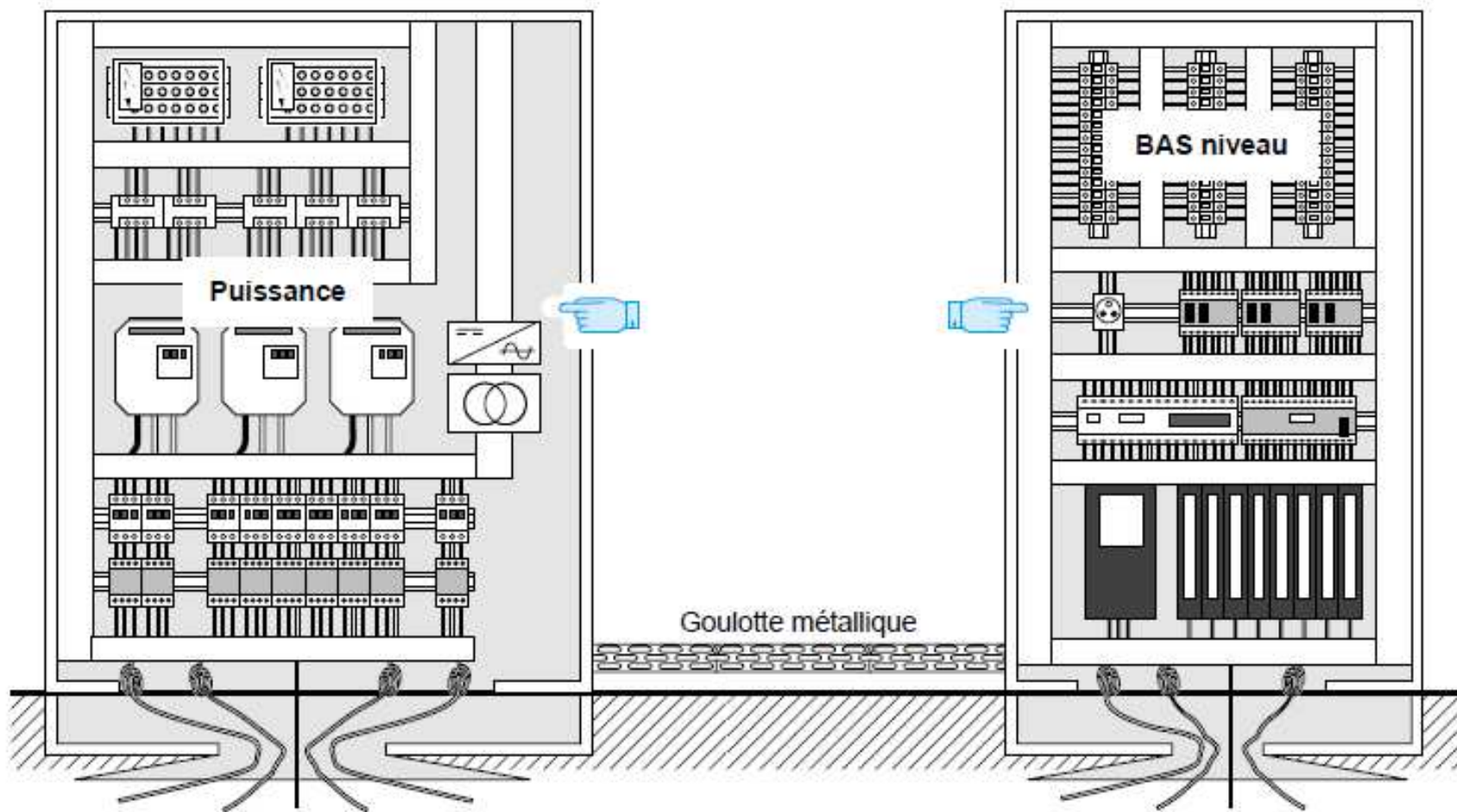
Exemple de structuration d'une grande armoire



Ne pas mélanger les câbles, enrouler le surplus de câble sur lui-même.

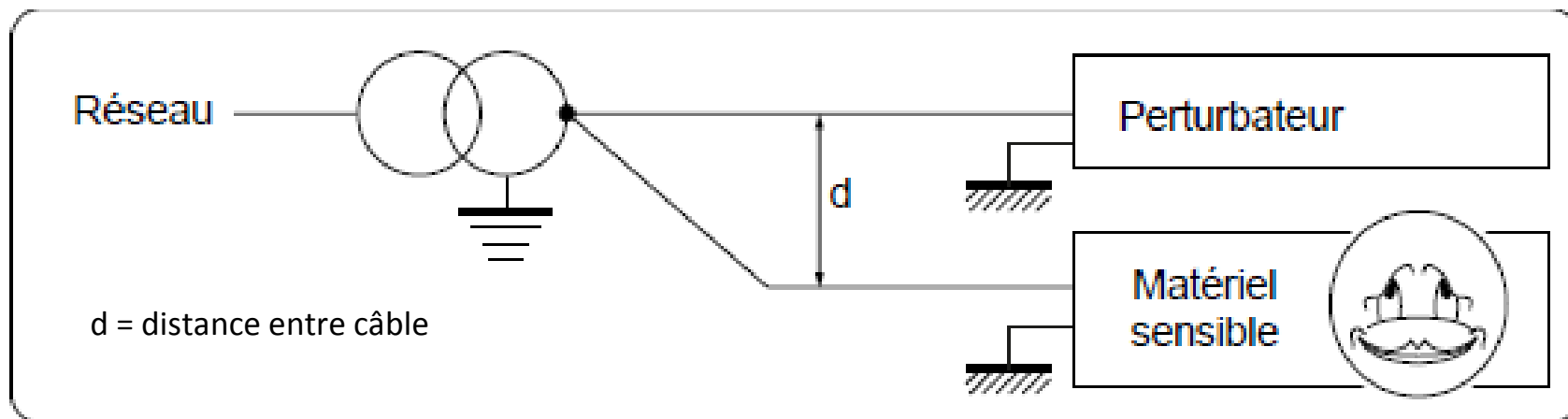
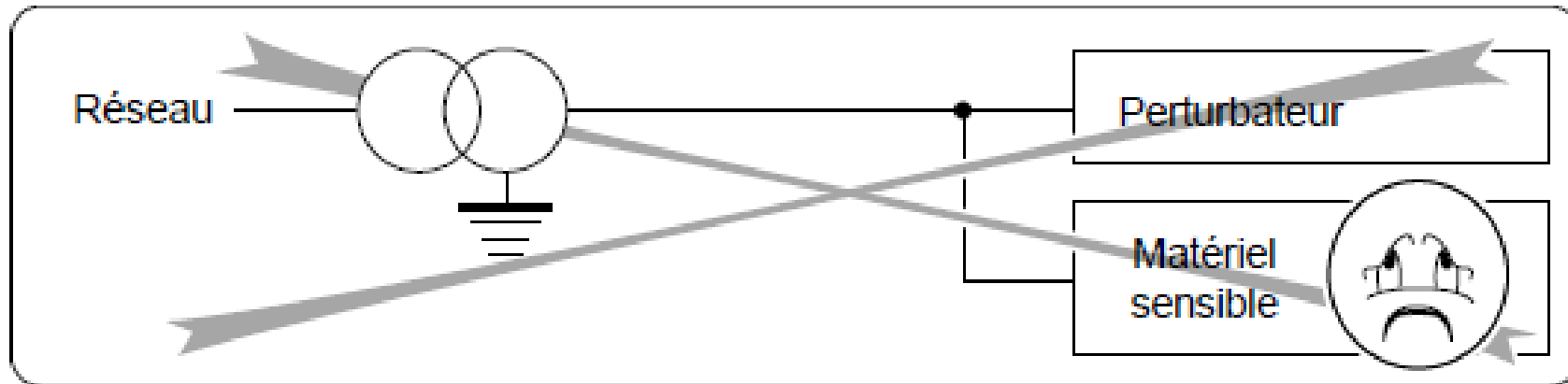
L'ALIMENTATION

Exemple de structuration d'une grande armoire



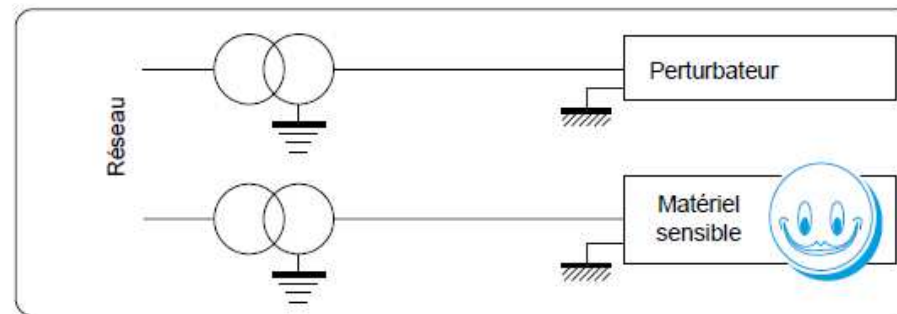
L'ALIMENTATION

Il faut câbler les alimentations des appareils en ÉTOILE à partir de l'alimentation source

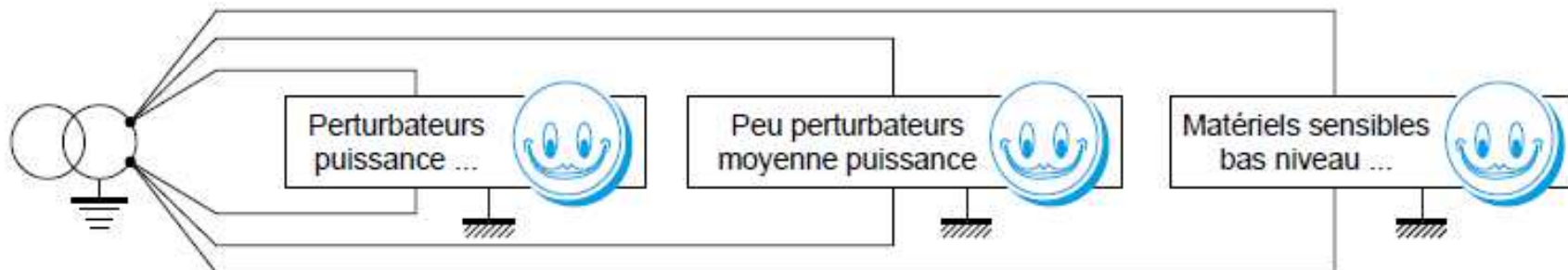


L'ALIMENTATION

En cas d'utilisation de matériels très sensibles ou fortement perturbateurs, il est nécessaire de séparer les alimentations.

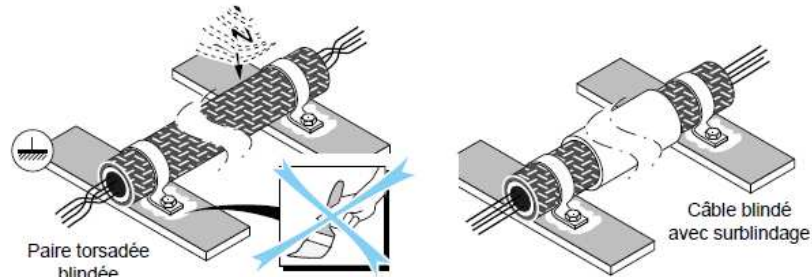


Il faut câbler les circuits d'alimentation en plaçant les matériels perturbateurs au plus près de la source et les plus sensibles au plus loin.

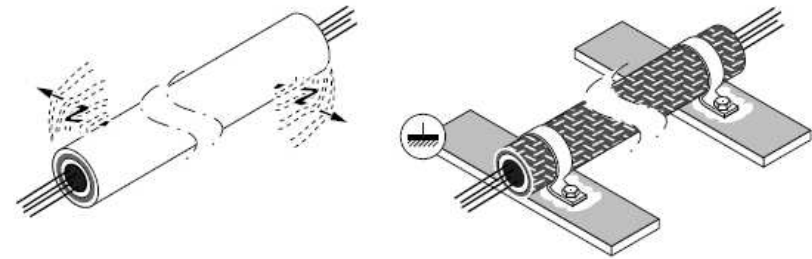


LES CABLES

Classe 1 : Signaux sensibles

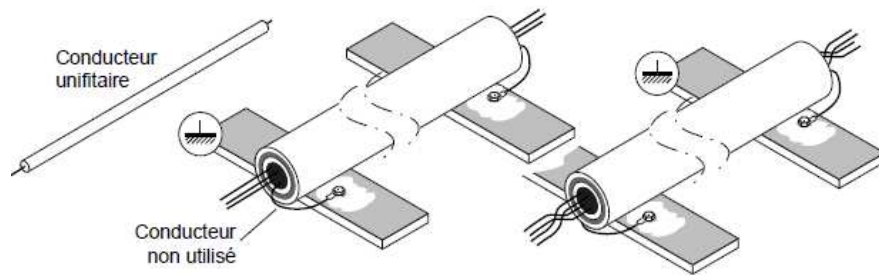


Classe 2 : Signaux peu sensibles

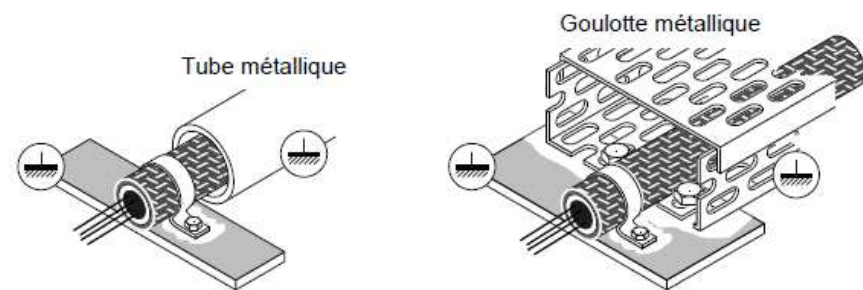


Exemple de câbles utilisés pour les différentes classes de signaux

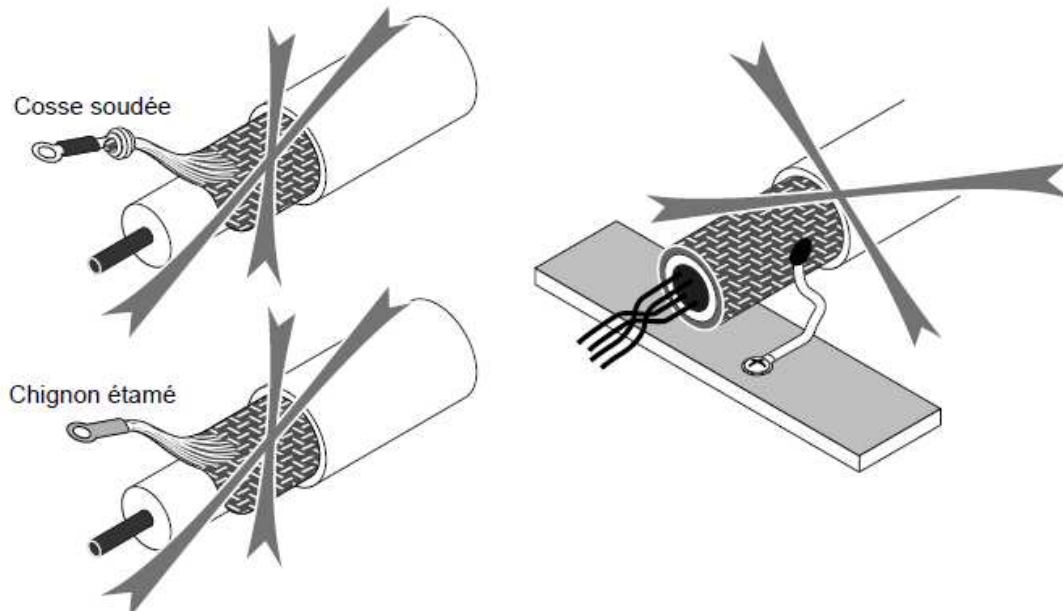
Classe 3 : Signaux peu perturbateurs



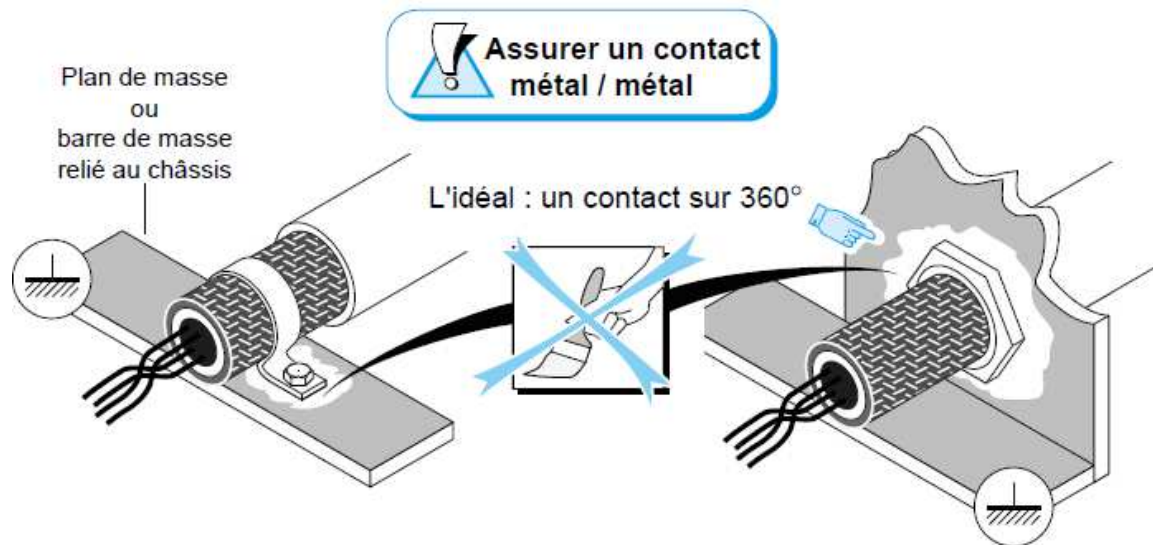
Classe 4 : Signaux perturbateurs



LE RACCORDEMENT DES BLINDAGES



Attention aux feuilles plastiques isolantes entre blindage et gaine



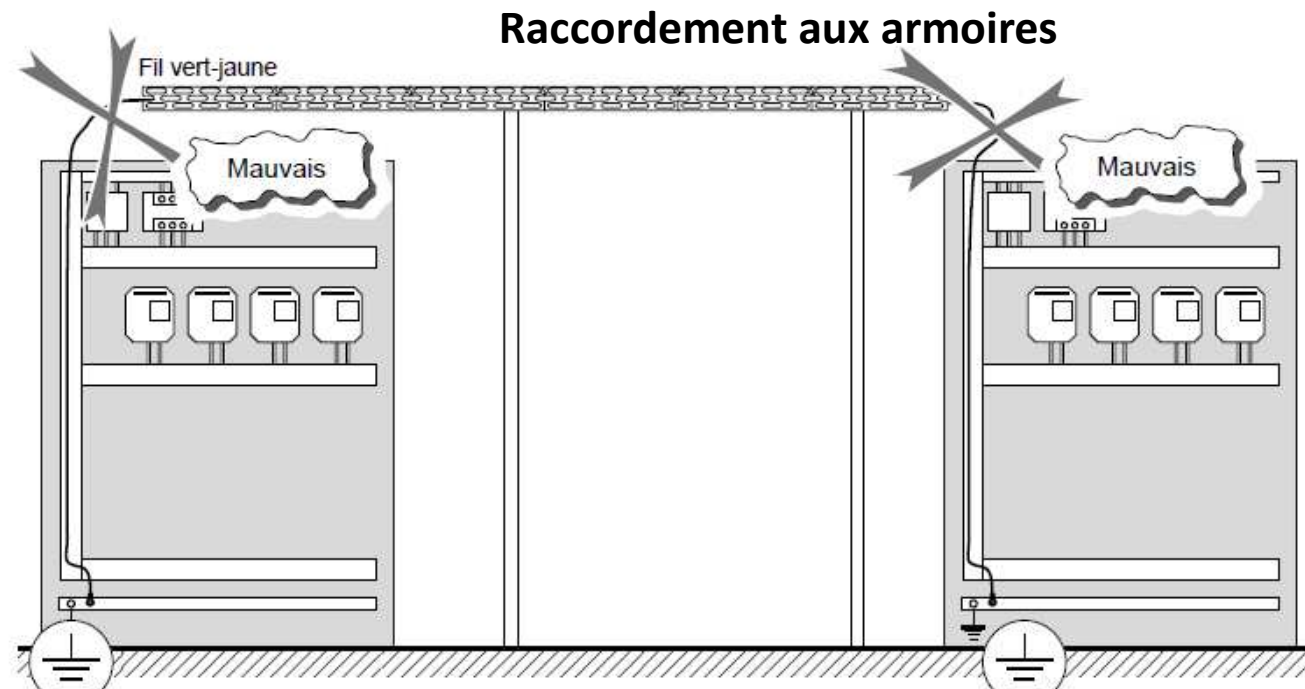
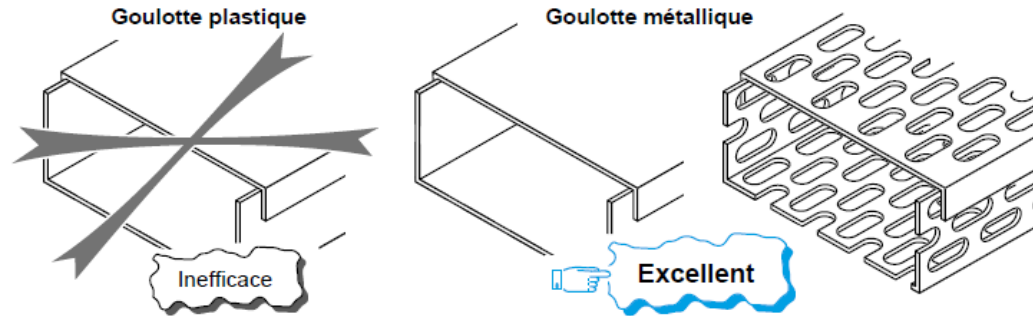
Les connexions en extrémité de blindage doivent être assurées par une reprise sur 360° métal sur métal

LE RACCORDEMENT DES BLINDAGES

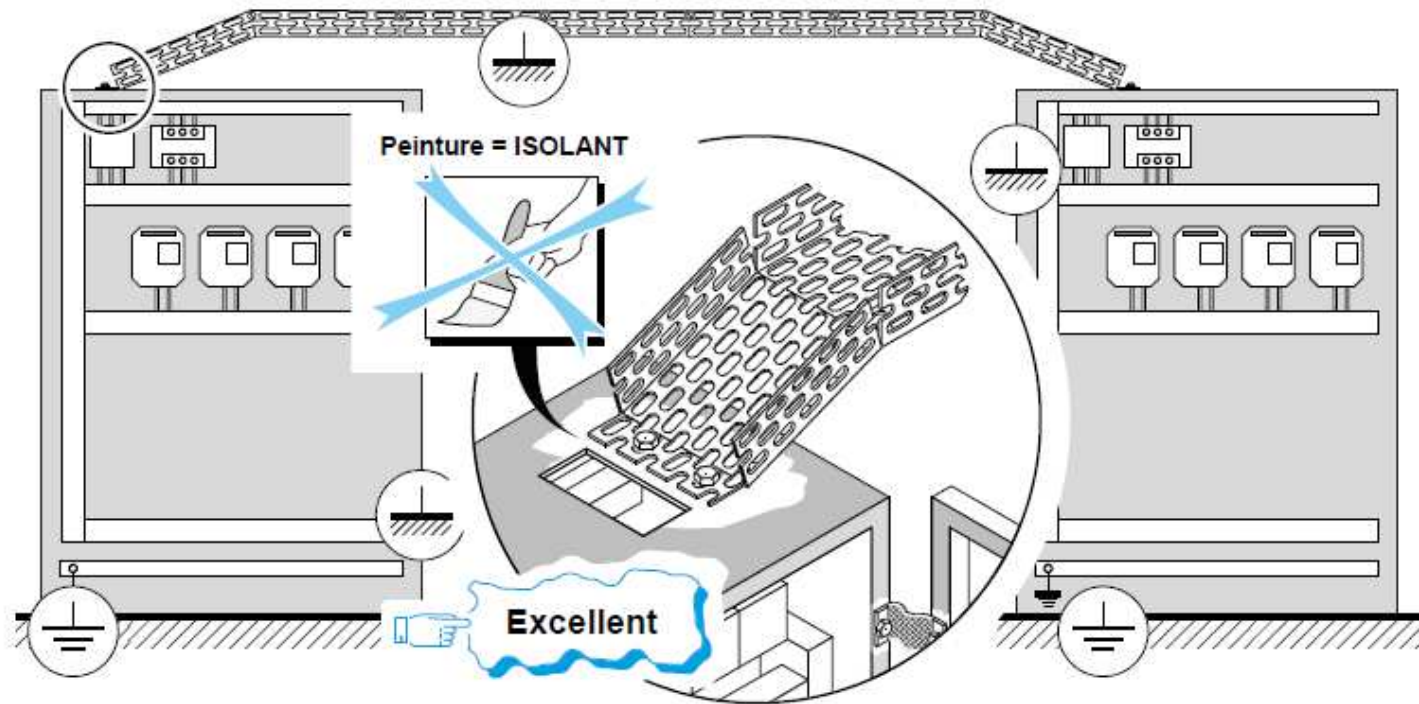
Utilisation de presses étoupe avec continuité des blindages



LES GOULOTTES ET CHEMINS DE CABLES



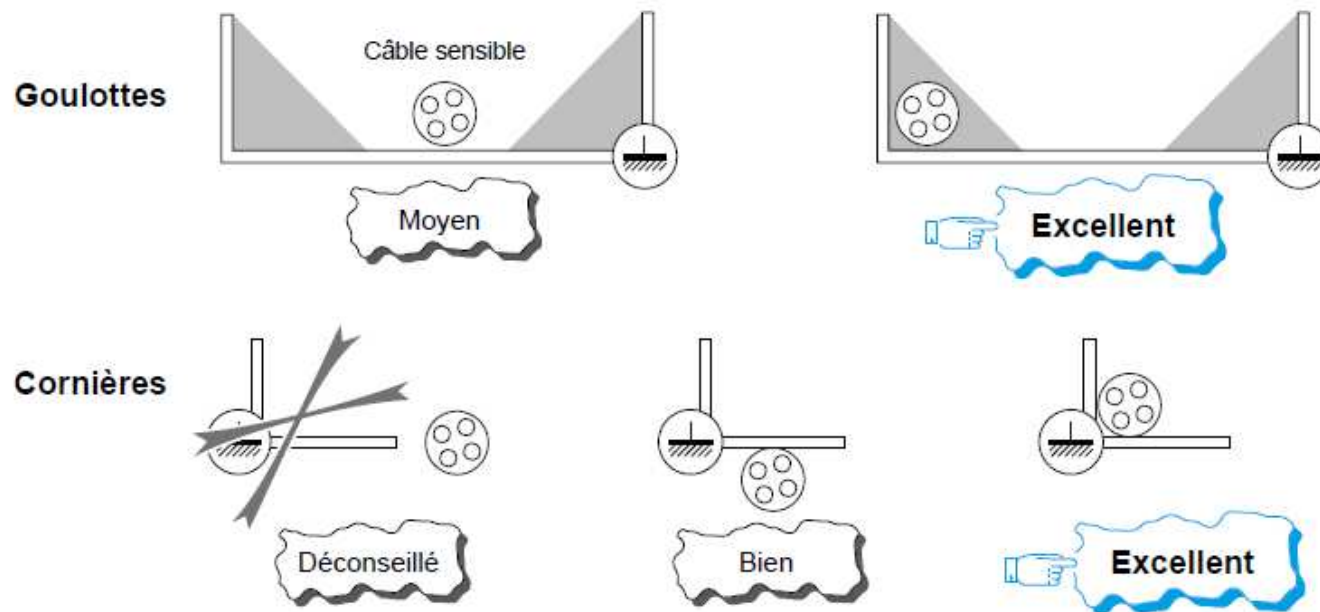
LES GOULOTTES ET CHEMINS DE CABLES



Les extrémités des goulottes, tubes métalliques ... doivent être boulonnées sur les armoires métalliques en assurant une connexion adéquate.

LES GOULOTTES ET CHEMINS DE CABLES

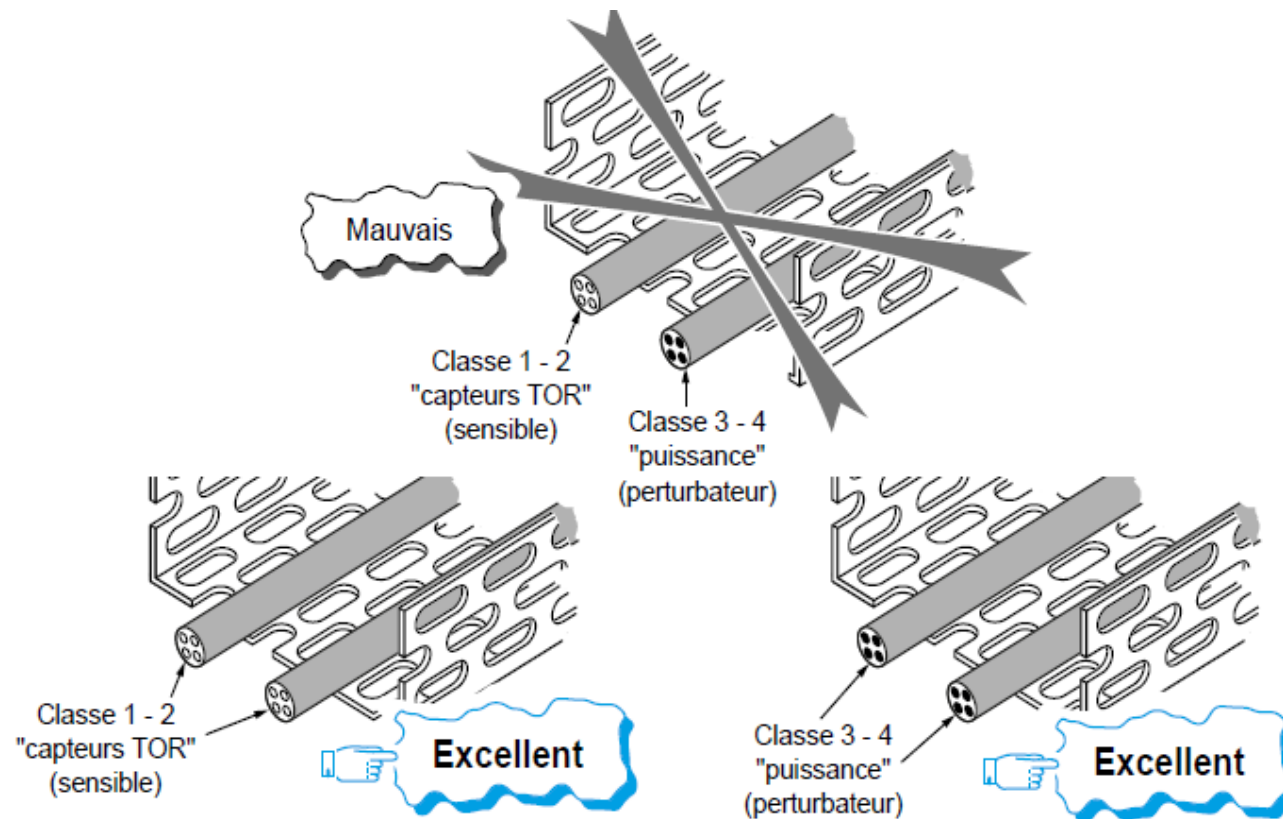
Positionnement des câbles



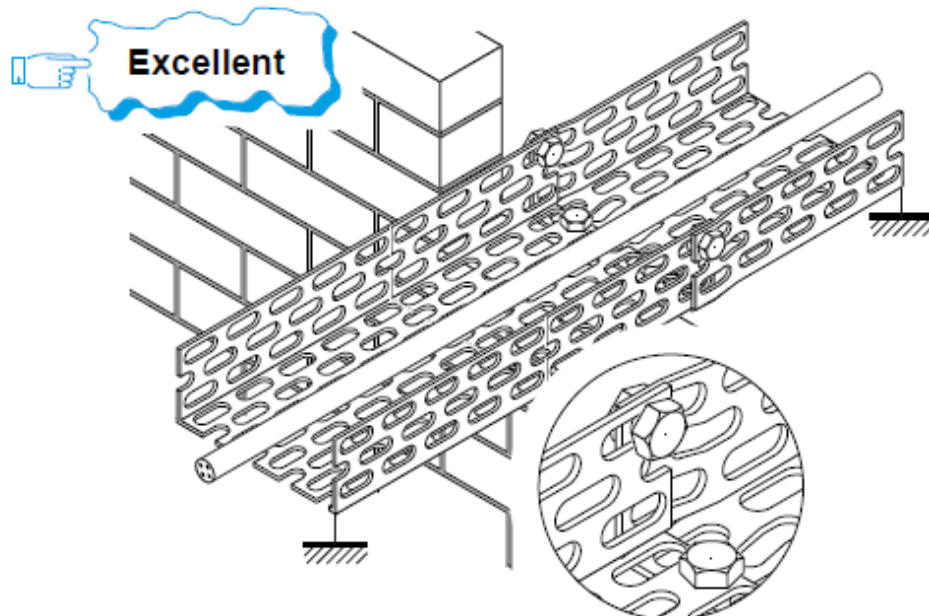
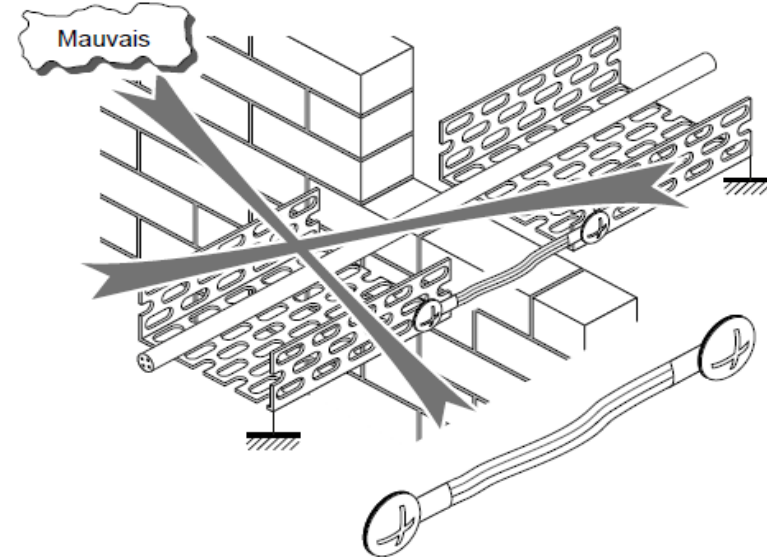
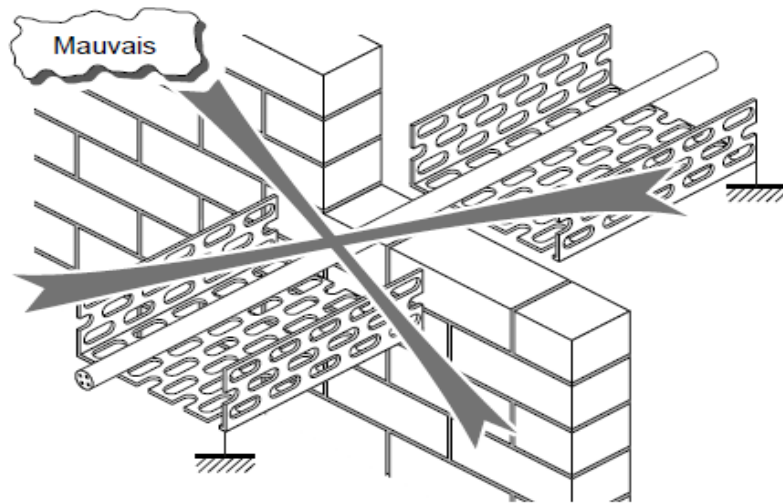
La meilleure des goulottes métalliques devient inefficace si la qualité des connexions d'extrémité est mauvaise.

LES GOULOTTES ET CHEMINS DE CABLES

Les câbles perturbateurs et sensibles doivent cheminer dans des chemins de câbles distincts

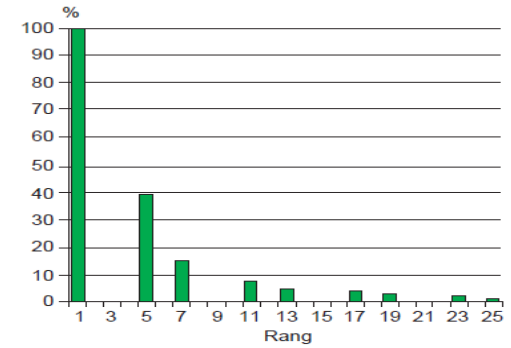
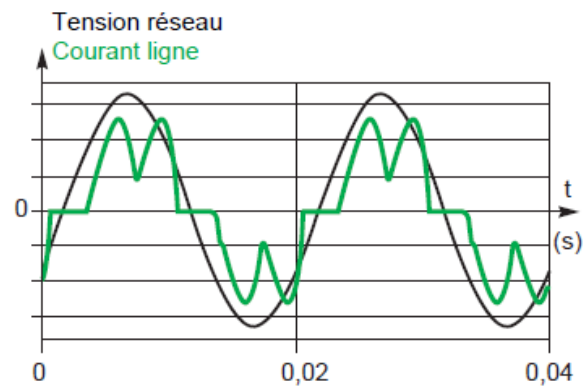
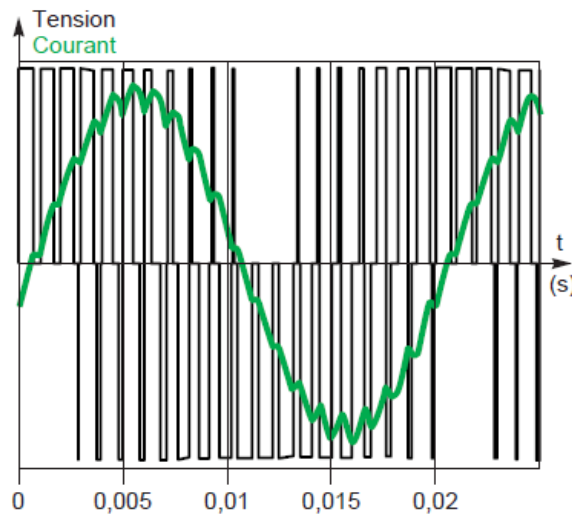


LES GOULOTTES ET CHEMINS DE CABLES



Un conducteur d'une longueur de > 10 cm divise par 10 l'efficacité de la goulotte

DES EFFETS INDESIRABLES



Transfert des perturbations dans le rotor

LES SOLUTIONS



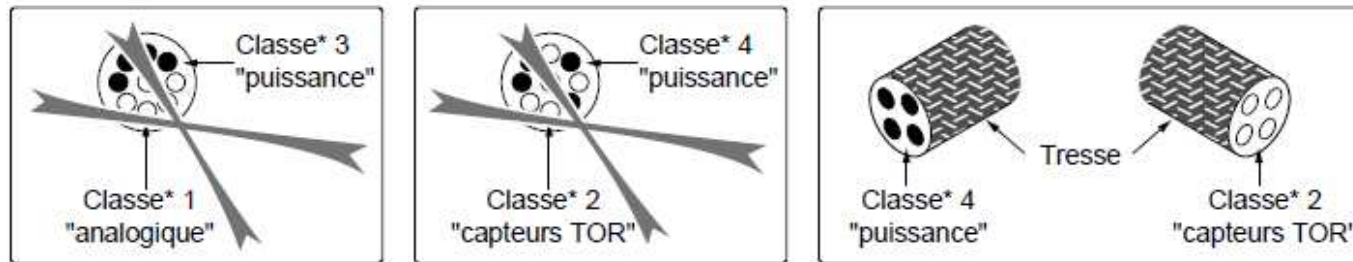
ROULEMENTS ISOLES



BALAI DE MISE A LA TERRE DU ROTOR

Les 10 commandements de la CEM

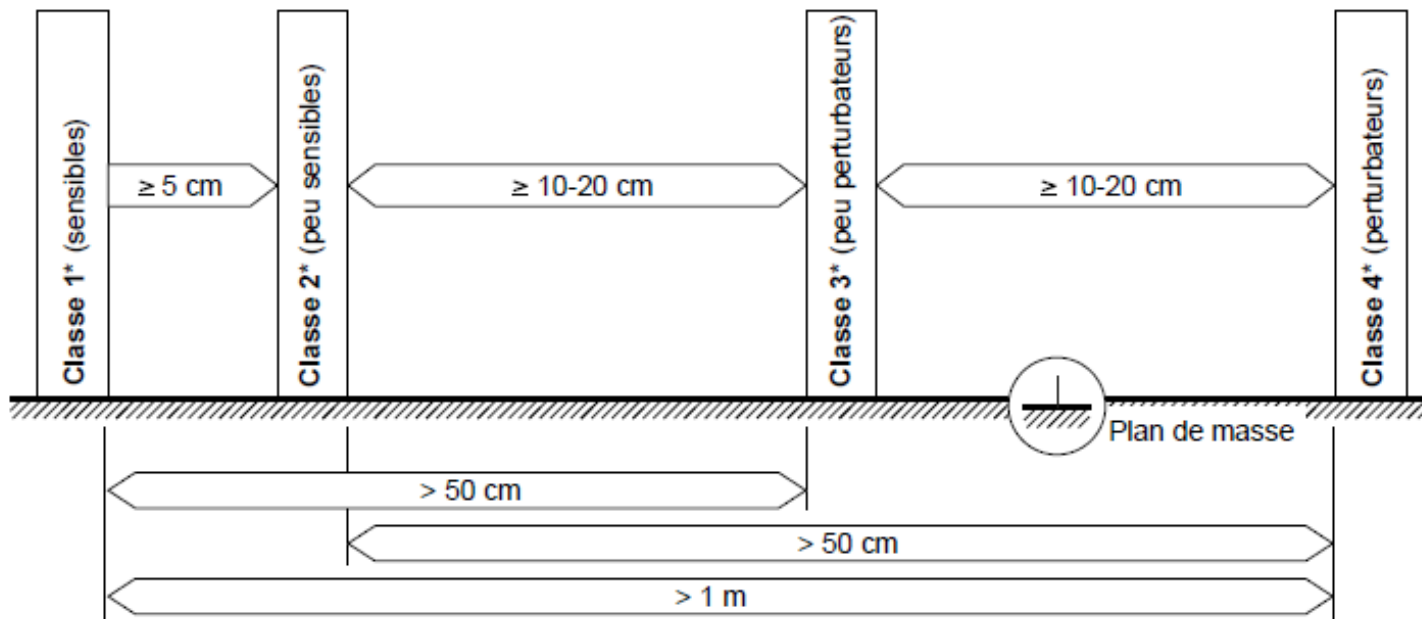
- 1 Assurer l'ÉQUIPOTENTIALITÉ des masses en haute et basse fréquence «HF» et «BF»
 - localement (installation, machine ...)
 - au niveau du site
- 2 Ne jamais faire cohabiter des signaux de classes sensibles (1-2) et perturbateurs (3-4) dans un même câble ou toron de conducteurs



- 3 Réduire au maximum la longueur de cheminement parallèle de câbles véhiculant des signaux de classes différentes :
sensibles (classe 1 - 2) et perturbateurs (classe 3 - 4).
Limiter au maximum la longueur des câbles.

Les 10 commandements de la CEM

- 4 Eloigner au maximum les câbles véhiculant des signaux de classes différentes notamment sensibles (1-2) et perturbateurs (3-4) - c'est très efficace et peu coûteux -.



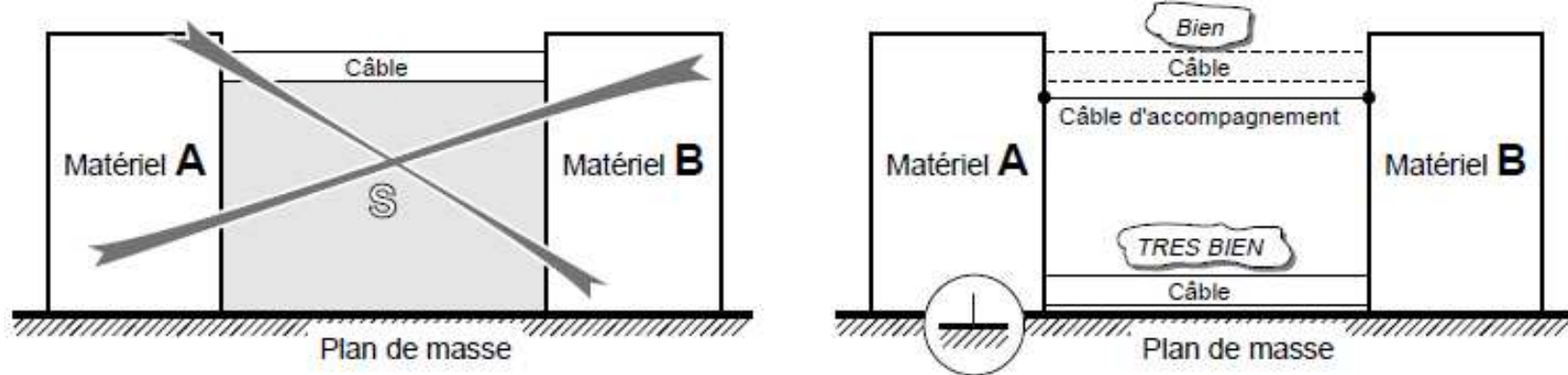
Ces valeurs sont indicatives et l'on considère que les câbles sont plaqués sur un plan de masse et de longueur $L < 30 \text{ m}$.

La distance de séparation des câbles sera d'autant plus grande que la longueur de cheminement sera importante.

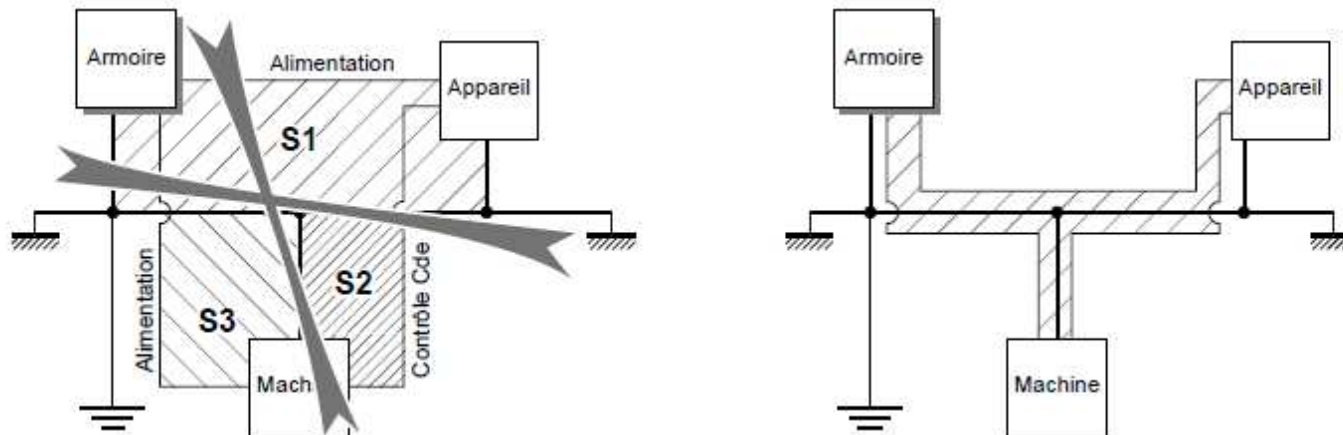
Les 10 commandements de la CEM

5

Il faut réduire au maximum la surface des boucles de masse.



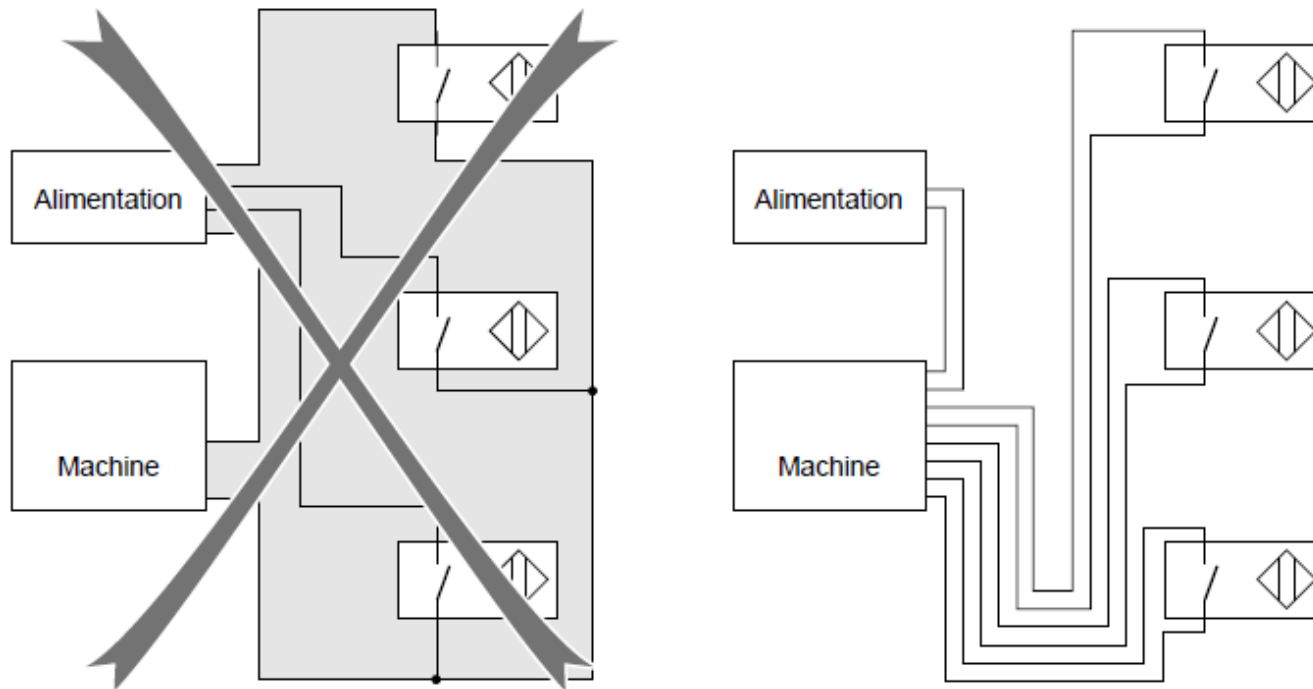
Il faut assurer la continuité du plan de masse entre 2 armoires, machines, équipements



Plaquer tous les conducteurs de bout en bout contre le plan de masse (tôles de fond d'armoire, masses des enveloppes métalliques, structures équipotentielles de la machine ou du bâtiment, conducteurs d'accompagnement, goulottes...)

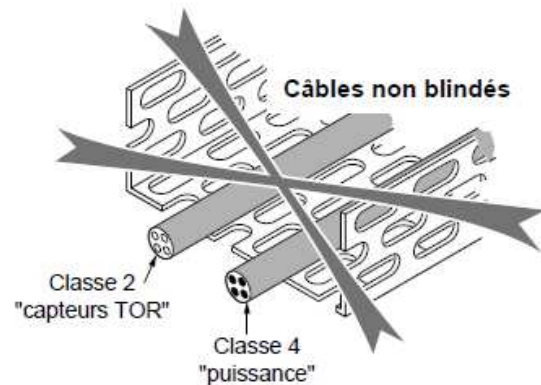
Les 10 commandements de la CEM : 6

Le conducteur ALLER doit toujours cheminer le plus près possible du conducteur RETOUR.

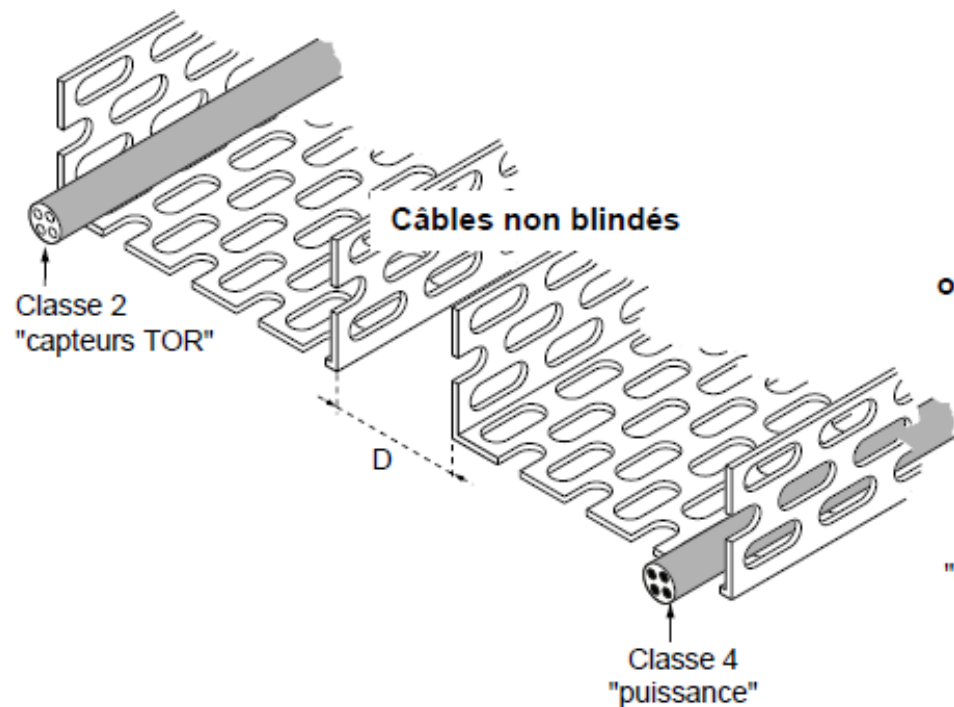


L'utilisation de câbles bifilaires (2 conducteurs) permet de garantir que le conducteur ALLER chemine toujours sur toute sa longueur le long du conducteur RETOUR

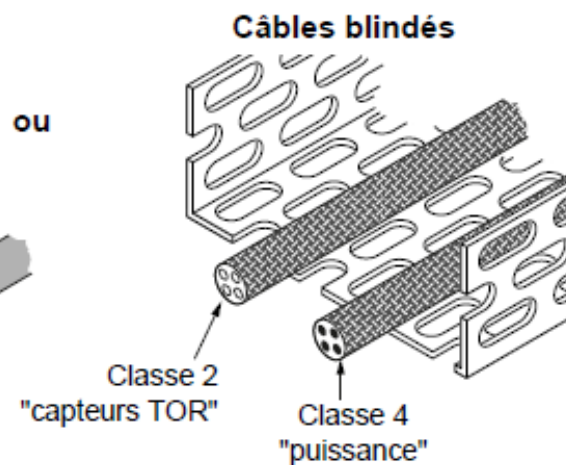
Les 10 commandements de la CEM : 7



L'utilisation de câbles blindés permet la cohabitation de câbles véhiculant des signaux de classes différentes dans une même goulotte.



ou

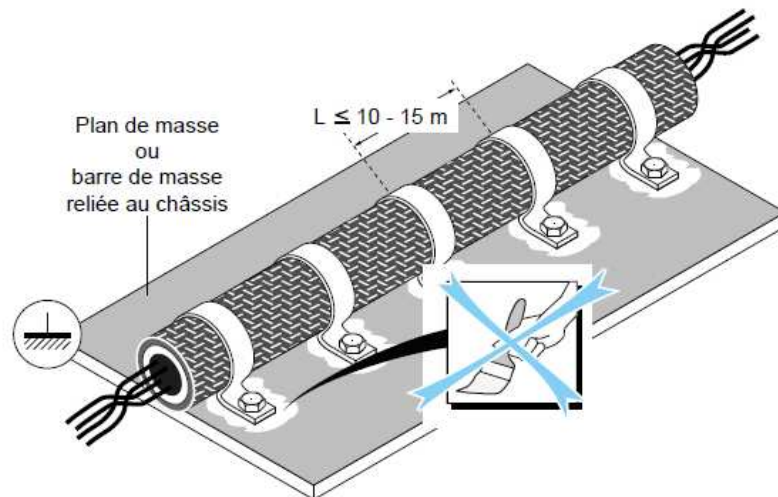


Les 10 commandements de la CEM : 8

Raccordement des blindages

Blindage relié aux deux extrémités

- Très efficace contre les perturbations extérieures (haute fréquence «HF» ...),
- Très efficace, même à la fréquence de résonance du câble,
- Pas de différence de potentiel entre câble et masse,
- Permet de faire cohabiter des câbles véhiculant des signaux de classes différentes si bonne connexion (360°) et bonne équipotentialité des masses (maillage ...),
- Effet réducteur (haute fréquence «HF») très élevé - 300,
- Dans le cas de signaux haute fréquence «HF» élevés, peut induire des courants de fuite à la terre pour des câbles de grande longueur > 50 - 100 m.



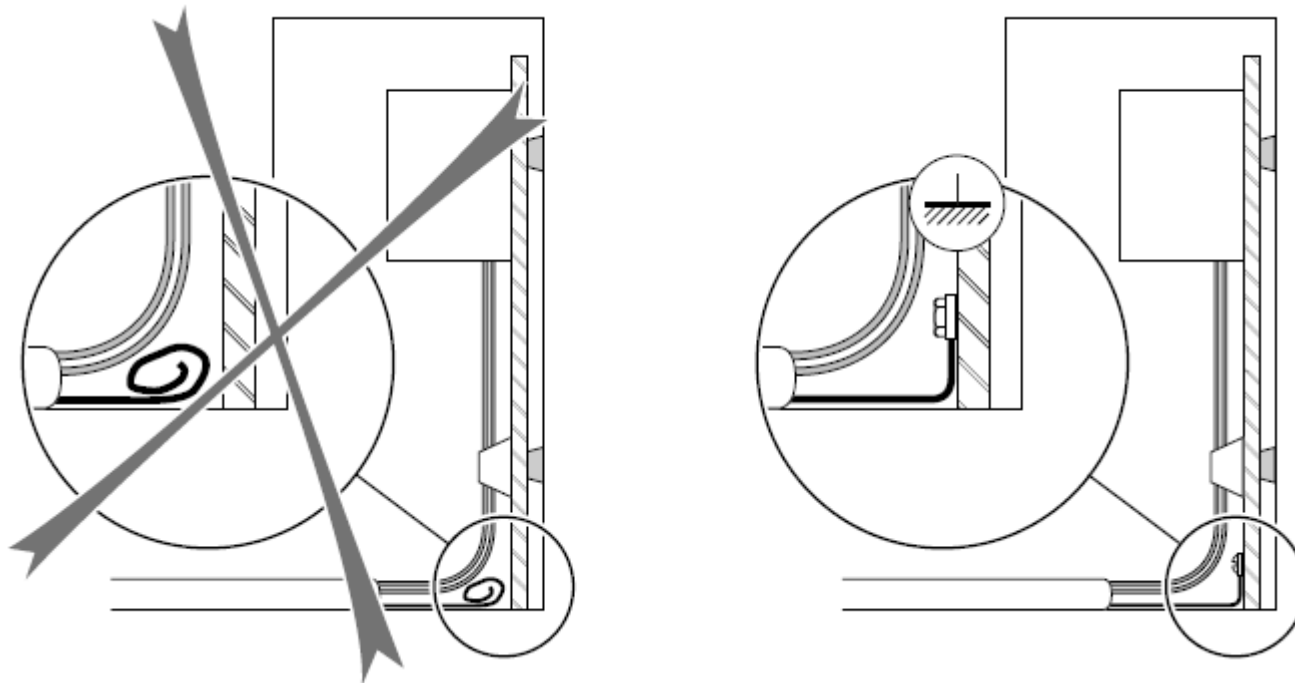
Très efficace

L'équipotentialité «BH» et «HF» du site étant une règle d'or en «CEM», un blindage gagne à être raccordé à la masse aux deux extrémités.

Un blindage perd de son efficacité lorsque la longueur du câble devient trop importante. Il est recommandé de multiplier les raccordements intermédiaires à la masse.

Les 10 commandements de la CEM : 9

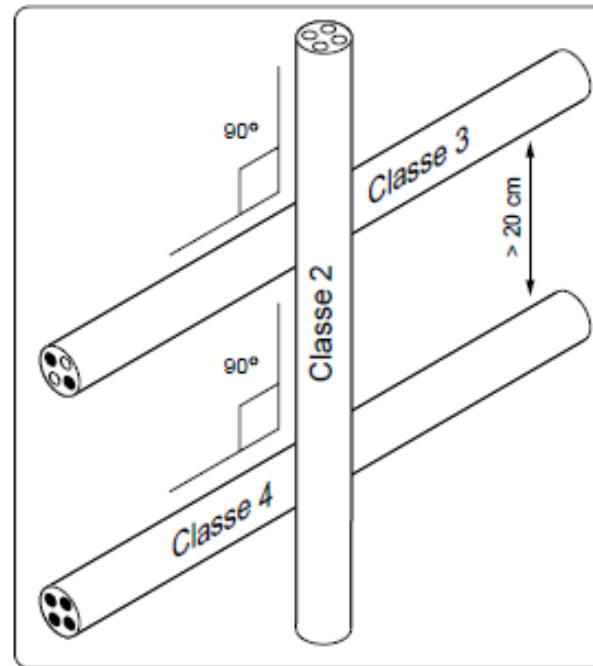
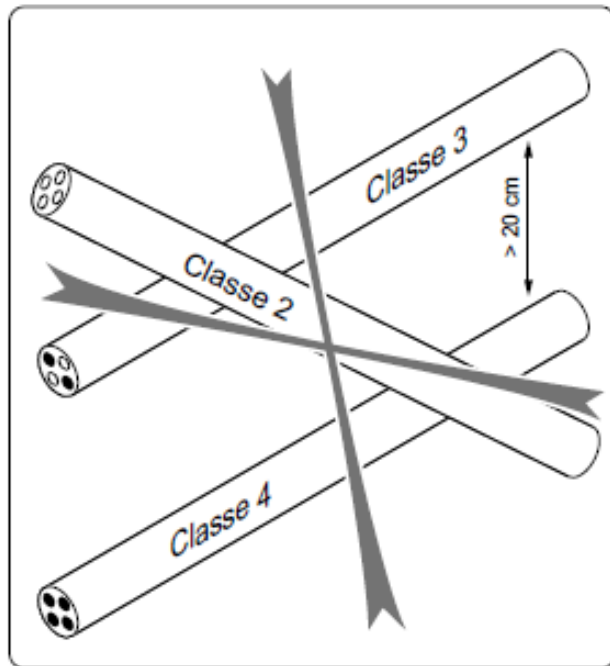
Tout conducteur libre ou non utilisé d'un câble doit être systématiquement raccordé à la masse (châssis, goulotte, armoire ...) aux 2 extrémités.



Pour les signaux de classe 1, ce raccordement, en cas de mauvaise équipotentialité des masses de l'installation peut générer de la «ronflette» «BF» qui se superpose au signal utile

Les 10 commandements de la CEM : 10

Faire croiser à angle droit les conducteurs ou câbles véhiculant des signaux de classes différentes notamment sensibles (1 - 2) et perturbateurs (3 - 4).



Merci pour votre attention !

