

Règles génériques CEM d'une installation

ONERA

À l'attention de M. LOPES Pedro




Rapport d'expertise N°			210200-SL-R-A
	Rédacteur	Vérificateur	  AEMC 86 rue de la Liberté 38 180 SEYSSINS Tél : 04 76 49 76 76 s.laigle@aemc.fr
Nom	Laigle Sébastien	Knéra Isabelle	
Date	16/11/2021	18/11/2021	
Visa		✓	

Table des matières

1	Objet de ce rapport.....	5
2	Abréviations.....	5
3	Conduction et rayonnement	5
4	Limite basse fréquence / haute fréquence.....	6
5	Mode différentiel, mode commun	6
6	Principe de réciprocité.....	7
7	Equipotentialité.....	8
8	Réseau de terre.....	8
9	Réseau de masse	9
10	Réseaux d'énergie.....	11
10.1	Le régime de neutre TT.....	12
10.2	Le régime de neutre IT.....	13
10.3	Le régime de neutre TN	14
11	Protection des liaisons	14
12	Blindage des câbles.....	15
13	Filtrage.....	20
13.1	Cas des alimentations BT	20
14	Limiteurs de surtensions	21
15	Foudre	22
15.1	Effet de la foudre indirect	22
15.2	Effet de la foudre direct	26
16	Diaphonie.....	27
17	Blindage des équipements.....	27
18	Conception des armoires	28
19	Réglementation.....	30
20	Equipements perturbateurs.....	30
20.1	Organes de coupure HTA	30
20.2	Organes de coupure BT	31
20.3	Transformateurs HTA et BT	31
20.4	Câbles d'alimentation HTA et BT	31
20.5	Alimentations à découpage	32
20.6	Variateurs de vitesse, démarreurs et onduleurs.....	32
20.7	Emetteurs radio	33
21	Caractérisation des éléments de protection.....	34
21.1	Chemins de câble.....	34
21.2	Limitation de la diaphonie.....	35
21.3	Blindages des câbles	36
22	Conclusions	37

Table des illustrations

Figure 1 : Tension de mode différentiel et de mode commun.....	7
Figure 2 : Courant de mode différentiel et de mode commun.....	7
Figure 3 : Interconnexion des éléments de chemins de câbles au niveau des trémies.	9
Figure 4 : Schéma simplifié	10
Figure 5 : Les différents régime de neutre	12
Figure 6 : Le régime de neutre IT	13
Figure 7 : Le régime de neutre TN.....	14
Figure 8 : Mise en œuvre des blindages des câbles.	15
Figure 9 : Ecran simple tresse.	16
Figure 10 : Ecran en feuillard plastique aluminisé à éviter.	16
Figure 11 : Reprise du blindage sur un connecteur métallique.....	17
Figure 12 : Exemple 1 de liaison correcte de la tresse à la masse par cavalier métallique.	18
Figure 13 : Exemple 2 de liaison correcte de la tresse à la masse par cavalier métallique.	18
Figure 14 : Exemple d'utilisation d'une barre métallique perforée.	19
Figure 15 : Deux exemples de mauvaise liaison de blindage par queue de cochon.	19
Figure 16 : Les 3 règles de mise en œuvre CEM d'un filtre secteur.	20
Figure 17 : Principe de mise en œuvre d'un limiteur de surtension.	22
Figure 18 : Extrait de la Norme foudre NF EN 62305-1.	23
Figure 19 : Choc foudre indirect	24
Figure 20 : Ddp en cas de choc foudre.....	26
Figure 21 : Passage de cloison	29
Figure 22 : Chemin de câbles.....	34
Figure 23 : Performance d'un chemin de câble en dalle marine en fonction de la fréquence	35

SUIVI D'INDICE

Indice	Date	Résumé des modifications	Page(s) concernée(s)
A	16/11/2021	Émission initiale	–

1 Objet de ce rapport

Ce rapport fait suite à la demande de M. Lopes concernant un guide générique de mise en œuvre CEM d'une installation (lot 1), il est le préambule aux lots 2 et 4 de l'affaire D210200. Il présente les principes généraux et les règles de mise en œuvre valables pour toute installation comportant des équipements électroniques.

Les règles décrites ici constituent la référence de mise en œuvre CEM pour l'ensemble de la présente étude de compatibilité.

2 Abréviations

CEM : Compatibilité Electromagnétique
ddp : Différence De Potentiel
HT ou HTA : haute tension
BT : basse tension
HF : haute fréquence
BF : basse fréquence
TOR : tout ou rien
I/O : Entrées/Sorties du système de contrôle commande
MC : Mode Commun
MD : Mode Différentiel
AC/DC : courant alternatif/courant continu
TBT : très basse tension
CC : Contrôle-Commande
CDC : Chemin De Câbles

3 Conduction et rayonnement

Les équations de Maxwell qui définissent l'électromagnétisme montrent que la conduction et le rayonnement sont toujours liés. Lorsqu'un courant circule dans un conducteur, un rayonnement apparaît. L'énergie transportée est toujours répartie en conduction et en rayonnement. Cette répartition dépend de la taille du conducteur et de la longueur d'onde du signal. Si le conducteur électrique est très petit devant la longueur d'onde, la majorité de l'énergie est transmise en conduction. Si sa longueur est supérieure ou égale au quart de la longueur d'onde, les couplages en rayonnement sont maximaux.

Quelques exemples :

La longueur d'onde à 50 Hz vaut 6000 km. Pour un conducteur de 5 m parcouru par un courant à 50 Hz, la majorité de l'énergie est transmise en conduction.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 5 / 37
--------------------------------------	--	---------------

La longueur d'onde à 27 MHz vaut environ 11 m. Pour un conducteur de 5,5 m parcouru par un courant à cette fréquence, la majorité de l'énergie sera transmise en rayonnement : c'est une antenne quasi-parfaite.

A l'inverse, un rayonnement lance dans un conducteur un courant dont la valeur dépend du rapport entre la longueur du conducteur et la longueur d'onde. En CEM, on considère qu'un conducteur plus long que $\lambda/30$ (λ étant la longueur d'onde de la perturbation) constitue une antenne suffisamment efficace pour collecter des perturbations rayonnées dans l'environnement.

4 Limite basse fréquence / haute fréquence

A 50 Hz, l'impédance d'un fil conducteur est principalement résistive. Au-delà de quelques kilohertz, la self du conducteur devient importante et l'impédance augmente proportionnellement avec la fréquence. Dans ce document, nous appellerons « basse fréquence » la zone située en dessous de 1 MHz environ, dans laquelle les conducteurs sont principalement soumis aux couplages en conduction. Au-delà de 1MHz, nous parlerons de « hautes fréquences ».

La principale source de perturbation basse fréquence est la puissance à la fréquence du réseau : jeux de barres, transformateurs.

Les sources hautes fréquences sont très nombreuses. On retrouve en particulier :

- les émetteurs radio fixes ou portables (téléphones mobiles, talkies-walkies),
- les étincelles générées par les contacts secs (relais, sectionneurs, disjoncteurs, contacteurs) ou les décharges électrostatiques. La fréquence équivalente peut largement dépasser 100 MHz.
- Les impulsions résiduelles de mode commun des électroniques de puissance à découpage (chargeurs, convertisseurs AC/DC, variateurs de vitesse). La fréquence équivalente s'étend jusqu'à 20 MHz environ.

5 Mode différentiel, mode commun

Le mode différentiel décrit le transport d'une information électrique entre deux conducteurs. C'est ainsi que sont transmis les signaux et les alimentations. Dans la (Figure 1), la tension de mode différentielle (en bleu) est mesurée entre le fil noir et le fil rouge.

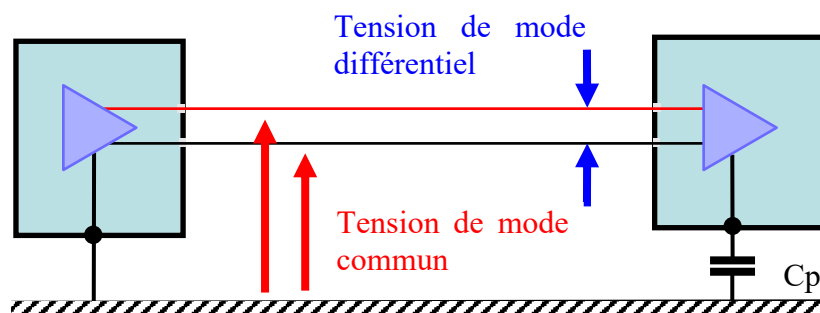


Figure 1 : Tension de mode différentiel et de mode commun.

Le courant de mode différentiel part du capteur vers l'électronique par le fil rouge et revient intégralement de l'électronique vers le capteur par le fil noir (Figure 2).

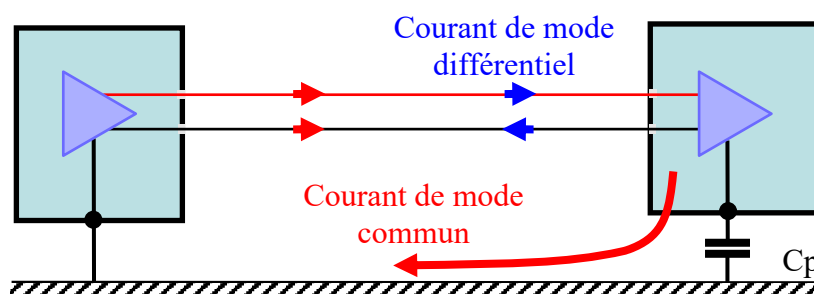


Figure 2 : Courant de mode différentiel et de mode commun.

Le mode commun décrit le transport d'une perturbation électrique entre un ensemble de conducteurs et la masse (ou l'environnement, au sens électromagnétique). Dans la (Figure 1), la tension de mode commun se mesure entre l'ensemble des conducteurs noir et rouge et la masse. Le courant de mode commun (Figure 2) circule dans le même sens sur les conducteurs noir et rouge et se referme par les masses au travers de la capacité parasite C_p .

Ce sont principalement les perturbations qui circulent en mode commun.

6 Principe de réciprocité

L'émission fait référence aux perturbations conduites ou rayonnées émises par un équipement. L'immunité indique la sensibilité aux perturbations environnantes. Le principe de réciprocité indique que les solutions mises en place pour diminuer l'émission (filtrage, blindage) améliorent aussi l'immunité, et réciproquement.

7 Equipotentialité

L'équipotentialité est un principe fondamental en CEM : deux équipements qui communiquent doivent avoir la même référence de potentiel à toutes les fréquences. Ce principe est valable dans tout système électrique ou électronique, quelle que soit son échelle : circuit intégré, carte électronique, rack, armoire, salle technique, bâtiment et site complet.

Les conducteurs de cuivre de sécurité (PE, fils vert-jaune, trolley de cuivre) permettent d'assurer une équipotentialité suffisante pour la sécurité électrique des personnes à la fréquence de l'alimentation réseau (50 Hz et harmoniques). Leur but est de garantir que toutes les parties métalliques simultanément accessibles par une personne sont au même potentiel, ou présentent une tension permanente de contact inférieure à 50 V dans les locaux et 25 V en extérieur.

Un conducteur rectiligne a une self d'environ $1 \mu\text{H/m}$. A 10 MHz, un conducteur de cuivre de 10 mètres présente une impédance de 600Ω , quelle que soit sa section. On est bien loin du milliohm en continu d'un câble de cuivre de 35 mm^2 . Pour diminuer cette impédance, il faut interconnecter plusieurs conducteurs de masse afin d'obtenir un maillage. Plus le pas de ce maillage est faible, plus l'impédance diminue. Le plan métallique est l'élément qui présente la plus faible impédance, à toutes les fréquences.

Dans une installation, l'équipotentialité est assurée par le réseau de terre et le réseau de masse. Nous allons définir le rôle de chacun d'eux afin d'éviter les confusions.

8 Réseau de terre

Nous appellerons ici conducteur de terre tout conducteur en contact électrique avec le sol : piquets de terre, ceinture en fond de fouille, ferrailage à béton des fondations.

Dans un site industriel, les seuls courants qui peuvent « entrer » dans la terre (c'est à dire « sortir » du bâtiment) sont ceux qui proviennent de l'extérieur du bâtiment : résiduelles de foudre et surtensions sur des arrivées d'énergie ou de communication externes. Les courants générés dans le bâtiment (perturbateurs ou utiles) ne vont pas dans la terre, à moins qu'ils n'en ressortent en un autre point. Ainsi, la valeur de la résistance de terre n'a aucun rôle dans le bon fonctionnement des équipements (dans un avion, la résistance de terre est infinie et tous les équipements, sensibles ou perturbateurs, cohabitent parfaitement).

En revanche, l'équipotentialité du réseau de terre est très importante car elle garantit que deux points du sol (emplacement des deux pieds d'une personne) sont au même potentiel, même si un fort courant y circule. Ceci est particulièrement important dans les postes haute tension. En cas de défaut phase - terre sur une ligne en provenance du poste, le courant revient au neutre du transformateur par la terre (le sol est ici un conducteur électrique de retour de défaut). La densité de courant au niveau du poste

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 8 / 37
--------------------------------------	--	---------------

peut être très forte. Seul un bon maillage du réseau de terre dans le sol évite l'apparition d'une tension de pas dangereuse.

9 Réseau de masse

Les masses sont toutes les parties métalliques accessibles de l'installation (châssis, chemins de câbles, fils vert-jaune,...). Le but du réseau de masse est d'assurer l'équipotentialité entre tous les équipements. Dans les systèmes actuels, tous les éléments sont connectés fonctionnellement : les ordinateurs et les automates sont reliés par des liaisons réseau, les automates sont reliés à des capteurs, des actionneurs, des boîtiers de transmission. Il est donc nécessaire de créer un réseau de masse unique et maillé. La séparation des « terres » (masses en réalité) va entièrement à l'encontre de ce principe.

Ce réseau est simplement réalisé en interconnectant toutes les structures métalliques : chemins de câbles, fils vert-jaune, trolley ou conducteurs plats de cuivre ou d'aluminium, châssis de baies et des armoires électriques, caillebotis, poutres et escaliers métalliques.

Pour cela, la mise en œuvre de ces chemins de câbles doit impérativement suivre les règles suivantes :

- La continuité électrique des chemins de câbles doit être assurée de bout en bout.
- Les tronçons de chemins de câbles doivent être vissés les uns aux autres par un contact direct tôle sur tôle. Toute liaison par fil, en quelque endroit que ce soit du chemin de câble, est à proscrire systématiquement ([Figure 3](#)).
- A chaque extrémité, les chemins de câbles doivent être raccordés aux masses par un contact direct tôle sur châssis ou, à défaut, par deux tresses larges et courtes (rapport longueur / largeur inférieur à 5 avec une marge jusqu'à 7 environ).

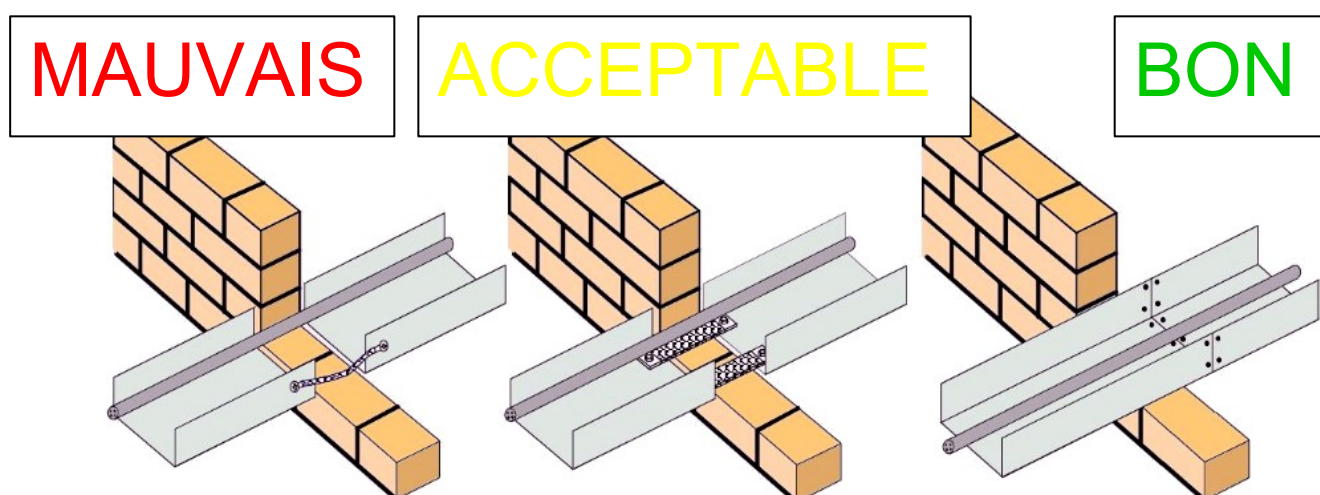


Figure 3 : Interconnexion des éléments de chemins de câbles au niveau des trémies.

Les cellules HTA lors de manœuvre génèrent de fortes perturbations électromagnétiques.

Il est très difficile de calculer l'intensité du champ électromagnétique généré car cela dépend de nombreux paramètres tels que :

- La capacité de la source
- L'inductance de la source
- La capacité parasite
- L'inductance parasite
- L'impédance de la charge
- La tension commutée
- La vitesse de commutation
- Le moment de la commutation par rapport à l'onde de tension
- ...

De nombreux éléments dont nous n'avons généralement pas les informations.

Ci-dessous un petit schéma simplifié en monophasée.

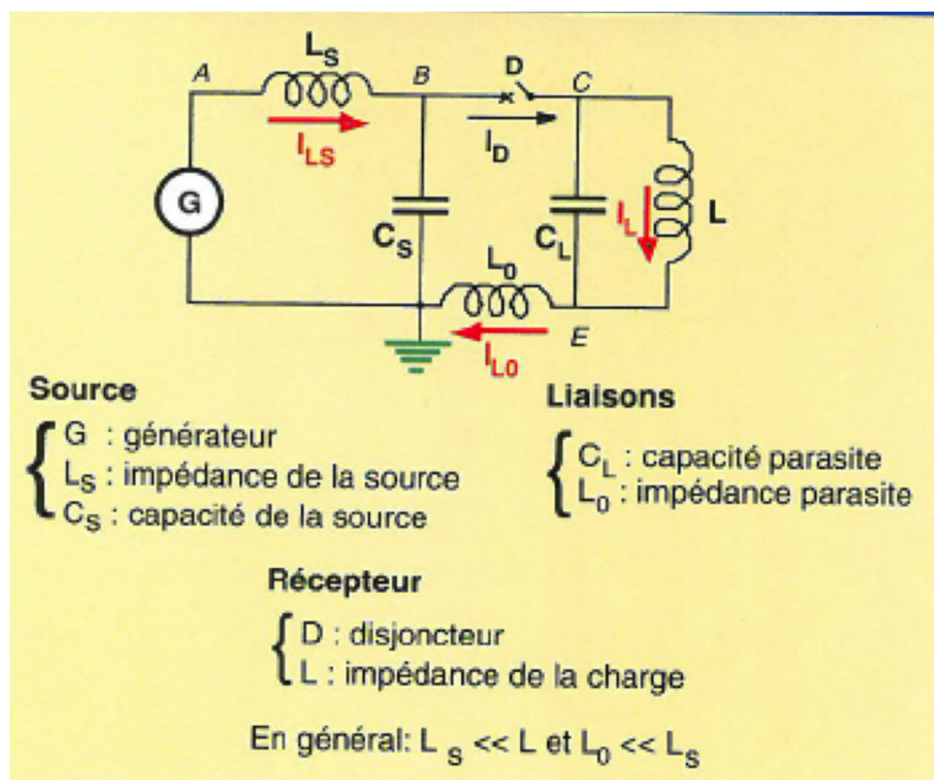


Figure 4 : Schéma simplifié

Par expérience, nous savons que le champ électromagnétique à proximité des cellules de coupure peut atteindre une dizaine de kV/m avec un spectre allant jusqu'à 350 MHz, (suffisant pour perturber tout ce qui se trouve à proximité).

Cas des câbles BT :

Le capotage des câbles BT est contraignant. Il nécessite une augmentation de la section des conducteurs due à l'éventuel échauffement des conducteurs.

Les perturbations collectées en rayonnement par les câbles BT dépendent de la valeur du champ (donc la distance entre le câble et le sectionneur HT) et de la distance entre le câble et le chemin de câble. La réduction du champ apportée par une plaque métallique vaut :

$$R = 10 \cdot \frac{h}{\lambda}$$

Où h est la hauteur du câble par rapport à la plaque et λ la longueur d'onde de la perturbation rayonnée. Par exemple, un câble soumis à une perturbation rayonnée à 30 MHz « verra » un champ 50 dB plus faible s'il est directement plaqué (à 3 mm environ) contre un chemin de câble.

D'autre part, les courants de mode commun collectés par les câbles (dus aux cellules HTA) diminuent avec la longueur du parcours. Au-delà d'une cinquantaine de mètres, les perturbations résiduelles deviennent négligeables. On considère que l'affaiblissement de la perturbation est suffisant pour ne pas perturber un équipement marqué CE.

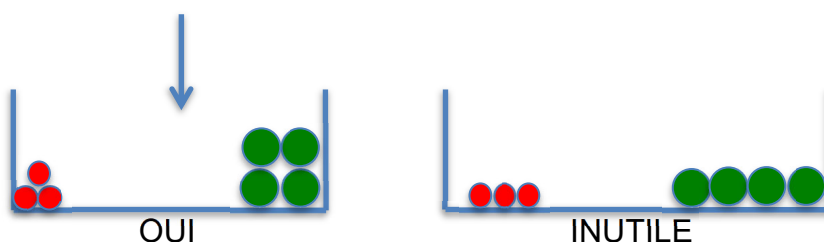
Cas de câble en trèfle :

Un câble BT en trèfle ou quarté étoile est considéré comme un câble unique.

Cette géométrie permet de garantir la proximité des courants aller-retour (augmentation de la mutuelle inductance entre les conducteurs), de plus la géométrie permet de réduire les surfaces de boucles entre les conducteurs.

En rouge : 3 phases en configuration en trèfle

En vert : 3 phases + neutre configuration en quarté étoile



10 Réseaux d'énergie

En France, il existe 3 façons de distribuer l'énergie, on parle de régime de neutre :

- TT
- IT

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 11 / 37
--------------------------------------	--	----------------

- TN se décomposant en TN-C et TNS

La première lettre correspond au raccordement du neutre du poste, la seconde au raccordement des masses à la terre de l'installation.

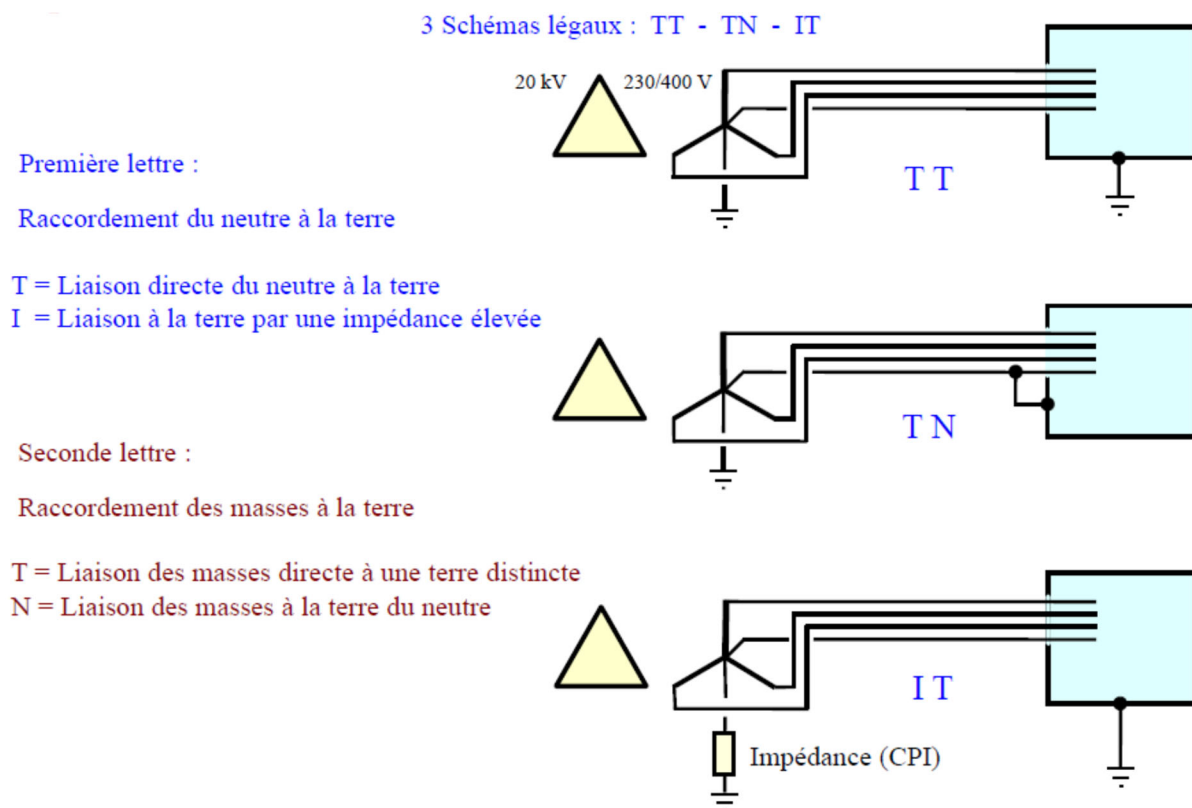


Figure 5 : Les différents régime de neutre

10.1 Le régime de neutre TT

Comme le réseau TT est réservé au particulier et au petit réseau, nous ne développerons pas ici.

10.2 Le régime de neutre IT

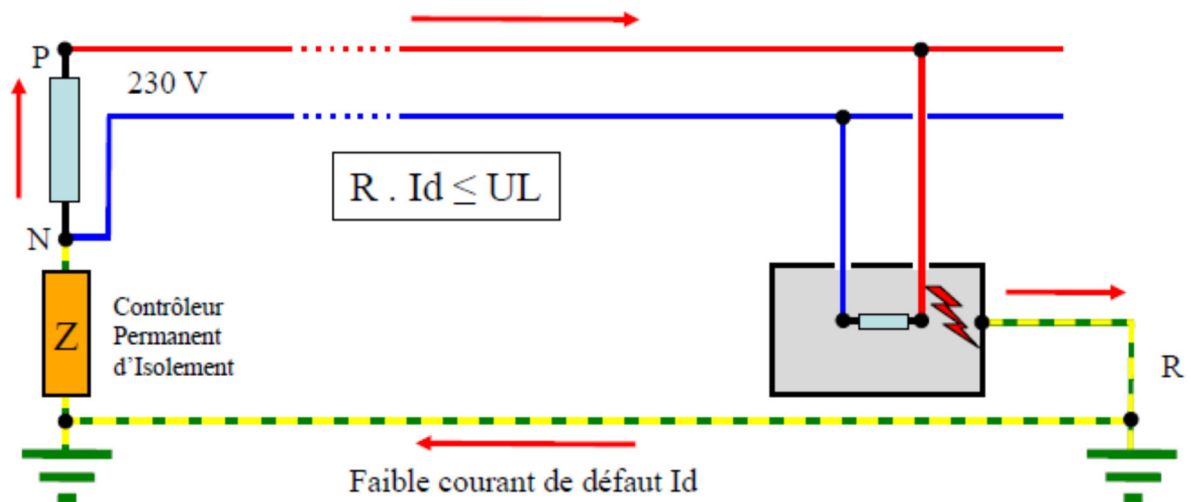


Figure 6 : Le régime de neutre IT

- La continuité de service est possible au premier défaut.
- Le contrôleur (CPI) doit signaler le premier défaut.
- Exige poste de transformation privé + service entretien.
- En cas de second défaut, même protection qu'en TN (sauf pour un second défaut sur la même phase).
- L'étendue des installations doit être limitée afin de limiter le courant de premier défaut.
- Des limiteurs de surtensions doivent être installés.
- Il est fortement recommandé de ne pas distribuer le conducteur neutre.
- Attention à la tension des protections contre les surtensions (MOV et condensateurs) installées entre phases et terre, les équipements installés sur ce réseau doivent être prévus pour.

10.3 Le régime de neutre TN

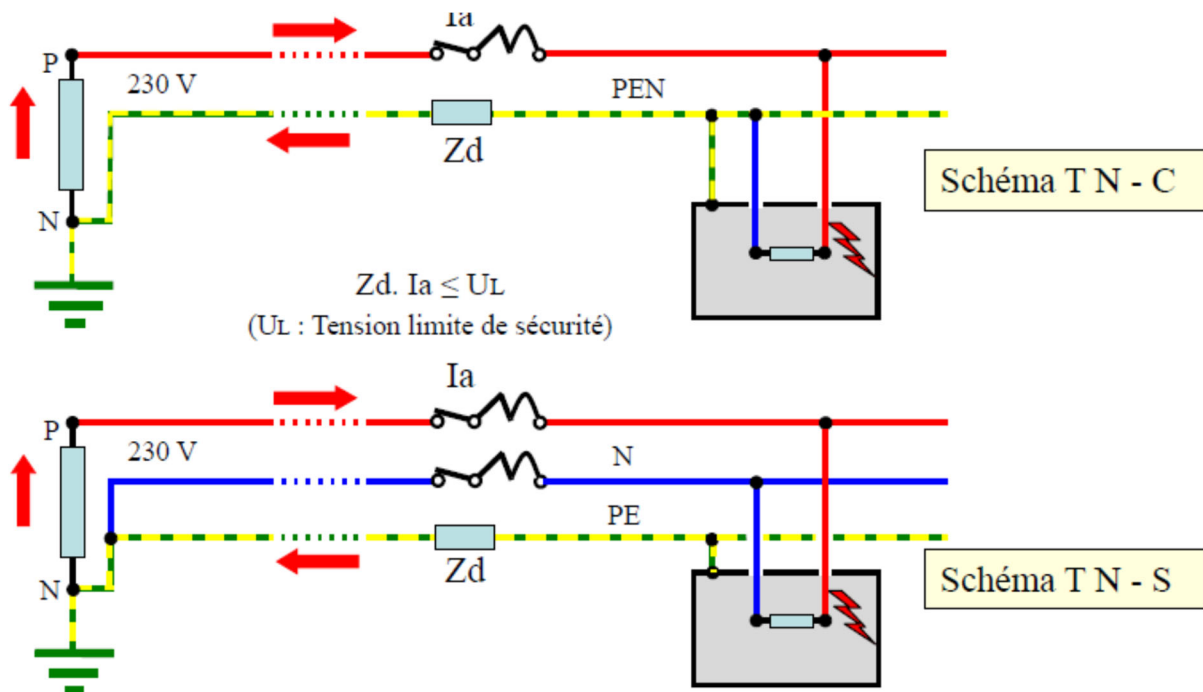


Figure 7 : Le régime de neutre TN.

- Le schéma TN impose un poste de transformation privé
- Le schéma TN - C est interdit en aval du TN - S
- TN - C interdit en canalisation mobile ou $S_{cu} < 10 \text{ mm}^2$
- Liaisons équipotentielle supplémentaires **nécessaires**
- Coupure au premier défaut d'isolement par sélectivité
- Le schéma TN - C fait circuler les courants homopolaires dans les masses de l'installation, pouvant provoquer des problèmes de champs magnétiques difficilement résolubles.

Le meilleur schéma en CEM est le T N - S

Il est malheureusement souvent impossible (car trop coûteux) de changer de régime de neutre dans une grande installation.

11 Protection des liaisons

Dans de nombreux cas, les perturbations sont collectées par les câbles de l'installation, soit en conduction directement, soit en conduction issue d'un rayonnement perturbateur. Si ces liaisons ne sont pas correctement protégées, les perturbations peuvent pénétrer dans les équipements et créer des dysfonctionnements.

Les perturbations hautes fréquences sont traitées par blindage ou filtrage et les perturbations énergétiques (qui ne génèrent pas de dysfonctionnement, mais peuvent détruire des circuits) par des limiteurs de surtensions.

12 Blindage des câbles

Le blindage d'un câble est réalisé avec une tresse ou un feuillard métallique placé directement autour des conducteurs à protéger. L'efficacité d'un écran est nulle jusqu'à quelques kilohertz. Au-delà, l'effet dépend de la nature de l'écran et de la façon de le raccorder aux extrémités. Un blindage raccordé à une seule extrémité a un effet réducteur (de protection) nul.

Le raccordement du blindage à la masse doit être fait de façon périphérique aux deux extrémités selon la mise en œuvre décrite dans la figure suivante.

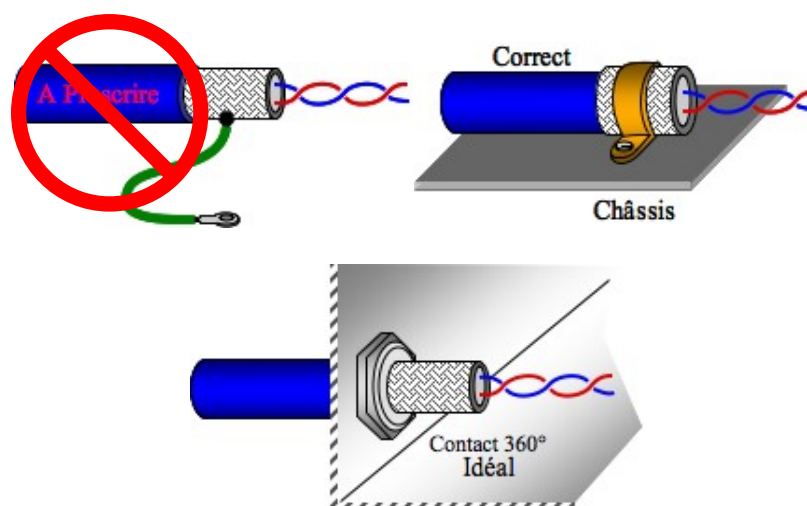


Figure 8 : Mise en œuvre des blindages des câbles.

Toute liaison par fil entre la tresse et la masse est à proscrire.

L'écran doit être constitué d'une simple tresse (Figure 9). Les écrans à feuillard en plastique aluminisé (Figure 10) doivent être évités impérativement. Leur fragilité rend impossible toute mise en œuvre correcte.

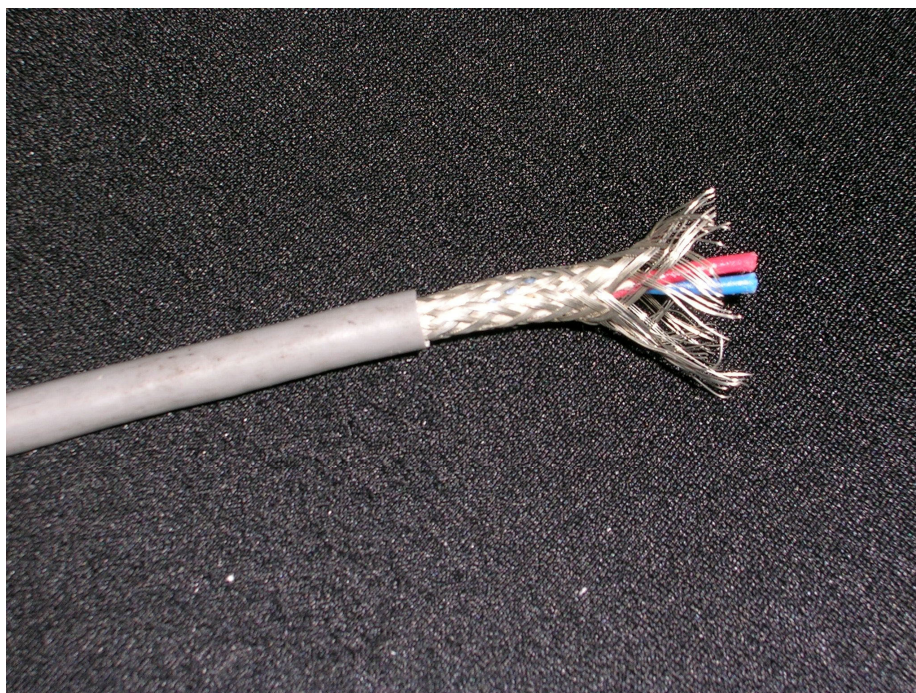


Figure 9 : Ecran simple tresse.

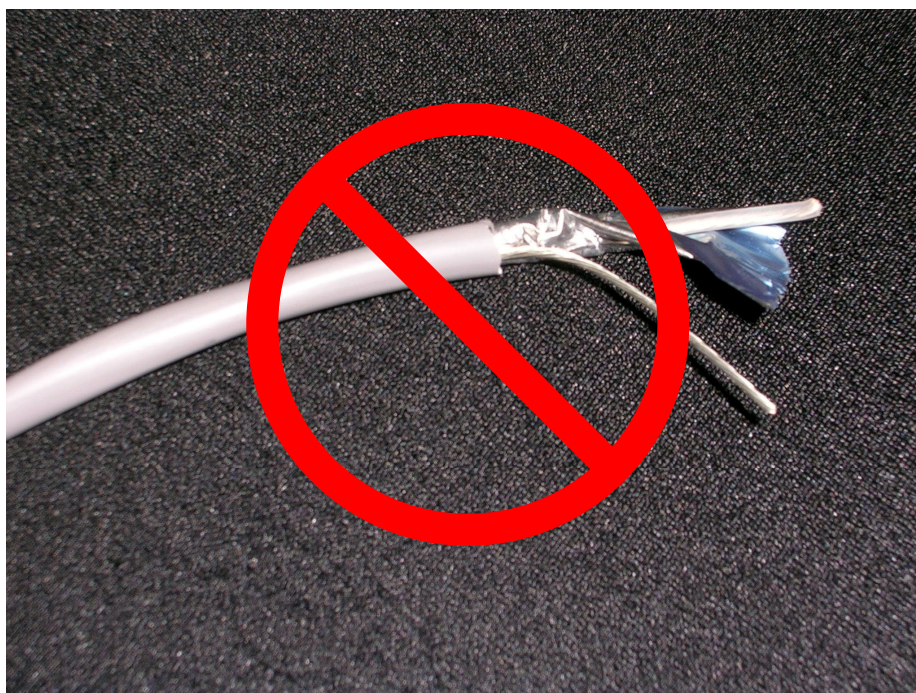


Figure 10 : Ecran en feuilard plastique aluminisé à éviter.

La reprise du blindage doit être faite à la masse aux deux extrémités sans liaison par fil (« queue de cochon »).

Cas d'un connecteur métallique :

Il faut impérativement garantir les points suivants :

- Reprise directe de la tresse du câble sur le capot métallique par un cavalier ou toute autre fixation sans fil,
- Contact périphérique entre le capot métallique et le châssis de la fiche,
- Contact périphérique entre l'embase du connecteur et le châssis métallique (pas de traitement de surface ou de joint isolant).

Un exemple est donné en (Figure 11) avec un connecteur SUB D. Cette solution est à transposer suivant le type de connecteur métallique utilisé.

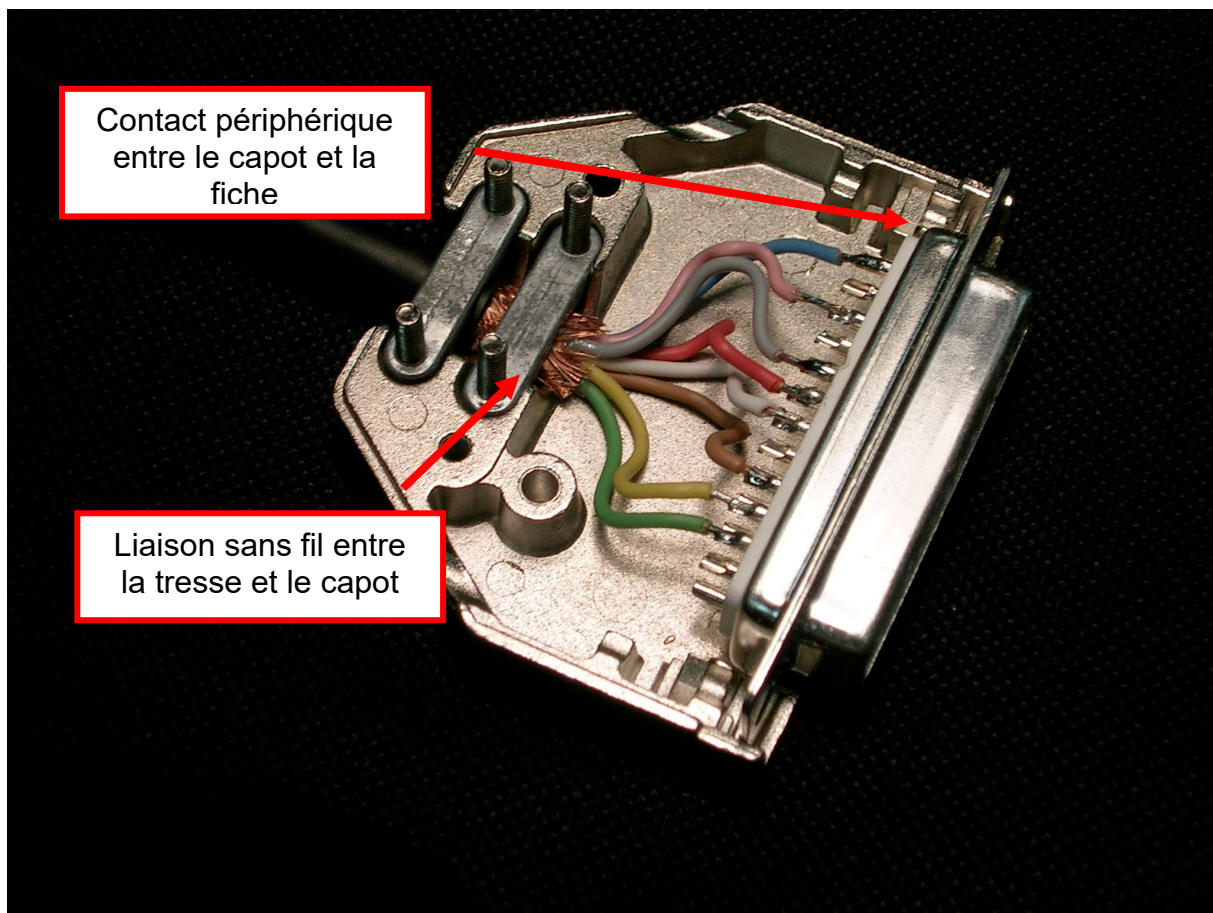


Figure 11 : Reprise du blindage sur un connecteur métallique.

Cas d'une connectique par bornier ou connecteur plastique :

La connectique ne permet pas de réaliser une mise en œuvre correcte de la tresse. Il faut alors ajouter un cavalier métallique (ou tout autre système équivalent) permettant de relier directement la tresse du câble à la tôle de fond de coffret en entrée (Figure 12 et Figure 13).



Figure 12 : Exemple 1 de liaison correcte de la tresse à la masse par cavalier métallique.

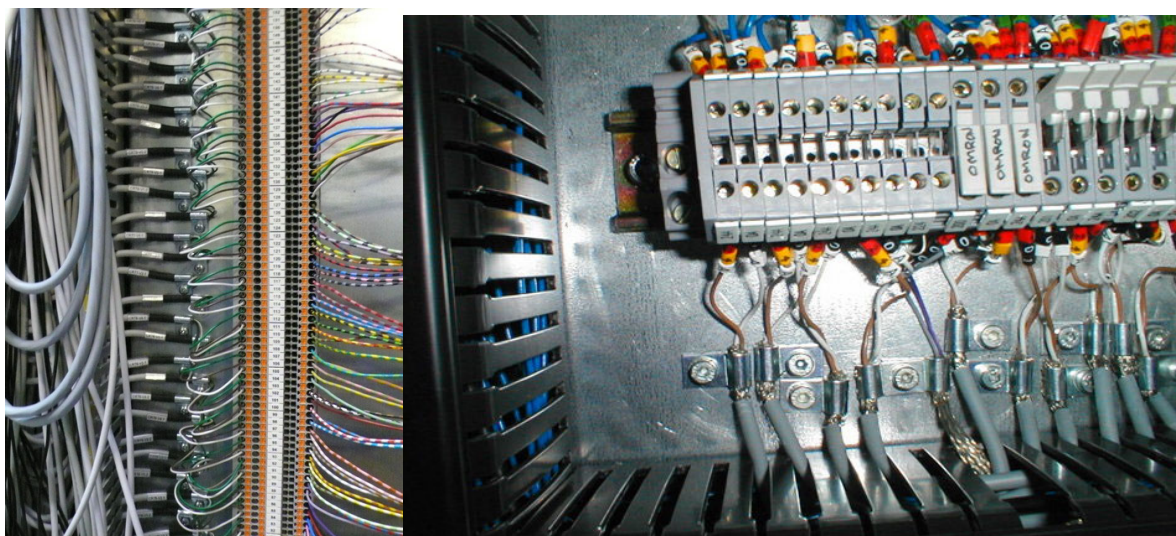


Figure 13 : Exemple 2 de liaison correcte de la tresse à la masse par cavalier métallique.

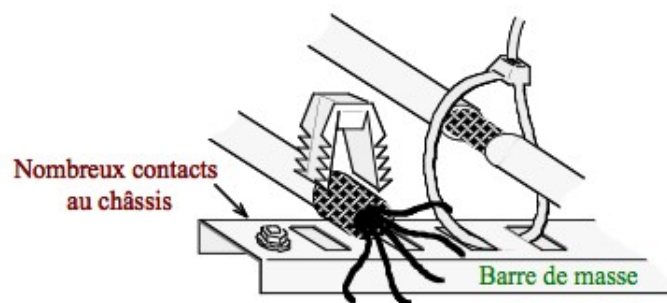


Figure 14 : Exemple d'utilisation d'une barre métallique perforée.

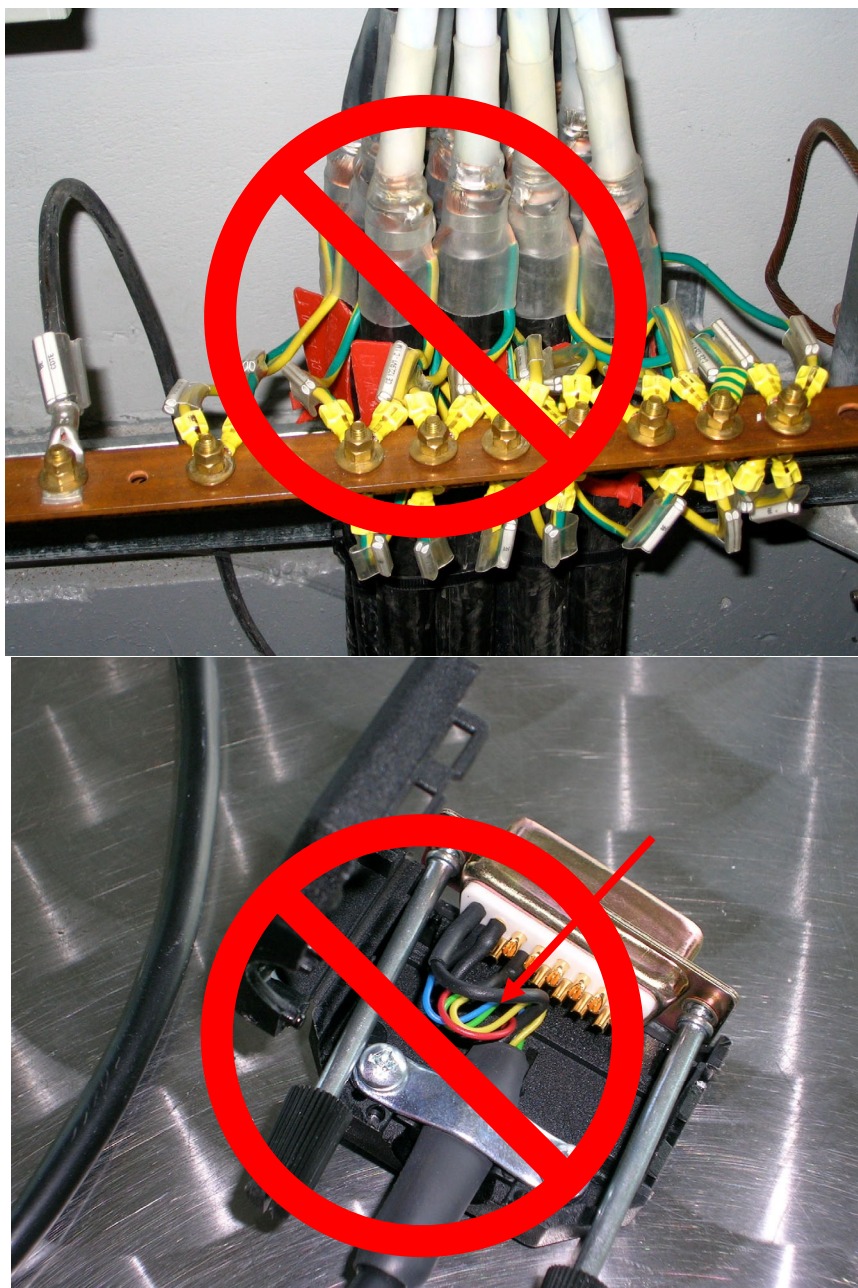


Figure 15 : Deux exemples de mauvaise liaison de blindage par queue de cochon.

Toutes les liaisons TOR et Analogiques doivent être blindées.

Le blindage sera au minimum composé d'une simple tresse pour atteindre une atténuation typique de 45 dB. Le raccordement du blindage est essentiel pour atteindre cette performance.

Si ces câbles ne sont pas blindés ou mal raccordés :

- Les liaisons TOR perturberont les autres câbles.
- Les câbles analogiques seront perturbés.

13 Filtrage

13.1 Cas des alimentations BT

Certaines liaisons ne peuvent pas être blindées (les alimentations, à cause de leur topologie). On utilise alors une protection par filtrage. Les filtres peuvent être placés sur des signaux ou des alimentations en entrée d'armoire, de boîtier ou directement sur les cartes électroniques.

La mise en œuvre CEM des filtres d'alimentation est donnée à la (Figure 16).

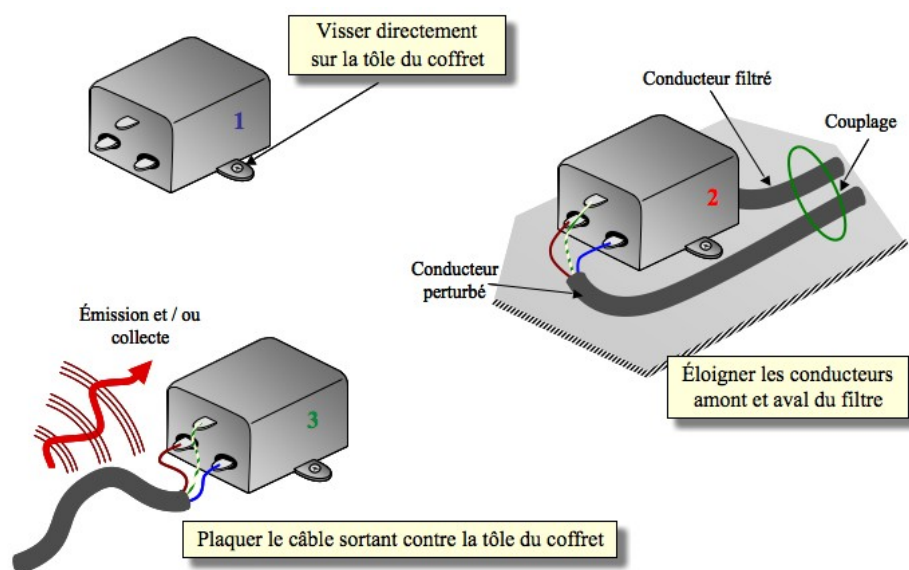


Figure 16 : Les 3 règles de mise en œuvre CEM d'un filtre secteur.

L'ajout d'un filtre secteur dans une armoire électrique n'est pas toujours nécessaire. En effet, tous les équipements intégrés ont déjà subi des tests CEM et sont censés comporter en interne le filtrage nécessaire. L'ajout d'un filtre supplémentaire est justifié si :

- L'équipement risque d'être soumis à des perturbations électromagnétiques d'amplitude supérieure à son niveau d'immunité,

- On ne connaît pas précisément les caractéristiques CEM d'un des équipements intégrés dans l'armoire (ce qui est généralement le cas : CE + CE ne devient pas forcément CE).

Si un filtre s'avère nécessaire, il doit être vissé directement sur la tôle ou la grille de fond d'armoire au plus près de l'arrivée de l'alimentation. Les câbles amont et aval doivent être séparés pour limiter la diaphonie, et plaqués contre la structure métallique pour limiter les couplages en rayonnement ([Figure 16](#)).

Les caractéristiques du filtre dépendent du type d'entrée ainsi que du niveau d'agression.

La définition du filtre s'effectue en fonction de :

- Nombre de phase
- L'intensité différentiel le traversant
- L'atténuation
- La bande passante
- Le type de filtrage (mode commun et/ou mode différentiel)

Généralement, un filtre d'usage général acheté sur étagère suffit.

De nombreux fabricants proposent ce genre de filtre Schaffner, Epcos, Wurth..

14 Limiteurs de surtensions

Le rôle des limiteurs de surtensions est de protéger des circuits électroniques contre des montées en potentiel dangereuses sur des entrées de signaux ou d'alimentations. Ils fonctionnent en dérivant ou absorbant les courants impulsionnels. On utilise pour cela des composants comme des éclateurs, varistances, transzorb, ou leur association. Selon le montage, ils protègent les circuits en mode différentiel et / ou en mode commun.

Sur les arrivées d'énergie, la protection contre les surtensions est étagée depuis le point de livraison jusqu'aux appareils. Des protections de « type 1 » sont placées au niveau du TGBT, de « type 2 » au niveau des tableaux secondaires et de « type 3 » au niveau des équipements eux-mêmes.

Bien plus que le choix du modèle de limiteur, c'est surtout son montage qui va déterminer son efficacité. Le schéma de la ([Figure 17](#)) montre que la self L de la connexion de masse peut très fortement augmenter la surtension résiduelle U.

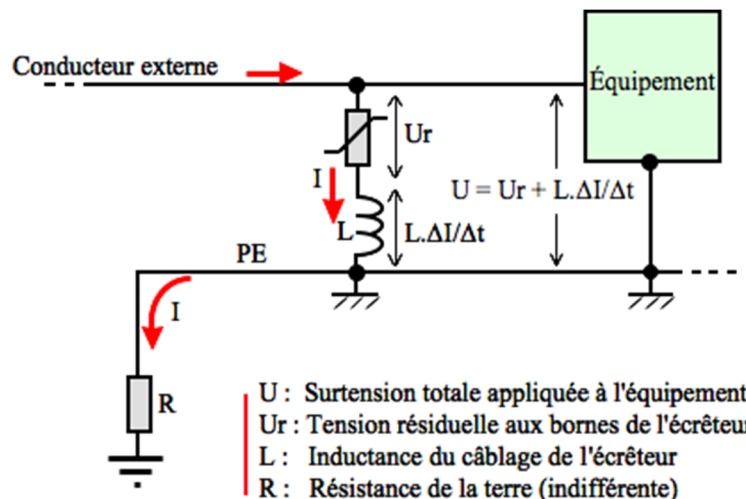


Figure 17 : Principe de mise en œuvre d'un limiteur de surtension.

La borne de masse d'un limiteur de surtension doit être reliée très court à la masse de l'équipement à protéger. Si on protège un boîtier, la liaison doit être courte entre le limiteur et le boîtier. Dans le cas d'un montage en coffret, la borne de masse du limiteur doit être raccordée à la tôle de fond de coffret par un fil de moins de 10 cm.

15 Foudre

15.1 Effet de la foudre indirect

Lorsqu'un choc foudre se produit à proximité d'un bâtiment, il produit un champ électromagnétique.

Le tableau de la norme foudre (NF EN 62305-1) nous indique les valeurs standard de niveaux foudre à prendre en compte en fonction du niveau de protection.

Le niveau de protection est déterminé par une analyse de risque.

Tableau 5 – Valeurs maximales des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection contre la foudre

Premier choc court			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête	I	kA	200	150	100	
Charge du choc court	Q_{short}	C	100	75	50	
Energie spécifique	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Paramètres de temps	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10 / 350			
Choc court consécutif			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête	I	kA	50	37,5	25	
Raideur moyenne	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Paramètres de temps	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25 / 100			
Choc long			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Charge du choc long	Q_{long}	C	200	150	100	
Paramètre de temps	T_{long}	s	0,5			
Eclair			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Charge éclair	Q_{flash}	C	300	225	150	

Figure 18 : Extrait de la Norme foudre NF EN 62305-1.

Le champ magnétique généré par un choc foudre se calcule comme suit :

$$H=I/2\pi R$$

Choc de foudre indirect

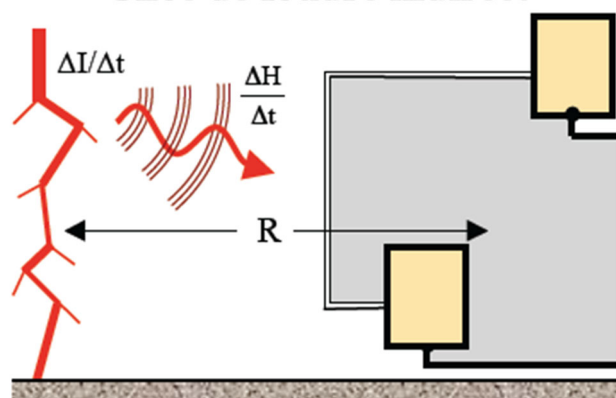


Figure 19 : Choc foudre indirect

Avec :

H : le champ magnétique en $A.m^{-1}$. (Champ magnétique crête-crête)

R : la distance en mètre.

Dans le cas le plus défavorable

En premier choc court, le courant est de 200 kA et la variation de courant par rapport au temps est de : $dI/dT = 200 \text{ kA}/10 \mu s$.

En choc court consécutif, le courant est de 50 kA et la variation de courant par rapport au temps est de : $dI/dT = 50 \text{ kA}/0,25 \mu s$.

En choc long, le courant est de 200 kA et la variation de courant par rapport au temps est de : $dI/dT = 200 \text{ kA}/500 \text{ ms}$.

Un champ électromagnétique est composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique.

En champ lointain le rapport $E/H = 377 \text{ Ohms}$.

Avec :

E : le champ électrique en $V.m^{-1}$.

La fréquence équivalente par rapport au temps de montée est donnée par la formule suivante :

$f_{eq} = 0,35/\text{temps de montée}$ ou $1/(\pi \cdot t_m)$.

Cette formule découle de l'analyse spectrale.

Les fréquences équivalentes en fonction du type d'onde foudre et leurs longueurs d'ondes équivalentes respectives sont les suivantes.

	Temps de montée (en sec)	F équivalente en Hertz	Longueur d'onde en mètre
Premier choc court	1,00E-05	3,50E+04	8,57E+03
Choc court consécutif	2,50E-07	1,40E+06	2,14E+02
Choc long	0,5	7,00E-01	4,29E+08

Fréquences équivalentes et longueurs d'ondes

Nous pouvons calculer l'intensité de ce champ par l'équation suivante :

$$H = I / 2\pi R$$

Avec :

R : la distance en mètre

I : le courant foudre

H : le champ magnétique en A/m

Dans le calcul, nous prendrons un pire cas : distance minimale, choc foudre maximale.

La distance minimale est déterminée par le rayon de la sphère fictive : 10 m

L'intensité maximale dépend du type de choc foudre

	I en A	H Crête crête en A/m	E en V/m
Premier choc court	200 000	3 183	600 000
Choc court consécutif	50 000	796	150 000
Choc long	200 000	3 183	600 000

Intensité du champ H et du champ E

Comme la structure du bâtiment est ferrailée, cela constitue un maillage qui atténue le champ électromagnétique. Cette atténuation est difficile à évaluer.

Par retour d'expérience, un équipement industriel classique supporte une induction de 10 mT en continu et 300 uT en fréquence, sauf cas particulier équipements utilisant des faisceaux d'électrons, par exemple : microscope électronique à balayage, photomultiplicateur...

Comme 1 A/m est égal à 1,25 uT dans l'air, dans le pire cas (premier choc court de 200 kA) l'induction sera d'environ 4 mT (sans l'effet d'atténuation du bâtiment, baies et boîtiers). Les équipements à l'intérieur des bâtiments n'ont rien à craindre des effets du rayonnement d'un choc foudre indirect.

Nous ne pouvons garantir un bon fonctionnement au dessus de 300 µT (sans l'effet d'atténuation du bâtiment, baies et boîtiers) en fréquence (mais peut être qu'il supporte bien plus).

15.2 Effet de la foudre direct

Lorsqu'un impact foudre « tombe » sur une pointe captrice ou le bâtiment, le courant circulera dans l'installation jusqu'au réseau de terre enfoui au prorata des impédances rencontrées.

Cette circulation de courant induira des différences de potentiel entre équipements. Ces ddp sont essentiellement dues à la self des conducteurs utilisés. Les règles de maillage et d'interconnexion de toutes les masses et structures métalliques du bâtiment présentes dans ce document contribuent à diminuer ces ddp.

Lorsqu'un équipement industriel est marqué CE, il doit répondre aux exigences essentielles de la 2014/30/UE qui renvoient aux normes industrielles (pour les équipements industriels) NF EN 61000-6-2 et 61000-6-4.

Dans la norme d'immunité industrielle (NF EN 61000-6-2), des tests d'immunités aux ondes de chocs en mode commun et mode différentiel sont prévus.

Les équipements ont donc une immunité garantie de :

Sur les lignes de signaux : ± 1 kV en MC pour les liaisons de plus de 30 mètres.

Sur accès d'entrée et de sortie de puissance en courant continu: $\pm 0,5$ kV en MC et MD.

Sur accès d'entrée et de sortie de puissance en courant alternatif : ± 2 kV en MC et ± 1 kV en MD.

Il ne faut donc pas dépasser les valeurs en MC (fonction du type de liaisons) pour les différences de potentiel entre équipements raccordés par des câbles.

Exemple :

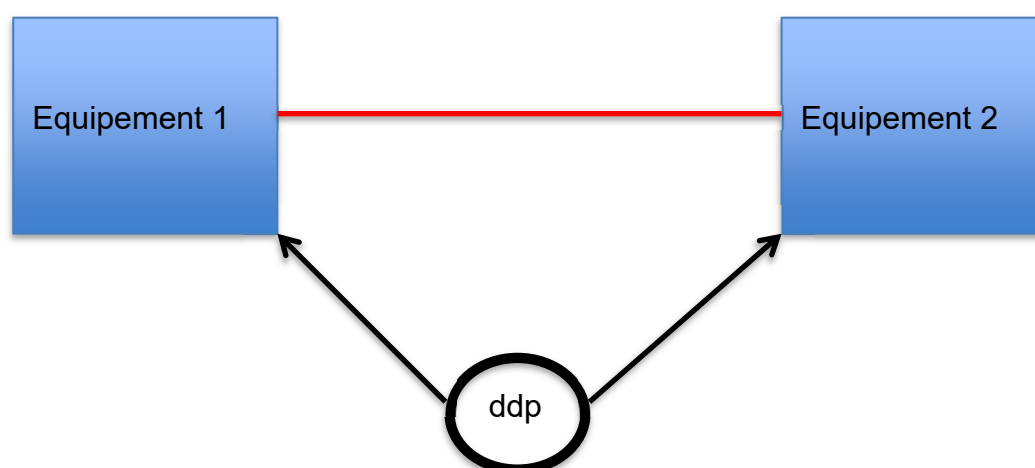


Figure 20 : Ddp en cas de choc foudre

Si le câble en rouge est une liaison de signal supérieure à 30 mètres, la ddp ne doit pas dépasser ± 1 kV, que cela soit dû au champ magnétique ou en conduction (circulation de courant dû à un impact direct).

16 Diaphonie

La diaphonie est un couplage de proximité entre deux câbles.

Elle augmente quand :

- La distance entre les câbles diminue,
- La fréquence des signaux sur les câbles augmente,
- Les longueurs communes entre câbles augmentent.

Elle est négligeable si les câbles se croisent à angle droit, si les câbles sont plaqués contre une structure de masse ou si les câbles coupables et victimes sont correctement blindés.

Les familles de câbles incompatibles sont les suivantes. Elles ne doivent pas cohabiter dans un même cheminement :

- Famille 1 : câbles analogiques sensibles : câbles capteurs et leurs alimentations, liaisons vidéo ou tout autre signal analogique bas niveau. Ces câbles sont très sensibles à tout type de perturbations électromagnétiques (BF, HF, transitoires).
- Famille 2 : câbles numériques : liaisons Ethernet, RS485, bus de terrain entre automates ou toute autre liaison numérique. Ces câbles sont principalement sensibles aux perturbations transitoires comme les étincelles ou les résidus de découpage d'électronique de puissance.
- Famille 3 : câbles tout ou rien reliés à des contacts secs du type fin de course, contacts de relais ou contacteurs. Ces signaux sont inoffensifs dans les états stables et très perturbateurs durant les états transitoires (salves d'étincelles dans les contacts). Ils sont perturbateurs pour les familles 1 et 2. Les câbles reliés à des contacteurs dits « statiques » (interrupteurs à transistors) ne sont pas concernés.
- Famille 4 : câbles de puissance : alimentations BT et HT, câbles de variateurs de vitesse. Ces liaisons peuvent perturber les trois premières familles.

Tous les câbles d'une même famille sont compatibles entre eux et peuvent cohabiter ensemble. Dès lors qu'un câble est blindé, il ne craint plus la diaphonie, il peut alors cohabiter avec n'importe quelles autres familles.

17 Blindage des équipements

On associe très souvent les problèmes de perturbations électromagnétiques à la notion de blindage des équipements, c'est à dire à l'ajout d'un boîtier métallique ou d'une armoire faradisée autour des éléments sensibles ou perturbateurs. Dans la

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 27 / 37
--------------------------------------	--	----------------

grande majorité des cas les perturbations sont collectées par les câbles et non par les équipements eux-mêmes (y compris en rayonnement). **C'est la protection des câbles qui est avant tout nécessaire.** De plus, les équipements intégrés dans les coffrets possèdent déjà le blindage nécessaire pour le respect des normes CEM. L'utilisation de coffrets ou d'armoires faradisés n'est donc utile que si :

- L'équipement est soumis à des champs rayonnés d'amplitude supérieure à son niveau d'immunité
- Les caractéristiques CEM d'un des équipements ne sont pas connues.

S'il est vraiment indispensable, un blindage doit être réalisé de la façon suivante :

- L'enveloppe doit être entièrement métallique. Pour des perturbations supérieures à 1 MHz, la nature et l'épaisseur du métal sont indifférentes,
- La continuité électrique doit être assurée entre toutes les faces, et avec les parties amovibles (tiroirs, portes, trappes). On utilise pour cela des joints conducteurs,
- Toutes les liaisons entrantes et sortantes doivent être blindées ou filtrées en traversée de paroi. Ceci est valable aussi pour tout tuyau ou conduit métallique.

Si la mise en œuvre ne respecte pas ces principes, l'efficacité totale du blindage peut devenir nulle à certaines fréquences.

18 Conception des armoires

Dans le cas général, la structure d'une armoire permet :

- L'équipotentialité des équipements intégrés,
- Le raccord des blindages en entrée d'armoire,
- La protection des liaisons internes, en particulier contre la diaphonie.

Les montants internes doivent être conducteurs, sans vernis, peinture ou tout autre traitement de surface isolant. Tous les équipements doivent être fixés sur ces montants avec un contact direct métal sur métal permettant une équipotentialité même en haute fréquence. En cas de châssis peint, le contact de masse doit être réalisé avec une tresse de masse la plus courte possible (si possible avec un rapport longueur / largeur inférieur à 5 avec une marge jusqu'à 7) raccordée à la structure de l'armoire.

Ce type de raccordement est aussi valable pour le raccordement de chemin de câble uniquement lorsque l'on n'a pas la possibilité de faire autrement.

Le rapport longueur/largeur de 5 avec une marge jusqu'à 7 correspond à :

Longueur : distance entre les deux CDC ou armoire/CDC.

Largeur : somme des largeurs des liaisons de masse.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 28 / 37
--------------------------------------	--	----------------

Exemple :

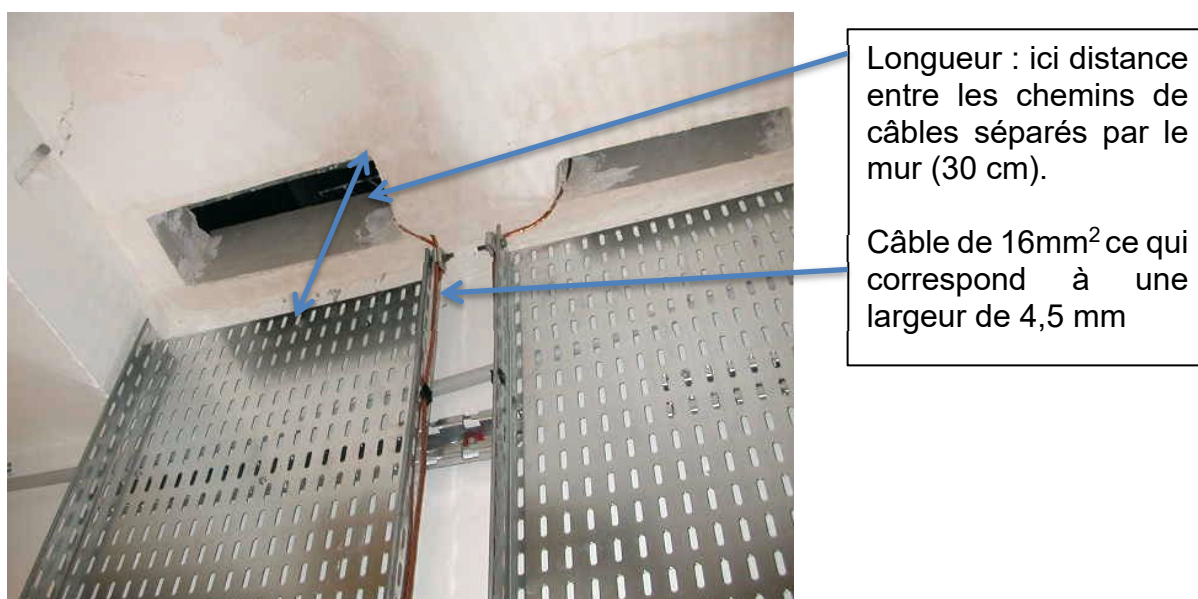


Figure 21 : Passage de cloison

Dans le cas le raccordement des deux chemins de câbles est insuffisant car le rapport $L/l = 300/4,5 = 66$

Pour un raccordement correct, il aurait fallu 42 mm de largeur de conducteur (rapport 7) soit 3 tresses de 15 mm de large ou une combinaison pour atteindre cette largeur.

A l'intérieur de l'armoire, tous les câbles et fils doivent circuler le long de structures métalliques afin de les protéger contre la diaphonie et les couplages en rayonnement.

Les conducteurs + et – d'une même liaison doivent impérativement être routés ensemble sur tout leur parcours. L'utilisation systématique des paires torsadées est une excellente solution.

Des fils incompatibles doivent être séparés de 30 cm au minimum s'ils sont routés loin des parties métalliques, et de 10 cm s'ils sont plaqués contre une plaque métallique reliée au châssis de l'armoire. Les différentes familles de liaisons sont :

- Les liaisons analogiques, les alimentations de capteurs, la vidéo,
- Les liaisons numériques,
- Les liaisons TOR et les alimentations BT et TBT.

En entrée d'armoire, les blindages des câbles doivent être reliés à la masse de l'armoire selon les recommandations du paragraphe 12. Une liaison par presse-étoupe métallique est idéale mais pas obligatoire. Une liaison par cavalier métallique est largement suffisante si le contact sur le châssis de l'armoire est direct.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 29 / 37
--------------------------------------	--	----------------

19 Réglementation

La directive européenne 2014/30/UE impose que tout équipement industriel électrique et électronique mis sur le marché européen ne perturbe pas son environnement et ne soit pas sensible aux perturbations ambiantes. Le respect des normes génériques en émission ou en immunité, suffit à la présomption de conformité. Le fabricant du matériel engage sa responsabilité en plaçant le logo « CE » sur l'appareil et en rédigeant une Déclaration de conformité CE, document dans lequel il rappelle, avec la dénomination commerciale du produit, la liste des normes et niveaux respectés.

Tous les équipements intégrés doivent impérativement être marqués « CE ». Pour chacun, la déclaration de conformité CE doit être demandée au fabricant.

La directive CEM s'applique aussi aux installations, même s'il n'existe pas de norme traitant de ce point. La procédure à suivre est alors la suivante :

- Rassembler l'ensemble des déclarations de conformité de tous les équipements installés afin de prouver leurs caractéristiques CEM,
- Proposer un document décrivant les règles de mise en œuvre CEM prévues pour l'installation (le présent document),
- Prouver que la mise en œuvre est conforme à ce document de référence : plans, photos, rapports de contrôle,
- Eventuellement, réaliser quelques essais de validation CEM sur un ensemble réduit d'équipement et dans un mode de fonctionnement sécuritaire.

20 Equipements perturbateurs

Il existe, très globalement, trois types de perturbations électromagnétiques dans une installation :

- Le champ magnétique à la fréquence du réseau électrique (50 Hz). Il est généré par la circulation du courant d'alimentation dans les conducteurs et les appareils de puissance.
- Le champ électromagnétique haute fréquence entretenu : émetteurs radio principalement,
- Les champs et courants de mode commun impulsionnels générés par les étincelles et les équipements de puissance à découpage.

20.1 Organes de coupure HTA

L'ouverture d'un circuit d'alimentation par un contact sec (sectionneur, disjoncteur, contacteur, relais) génère des étincelles qui créent dans l'environnement une salve d'impulsions électromagnétiques. En se couplant sur les câbles victimes, ces champs génèrent des salves d'impulsions de courant qui peuvent fortement perturber le fonctionnement d'équipements et de liaisons numériques.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 30 / 37
--------------------------------------	--	----------------

Dans le cas des cellules haute tension, la perturbation a lieu uniquement lors de l'ouverture des disjoncteurs ou des sectionneurs.

A l'ouverture, et à 1 m d'une cellule haute tension, un câble victime collecte environ **5 fois plus** de courant que ce qu'un équipement industriel marqué CE ne peut supporter.

A l'ouverture, et à 10 m d'une cellule haute tension, un câble victime collecte environ **2 fois moins** de courant que ce qu'un équipement industriel marqué CE ne peut supporter.

20.2 Organes de coupure BT

Les organes de coupure basse tension (sectionneurs, disjoncteurs, contacteurs, relais) génèrent le même type de perturbation impulsionnelle à l'ouverture que les organes HTA mais avec une amplitude plus faible. D'autre part, les essais inclus dans les normes CEM pour le respect de la directive européenne (marquage CE) garantissent qu'un équipement peut cohabiter sans aucun soucis avec les organes de coupure BT, même proches.

20.3 Transformateurs HTA et BT

Ces équipements génèrent principalement du champ magnétique 50 Hz. Le champ, très fort contre les transformateurs, décroît comme le cube de la distance (divisé par 8 quand la distance double) et devient négligeable même pour l'électronique analogique sensible au-delà de 10 m.

Le champ magnétique basse fréquence généré par un transformateur (même de forte puissance) ne peut pas perturber le fonctionnement d'un équipement numérique.

Exemple :

Le champ magnétique mesuré à 10 cm d'un transformateur HTA/BT vaut environ 500 μ T. Dans une boucle d'un circuit électronique de 10 cm x 10 cm, la tension collectée n'est que de 1,6 mV. Cette tension est trop faible pour perturber un circuit numérique. Seul un circuit analogique bas niveau peut être perturbé.

20.4 Câbles d'alimentation HTA et BT

La circulation du courant d'alimentation dans les câbles de puissance génère du champ magnétique 50 Hz dont l'amplitude décroît comme le carré de la distance.

C'est la valeur du courant qui détermine directement l'amplitude du champ et non la tension. A puissance égale, il y a plus de courant en BT qu'en HTA. Ce sont donc les liaisons BT de forte section qui sont le plus à craindre.

L'amplitude du champ dépend de la surface de la boucle formée par les conducteurs de phases. Un câblage en trèfle permet d'obtenir un rayonnement minimum.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 31 / 37
--------------------------------------	--	----------------

Le champ magnétique basse fréquence est à très basse impédance. Cela signifie qu'il ne peut être blindé que par des matériaux fortement magnétiques comme le Mumétal. Comme pour les transformateurs, le seul risque est de perturber des équipements analogiques bas niveau ou des faisceaux de particules chargées.

20.5 Alimentations à découpage

Tous les appareils de puissance à découpage génèrent des impulsions de courants de mode commun dans l'installation (vers la charge et dans les masses). Ces perturbations sont limitées* par le respect des normes CEM d'émission conduite. Ces équipements perturbateurs sont donc parfaitement compatibles avec tout équipement sensible marqué CE. Il est toutefois indispensable de relier le 0V des sorties d'alimentations continues à la masse par une liaison très courte.

**Dans la bande de 2 kHz à 150 kHz aucune mesure d'émission conduite n'est prévue par les normes industriels ou résidentiels, il arrive, rarement, que des problèmes se posent dans cette bande de fréquence dû à ce « trou dans la raquette » des normes.*

20.6 Variateurs de vitesse, démarreurs et onduleurs

Ces appareils, comme les alimentations à découpage génèrent des impulsions de mode commun dans l'installation. Le problème, pour ces appareils, vient du fait que les normes d'émissions acceptent **des niveaux de perturbation très élevés**, totalement incompatibles avec des équipements sensibles voisins (même marqués CE). Il est donc impératif de mettre en place des éléments de protection supplémentaires :

- Le câble de puissance entre le variateur (démarreur) et le moteur doit impérativement être blindé. Le blindage doit être raccordé à la masse du variateur et du moteur par un presse-étoupe métallique. Tout raccordement par un simple fil est à proscrire.
- Un filtre supplémentaire doit être placé sur l'alimentation du variateur. Il doit être vissé directement sur le châssis du variateur ou à défaut, sur la tôle de fond d'armoire, au plus près de lui.

Dans ces conditions, un équipement marqué CE peut être installé à proximité sans risque de perturbation.

Le rayonnement haute fréquence du variateur devient négligeable au-delà d'une dizaine de centimètres du châssis. Un équipement sensible peut donc être vissé sur la même tôle de fond d'armoire. Une distance de sécurité de 50 cm doit cependant être observée pour des équipements analogiques bas niveaux particulièrement sensibles.

Si un onduleur respecte les normes génériques, il a peu de chance de perturber les équipements voisins.

AEMC Rapport N° 210200-SL- R-A	Ce document peut être reproduit ou dupliqué avec l'autorisation de AEMC	Page : 32 / 37
--------------------------------------	--	----------------

Lors d'un régime de neutre IT, ces variateurs ne peuvent plus être filtrés et sont donc **incompatibles** avec tout système de mesure ou systèmes sensibles.

Le contrôleur permanent isolement du réseau IT détecte le courant de fuite entre phase et terre. L'ajout de filtre en mode commun augmente ce courant de fuite d'où son incompatibilité par impossibilité de filtrage.

20.7 Emetteurs radio

Les émetteurs que l'on peut retrouver sur le site sont :

- les téléphones GSM,
- Les téléphones DECT,
- Les bornes Wifi
- Les talkies-walkies
- Les éventuels émetteurs fixes.

Le champ rayonné par un émetteur dépend de la puissance d'émission et de la distance. Un émetteur de puissance P (en W) avec une antenne de gain G (sans dimension) à une distance D (en m) génère un champ E (en V/m) :

$$E = \frac{1}{D} \sqrt{30 \cdot P \cdot G}$$

Equation 1.

Pour un émetteur de 1 W avec une antenne filaire de gain G = 1,5 à 1 m, le champ E vaut environ 7 V/m.

En pratique, un facteur 2 de sécurité doit être appliqué à cause des réflexions sur les structures métalliques proches occasionnant un doublement du champ. Dans notre exemple, nous considérons que le champ généré à 1 m de l'émetteur peut atteindre 14 V/m.

Un équipement marqué CE ne supporte que 10 V/m. Il est donc impératif de restreindre l'utilisation des émetteurs puissants à moins de 2 m des équipements de contrôle commande ou de mesure.

Les téléphones GSM ont une puissance d'émission plus faible (1 W pendant 1/8 du temps dans le pire des cas). Ils fonctionnent à une fréquence proche d'1 GHz. Ce sont les conducteurs courts comme les pistes de circuits imprimés qui se couplent facilement. Ces émetteurs doivent être éloignés de plus de 2 m des équipements sensibles.

Les téléphones DECT et les bornes Wifi ont des puissances d'émission largement inférieures au Watt. Ils ne constituent pas un danger, pour des équipements placés à plus de 20 cm.

21 Caractérisation des éléments de protection

Nous décrivons ici les différents éléments participant à la protection CEM des équipements sensibles.

21.1 Chemins de câble

Un chemin de câble métallique correctement mis en œuvre est un élément essentiel à la protection CEM d'une installation. Il permet :

- L'augmentation de l'équipotentialité des masses,
- La protection des câbles contre la diaphonie (tant que le taux de remplissage reste raisonnable),
- La protection des câbles sensibles contre les perturbations de mode commun en conduction ou en rayonnement jusqu'à 100 MHz,
- La limitation du bruit généré dans l'installation par les câbles perturbateurs.

Les chemins de câbles doivent être idéalement en métal plein. Les modèles en « dalle marine » (perforations oblongues) conviennent parfaitement. Les systèmes en fils soudés du type « Cablofil » sont moins performant.

Performance de différents chemins de câble

Chemin de câbles



≈ 34 dB

≈ 40 dB avec couvercle

« Cablofil »



≈ 24 dB

Figure 22 : Chemin de câbles

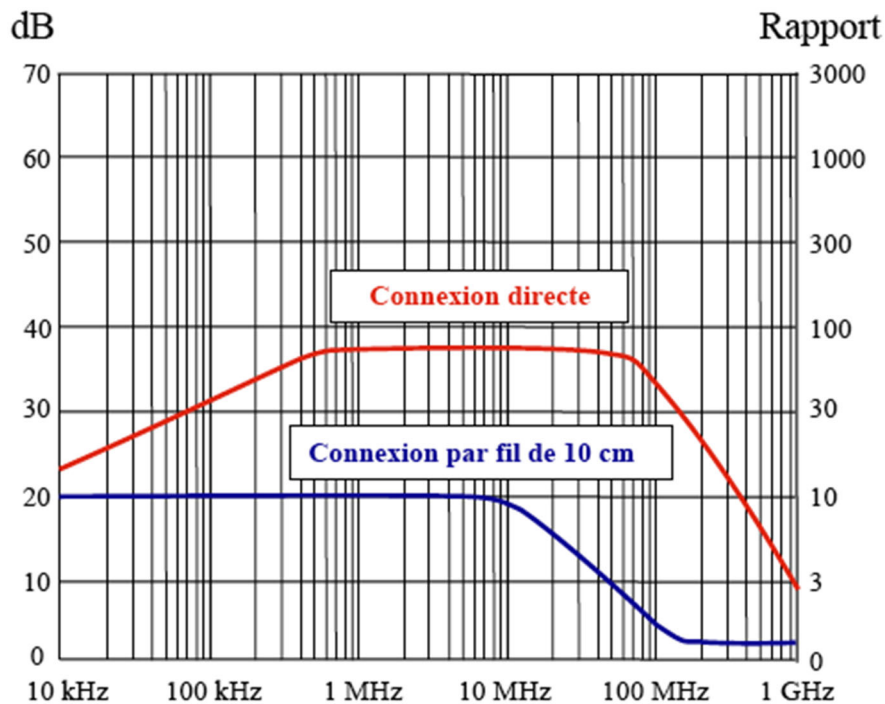


Figure 23 : Performance d'un chemin de câble en dalle marine en fonction de la fréquence

Connexion directe : connexion de type tôle sur tôle, raccordement des dalles directement sur la masse des armoires

Connexion par fil de 10 cm : raccordement des dalles par une liaison de 10 cm sur la masse des armoires.

Le montage est extrêmement important.

21.2 Limitation de la diaphonie

L'élément essentiel est de garantir la séparation correcte des câbles dans les différents cheminements.

Prenons l'exemple pire cas de deux câbles incompatibles dans le même chemin de câble raccordée en connexion directe :

- Un câble HTA supportant des impulsions haute fréquence de 100 A environ (au moment de l'ouverture d'un disjoncteur ou d'un sectionneur),
- Un câble de liaison numérique raccordé à un équipement marqué CE.

La diaphonie pire cas est donnée par l'équation 2 :

$$D_{max}(\%) = 200 / (1 + R)$$

Equation 2.

Où

$$R = \frac{2Ln\left(\frac{4h}{d}\right)}{Ln\left(1 + \left[\frac{2h}{e}\right]^2\right)}$$

Equation 3.

Avec :

h : hauteur du centre des câbles par rapport à la plaque métallique,

d : diamètre des câbles,

e : distance entre les câbles

Pour des câbles de 4 cm de diamètre plaqués sur le chemin de câble ($h = d/2 = 2$ cm) espacés de 20 cm, la diaphonie pire cas n'est que de 5%. Le courant collecté sur le câble victime est donc de 5 A.

Un équipement CE subit entre autre un essai de transitoires rapides en salves (NF EN 61000-4-4) qui reproduit parfaitement ce type de perturbation impulsionnelle. Le courant de 5 A collecté par le câble sensible correspond au Niveau 1 de cet essai. La norme générique demande un niveau 3 pour les câbles signaux (qui correspond environ à 20 A).

La limitation de la diaphonie est encore plus forte dans le cas de deux chemins de câbles distincts.

Un câble blindé ne craint plus la diaphonie.

21.3 Blindages des câbles

Un blindage de câble a un effet réducteur nul en basse fréquence et faible jusqu'à 100 kHz environ. Il ne protège pas du tout des perturbations à 50 Hz.

En revanche, au-delà de 1MHz, son efficacité est de l'ordre de 50 dB (un facteur 316) pour un écran simple tresse, si sa mise en œuvre est maîtrisée. Le remplacement d'une liaison de blindage périphérique (presse-étoupe métallique) par un simple fil de 10 cm (« queue de cochon ») dégrade l'effet réducteur global de la liaison de plus de 20 dB.

22 Conclusions

La bonne installation CEM des équipements est indispensable pour garantir un bon fonctionnement et une bonne immunité des équipements. Des règles d'installations, présentées dans ce document, existent et découlent des principes physiques connus depuis Maxwell. Si nous ne devons citer qu'une seule règle, je choisirai l'équipotentialité !

L'équipotentialité, facile en BF, s'avère plus compliquée en HF car nécessitant de nombreuses interconnexions de masse par des conducteurs de types tôles. Pour cela, nous utiliserons tout ce qui existe déjà, chemins de câbles, tuyaux, IPN, structures métalliques...