

# Chapitre R

## Recommandations pour l'amélioration de la CEM

### Sommaire

<b>1</b>	<b>La distribution BT</b>	<b>R2</b>
	1.1 Terminologie et définitions	R2
	1.2 La protection des personnes et la CEM	R2
	1.3 Les schémas de liaisons à la terre (SLT) et la CEM	R3
	1.4 Distribution BT avec des équipements sensibles	R4
<b>2</b>	<b>Réseaux de mise à la terre et CEM</b>	<b>R5</b>
	2.1 Un ou plusieurs réseaux de mise à la terre	R5
	2.2 Configuration recommandée pour l'installation de mise à la terre	R6
<b>3</b>	<b>Mise en œuvre</b>	<b>R7</b>
	3.1 Equipotentialité intra et inter-bâtiments	R7
	3.2 Amélioration de l'équipotentialité	R8
	3.3 Ségrégation des câblages	R9
	3.4 Planchers surélevés	R10
	3.5 Cheminements des câbles	R11
	3.6 Mise en œuvre des câbles blindés	R14
	3.7 Réseaux de communication	R14
	3.8 Mise en œuvre des parafoudres	R15
	3.9 Câblage des armoires	R18
	3.10 Références normatives	R18
<b>4</b>	<b>Mécanismes de couplage et mesures correctives</b>	<b>R19</b>
	4.1 Généralités	R19
	4.2 Couplage par impédance commune	R20
	4.3 Couplage capacitif	R21
	4.4 Couplage inductif	R22
	4.5 Couplage par rayonnement	R23
<b>5</b>	<b>Recommandations de câblage</b>	<b>R25</b>
	5.1 Classification des signaux	R25
	5.2 Conseils de câblage	R25

**Nota :**

Les spécificités des normes et réglementations françaises sont présentées sur un fond gris.

Ce chapitre traite de la mise à la terre et de la mise en équipotentialité fonctionnelle des appareils de technologies de l'information et des autres appareils similaires nécessitant des interconnexions, à des fins de traitement correct des signaux.

## 1.1 Terminologie et définitions

Les termes suivants sont définis plus spécialement pour la lecture de ce chapitre :

■ **installation de mise à la terre** : (VEI 826-13-04)

ensemble des liaisons électriques et dispositifs mis en œuvre dans la mise à la terre d'un réseau, d'une installation ou d'un matériel.

■ **réseau de terre** : (VEI 712-04-57)

ensemble de conducteurs enterrés ou placés sur le sol pour améliorer la conductivité de celui-ci.

■ **réseau de mise à la terre** ou **réseau de mise à la masse** :

ensemble des liaisons électriques (non enterrées) et dispositifs mis en œuvre dans la mise à la terre d'un réseau, d'une installation ou d'un matériel.

Ce terme désigne l'installation de mise à la terre moins le réseau de terre.

■ **équipotentialité** : (VEI 826-13-18)

état de parties conductrices ayant un potentiel électrique sensiblement égal

■ **réseau équipotentiel /de protection /fonctionnel** : (VEI 826-13-30/31/32)

Interconnexion de parties conductrices, permettant d'assurer une liaison équipotentielle /de protection /fonctionnelle entre ces parties

■ **réseau commun de liaison équipotentielle (CBN)** : (VEI 826-13-33)

réseau équipotentiel assurant à la fois une liaison équipotentielle de protection et une liaison équipotentielle fonctionnelle

■ **liaison équipotentielle fonctionnelle** : (VEI 826-13-21)

liaison équipotentielle réalisée à des fins fonctionnelles autres que la sécurité

■ **conducteur parallèle d'accompagnement (PEC)** ou **câble d'accompagnement de masse** :

conducteur de protection parallèle aux écrans du câble de transmission des signaux et/ou des données afin de limiter le courant s'écoulant dans les écrans.

■ **masse** (dans une installation) ou **partie conductrice accessible** : (VEI 195-06-10)

partie conductrice d'un matériel, susceptible d'être touchée, et qui n'est pas normalement sous tension, mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défailante

■ **élément conducteur étranger** : (VEI 826-12-11)

partie conductrice ne faisant pas partie de l'installation électrique et susceptible d'introduire un potentiel électrique, généralement celui d'une terre locale

L'hubriserie métallique d'une fenêtre, la structure métallique d'un bâtiment est un élément conducteur étranger.

■ les termes suivants ont été définis dans le chapitre E au paragraphe 1.1 :

□ prise de terre,

□ terre,

□ prises de terre électriquement distinctes,

□ résistance de terre,

□ conducteur de terre,

□ conducteur d'équipotentialité,

Note : le conducteur d'équipotentialité n'est défini que pour la protection.

□ borne principale,

□ liaison équipotentielle principale (LEP).

## 1.2 La protection des personnes et la CEM

La protection des personnes et la CEM utilisent les mêmes moyens : l'équipotentialité de l'installation de mise à la terre (voir aussi le chapitre E paragraphe 1.1).

■ La protection des personnes

La sécurité est assurée par la limitation de la tension de contact : l'installation de mise à la terre doit assurer cette équipotentialité. Quand elle n'est plus garantie (cas d'un défaut d'isolement), les schémas des liaisons à la terre (SLT) permettent de gérer, d'éliminer le défaut dangereux et de garantir à nouveau la sécurité des personnes. Les liaisons à la terre (conducteur de protection PE et les liaisons équipotentielles) sont définies pour supporter les courants de défauts.

La protection des personnes (contre les contacts indirects) est traitée au chapitre E.

Note : l'équipotentialité est réalisée pour la fréquence du réseau d'alimentation (50 Hz /60 Hz).

R2

# 1 La distribution BT

## ■ La CEM

L'installation de mise à la terre est conçue pour assurer fonctionnellement l'équipotentialité. Celle-ci permet de garantir :

- une référence de potentiel pour une transmission fiable et de haute qualité des signaux,
- un « effet » d'écran.

Cette équipotentialité est obtenue grâce à une impédance à la masse faible et adaptée permettant de dévier les courants HF (et éventuellement les courants de défaut électrique) sans traverser les appareils ou systèmes électroniques.

Note 1 : l'équipotentialité doit être réalisée pour des fréquences BF et HF (> 1 MHz).

Note 2 : le fait de rajouter des liaisons équipotentielles fonctionnelles pour des fins CEM renforce la sécurité de l'installation électrique (mais néanmoins bien appliquer la Note 3).

Note 3 : les fonctions de protection et de CEM de l'installation de mise à terre étant « confondues », il est obligatoire de vérifier que les liaisons équipotentielles fonctionnelles ne deviennent pas de facto une liaison équipotentielle de protection, car elles ne sont pas conçues pour cela.

2 exemples pour étayer cette obligation :

- la structure métallique d'un local peut être mise à la terre (ou non) par une liaison équipotentielle fonctionnelle. Si cette liaison sert de cheminement de câbles pour des raisons CEM, cette liaison équipotentielle fonctionnelle devient une liaison équipotentielle de protection.
- 2 bâtiments ont des installations de mise à la terre séparée. L'interconnexion filaire par câbles blindés entre deux équipements communicants de chaque bâtiment transforme le blindage (liaison équipotentielle fonctionnelle) en conducteur de protection (liaison équipotentielle de protection) si des mesures d'accompagnement de cette liaison ne sont pas mises en place (voir paragraphe 3.1).

*Le schéma TN-S pose le moins de problèmes CEM pour les installations comportant des systèmes de technologie de l'information (télécoms entres autres).*

## 1.3 Les schémas de liaisons à la terre (SLT) et la CEM

Le choix du schéma de liaisons à la terre permet d'assurer la sécurité des personnes et des biens. Le comportement des différents schémas d'un point de vue CEM est à prendre en compte. La **Figure R1** suivante synthétise leurs caractéristiques principales.

La normalisation européenne (voir NF EN 50174-2 et NF EN 50310) recommande le schéma de liaison à la terre TN-S.

	TT	TN-S	IT	TN-C
Sécurité des personnes	Bonne DDR obligatoire	Bonne La continuité du conducteur PE doit être assurée sur toute l'installation		
Sécurité des biens	Bonne Courant de défaut moyen < quelques dizaines d'ampères	Mauvaise Courant de défaut fort de l'ordre du kA	Bonne Courant de 1er défaut faible < quelques dizaines de mA, mais fort au 2ème défaut	Mauvaise Courant de défaut fort de l'ordre du kA
Disponibilité de l'énergie	Bonne	Bonne	Très bonne	Bonne
Comportement CEM	Bon - Risque de surtensions - Problème d'équipotentialité - Nécessite de gérer les appareils à courant de fuite élevé	Très bon - Peu de problème d'équipotentialité - Nécessite de gérer les appareils à courant de fuite élevé - Courants de défaut élevés (perturbations transitoires)	Mauvais (à éviter) - Risques de surtensions - Filtres et parafoudres de mode commun doivent supporter la tension composée - DDR (disjoncteurs différentiels, interrupteurs différentiels, etc.) sensibilisés si présence de condensateurs de mode commun - Schéma TN au 2ème défaut	Mauvais (à proscrire) - Neutre et PE confondus - Circulation de courants perturbateurs dans les masses (rayonnement champ magnétique important) - Courants de défaut élevés (perturbations transitoires)

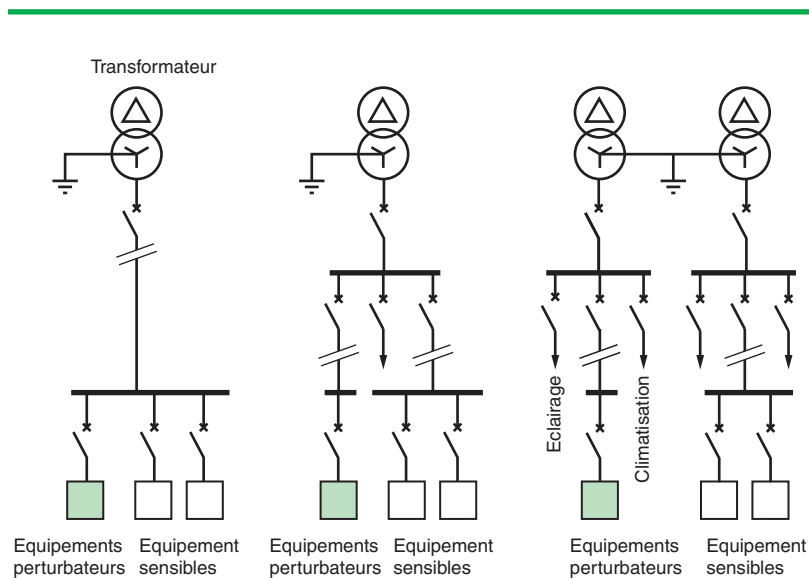
**R3**

© Schneider Electric - tous droits réservés

**Fig. R1** : Principales caractéristiques des schémas des liaisons à la terre (SLT)

## 1.4 Distribution BT avec des équipements sensibles

Lorsqu'une installation comporte des systèmes de forte puissance (moteurs, climatisation, ascenseur, électronique de puissance, etc.), c'est à dire des équipements pouvant polluer des équipements sensibles, il est conseillé d'avoir un ou plusieurs transformateurs dédiés à ces systèmes. La distribution électrique doit se faire en étoile et tous les départs doivent se faire à partir du TGBT. Les systèmes électroniques (contrôle/commande, régulation, mesures, etc.) doivent être alimentés par un transformateur dédié et en schéma TN-S. La **Figure R2** illustre ces propos.



**Fig. R2 :** Recommandations pour séparer les équipements perturbateurs

## 2 Réseaux de mise à la terre et CEM

Pour réaliser la CEM des appareils de technologies de l'information et des autres appareils similaires nécessitant des interconnexions, les différents types de schémas de réseau de mise à la terre nécessitent que des conditions spécifiques soient respectées. Ces conditions spécifiques ne sont pas toujours remplies dans une installation. Ainsi, les directives données dans ce paragraphe sont destinées à ce type d'installation.

Pour les installations spécifiques (salles informatiques, etc.) ou industrielles, un réseau commun de liaison équipotentielle (CBN) peut être envisagé afin de garantir les meilleures performances CEM, en prenant en compte les éléments suivants :

- les systèmes numériques et de nouvelles technologies,
- la conformité aux prescriptions CEM<sup>(1)</sup> (émission et immunité),
- la multiplicité des applications électriques,
- un niveau élevé de sécurité, de sécurité des systèmes et de fiabilité et/ou de disponibilité.

### 2.1 Un ou plusieurs réseaux de mise à la terre

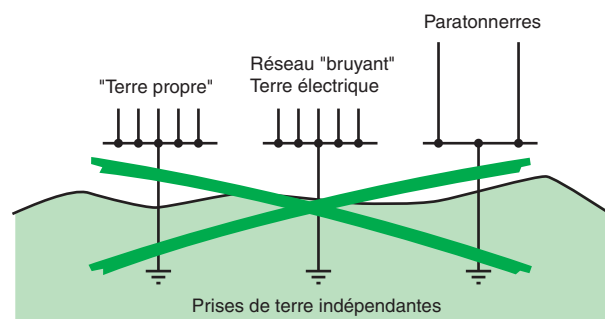
Toutefois, pour les locaux résidentiels où l'utilisation d'appareils électriques est limitée, un réseau de mise à la terre isolé, ou de préférence un réseau maillé de mise à la terre isolé, peut être envisagé.

Il est reconnu que le concept de prises de terre indépendantes et dédiées, chacune servant un réseau de mise à la terre séparé, est une mauvaise conception qui n'est pas acceptable dans le cadre des performances CEM. Dans certains pays, les codes nationaux interdisent une telle pratique.

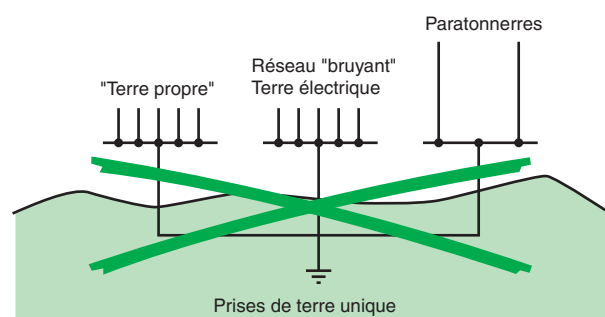
Il n'est pas recommandé pour obtenir la CEM, même en utilisant une prise de terre unique (cf. **Fig. R3** et **Fig. R4**), d'installer deux réseaux de mise à la terre séparés :

- un réseau de mise à la terre « propre » pour les dispositifs électroniques,
- un réseau de mise à la terre « bruyant » pour l'énergie.

En cas de coup de foudre, le courant de foudre et les courants de suite circuleront dans le circuit dédié du paratonnerre et de sa prise de terre. Par couplage ou par rayonnement, ce courant induit des tensions transitoires, en particulier sur le réseau de mise à la terre « propre », provoquant des défaillances ou endommagement l'installation. Si l'installation et la maintenance sont adaptées, cette conception peut s'avérer sûre (à basses fréquences), mais elle ne convient généralement pas à la CEM (à fréquences élevées).



**Fig. R3** : Prises de terre indépendantes (généralement non adaptées à la sécurité et à la CEM)

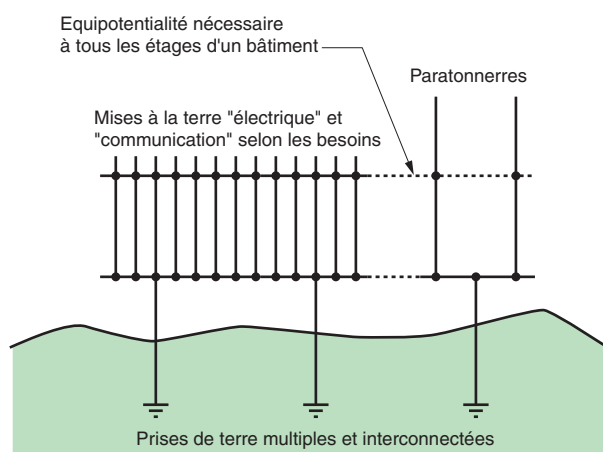


**Fig. R4** : Prise de terre unique

(1) En Europe, les exigences essentielles de CEM sont formulées dans la Directive 2004/108/CE, lesquelles renvoient aux normes harmonisées correspondantes.

### 2.2 Configuration recommandée pour l'installation de mise à la terre

La configuration recommandée pour l'installation de mise à la terre consiste en un réseau bi- ou tridimensionnel (cf. **Fig. R5**). C'est l'approche recommandée dans le cas général, pour la sécurité et la CEM. Cette recommandation n'exclut pas d'autres configurations particulières, ayant fait leurs preuves et faisant l'objet d'une maintenance appropriée.



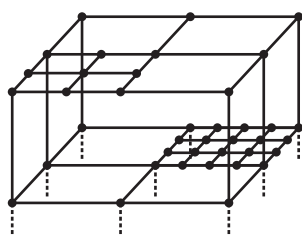
**Fig. R5** : Prises de terre multiples et interconnectées

Dans un immeuble à plusieurs étages, il convient que chaque étage ait son propre réseau de mise à la terre (généralement un réseau maillé), et que tous ces réseaux soient interconnectés et raccordés à la prise de terre. L'interconnexion entre les réseaux de mise à la terre de deux étages doit être redondante (réalisée au minimum par deux liaisons) afin de garantir qu'en cas de rupture accidentelle d'une liaison aucune partie du système de réseaux de mise à la terre ne soit isolée.

En pratique, plus de deux liaisons sont connectées pour obtenir une meilleure symétrie pour la circulation du courant, afin de minimiser les différences de tension et de diminuer l'impédance globale entre les différents étages.

Ces chemins multiples et parallèles ont des fréquences de résonance différentes. Ainsi, si, pour un chemin donné, il existe un chemin dont l'impédance est élevée, ce chemin est certainement shunté par un autre n'ayant pas la même fréquence de résonance. Globalement, sur un large spectre de fréquences (dizaines de Hz/ dizaines de MHz), une multitude de chemins permet d'obtenir un système à faible impédance (cf. **Fig. R6**).

Il convient que chaque pièce du bâtiment soit dotée de liaisons équipotentielles pour réaliser l'équipotentialité des appareils des systèmes informatiques ou de communication, des chemins de câbles, des canalisations électriques préfabriquées, etc. L'équipotentialité de l'installation de mise à la terre peut être renforcée par la mise à la terre des tuyaux métalliques, des gouttières, des supports, des châssis, des structures, etc. Dans certains cas particuliers, tels que les salles de contrôle ou les salles informatiques, ayant un plancher surélevé, un plan de masse ou des bandes de mise à la terre peuvent être utilisés pour améliorer la mise à la terre des appareils sensibles et protéger les câbles d'interconnexion.



**Fig. R6** : Chaque étage possède une grille ; les grilles sont reliées entre elles en plusieurs points entre les étages, et certaines grilles du sol sont renforcées selon les besoins dans certaines zones.

R6

*La seule méthode économique pour diviser les courants dans une installation de mise à la terre et maintenir des caractéristiques satisfaisantes d'équipotentialité, est d'interconnecter les réseaux de terre.*

*Dans un même bâtiment, les réseaux de terre distincts (« terre électronique, terre informatique, terre télécom », etc.) doivent être interconnectés de manière à former un réseau équipotentiel de terre unique.*

### 3.1 Equipotentialité intra et inter-bâtiments

#### Rappel

Les buts fondamentaux de la mise à la terre et de la mise au potentiel sont :

- la sécurité avec limitation de la tension de toucher et le chemin de retour des courants de défaut,
- la CEM par référence de potentiel et égalisation des tensions, l'effet d'écran.

Les courants vagabonds se propagent inévitablement dans un réseau de terre. Il est impossible de supprimer toutes les sources de perturbations d'un site. Les boucles de masse sont aussi inévitables. Quand un champ magnétique rayonne dans un site, un champ produit par un coup de foudre par exemple, il induit des différences de potentiel dans les boucles formées par les différents conducteurs et, de ce fait, des courants peuvent circuler dans l'installation de mise à la terre. Ainsi le réseau de terre interne au bâtiment est directement influencé par les mesures correctives prises à l'extérieur du bâtiment.

Tant que les courants circulent dans l'installation de mise à la terre et non dans les circuits électroniques, ils ne sont pas perturbateurs. Cependant, quand les réseaux de terre ne sont pas équipotentiels, quand ils sont connectés en étoile à la borne de terre par exemple, les courants parasites HF circuleront partout notamment dans les câbles de signaux. Les équipements peuvent alors être perturbés, voire même détruits.

#### Liaisons équipotentielle fonctionnelles ou de protection

La seule méthode économique pour diviser les courants dans une installation de mise à la terre et maintenir des caractéristiques satisfaisantes d'équipotentialité, est de relier les réseaux de terre. Interconnecter les réseaux de terre contribue à rendre équipotentielle l'installation de mise à la terre mais sans être un substitut aux conducteurs de protection. Afin de satisfaire aux exigences légales en matière de sécurité des personnes, chaque équipement doit être connecté obligatoirement à la borne de terre par un conducteur de protection (PE) identifié et de section suffisante. De plus, à l'exception possible des immeubles à structure en acier, de multiples conducteurs de descente de paratonnerre ou le réseau de protection contre la foudre doivent être directement tirés jusqu'à la prise de terre.

La différence fondamentale entre un conducteur de protection (PE) et un conducteur de descente de paratonnerre est que le premier conduit un courant (de défaut) interne à l'installation électrique BT au point neutre du transformateur MT/BT (schémas TT et TN), tandis que le second écoule un courant externe (de l'extérieur du site) jusqu'à la prise de terre.

#### Interconnexion des masses

Dans un bâtiment, il est recommandé de connecter un réseau de terre à toutes les structures conductrices accessibles : poutres métalliques et huisseries de portes, tuyauteries, etc. Il est généralement suffisant de connecter les goulottes métalliques, tablettes et linteaux métalliques, tubes métalliques, conduits de ventilation, etc. en autant de points que possible. Dans les endroits où il y a une forte concentration d'équipements, quand la taille de la maille du réseau équipotentiel est supérieure à 4 mètres, il convient d'ajouter une liaison équipotentielle. La section et le type de conducteur utilisé ne sont pas critiques.

Il est impératif d'interconnecter les réseaux de terre de bâtiments ayant des liaisons câblées communes. Il est recommandé de réaliser cette interconnexion par de multiples liaisons équipotentielle entre les masses des équipements et par l'intermédiaire de liaisons entre toutes les structures métalliques internes aux bâtiments ou reliant les bâtiments (sous condition qu'elles soient non interrompues).

Ce réseau de terre doit être aussi maillé que possible. Si le réseau de terre est équipotentiel, les différences de potentiel entre équipements communicants deviennent faibles, et bon nombre de problèmes de CEM disparaissent. En cas de défauts d'isolement ou de chocs de foudre, les différences de potentiel sont aussi moins importantes.

Si l'équipotentialité entre bâtiments ne peut être garantie ou si les bâtiments sont éloignés de plus d'une dizaine de mètres, il est très fortement recommandé de réaliser les liaisons de communication par fibre optique et de réaliser des isollements galvaniques pour les systèmes de mesures et de communication. Cela devient obligatoire si le réseau d'alimentation électrique est en schéma IT ou TN-C.

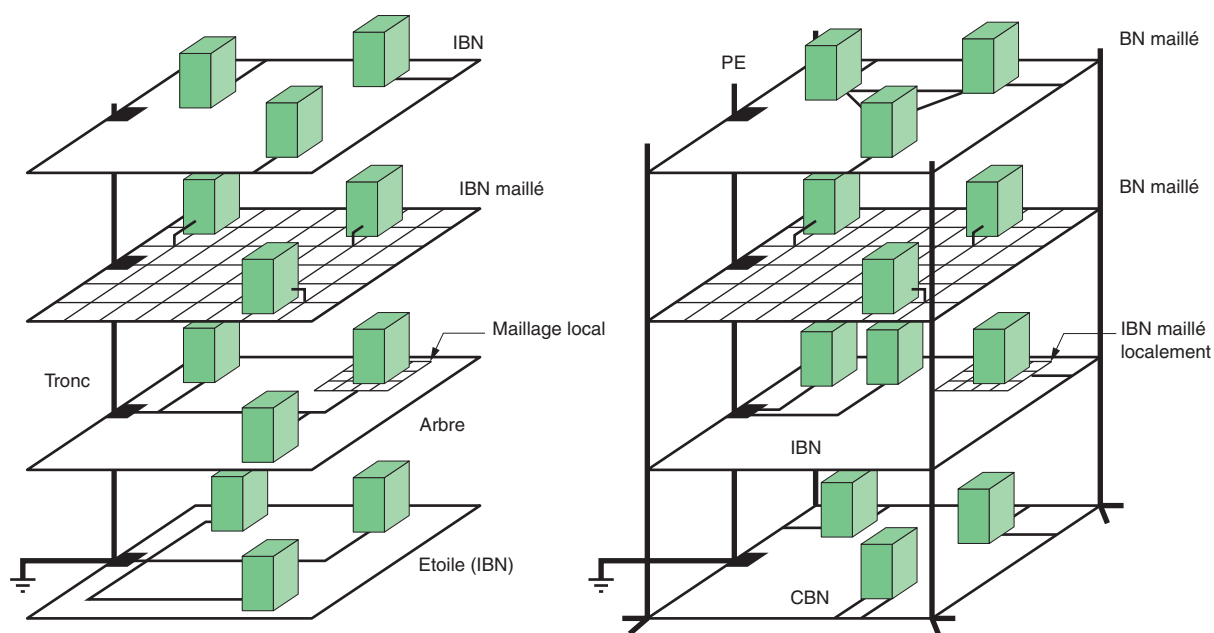
R7

### 3.2 Amélioration de l'équipotentialité

#### Réseaux de mise au même potentiel

Bien que le réseau de mise au même potentiel idéal soit une tôle ou une grille à mailles fines, l'expérience montre que pour la majorité des perturbations, une maille d'environ 3 mètres de côté est suffisante. Cela forme un réseau de masse maillé.

Des exemples de différents réseaux de mise au même potentiel sont montrés sur la **Figure R7**. La structure minimale recommandée est composée d'un conducteur (bande ou câble de cuivre par exemple) entourant la pièce.



BN: Réseau équipotentiel  
 CBN: Réseau commun de liaison équipotentielle  
 IBN: Réseau équipotentiel isolé

Fig. R7 : Exemple de réseaux de mise au même potentiel

La longueur des liaisons entre un élément de la structure et le réseau équipotentiel ne doit pas excéder 50 cm. Si cela ne peut être le cas, une liaison supplémentaire sera ajoutée en parallèle à la première et à une distance comprise entre 10 et 50 cm.

Il convient que la liaison à la barre de terre de l'armoire électrique d'un ensemble d'équipements au réseau équipotentiel (voir ci-dessous) soit réalisée avec une inductance de moins de 1 µHenry (0,5 µH, si possible). Par exemple, il est possible d'utiliser un conducteur unique de 50 cm, ou deux conducteurs en parallèle de 1 mètre (pas trop près l'un de l'autre - à au moins 50 cm - afin de minimiser la mutuelle inductance entre les deux conducteurs).

Dans la mesure du possible le raccordement au réseau équipotentiel se fera à une intersection afin de diviser les courants HF par quatre sans rallonger la connexion. La section des liaisons équipotentielles n'est pas importante bien qu'une section plate soit préférable : il est bon que la liaison soit aussi courte que possible.



## 3 Mise en œuvre

### Conducteur de Terre Parallèle (PEC)

Le but d'un conducteur de terre parallèle est de réduire le courant de mode commun parcourant les liaisons qui véhiculent aussi le signal de mode différentiel (impédance commune et surface de boucle sont réduites).

Le dimensionnement du conducteur de terre parallèle est fonction du niveau maximal de courant qu'il est censé véhiculer en cas de protection, en particulier s'il est utilisé comme conducteur de protection en cas de coup de foudre ou de défaut d'isolement de forte intensité (schéma TN). Lorsqu'un écran de câble est utilisé comme un conducteur de terre parallèle, il n'est pas conçu pour admettre ces forts courants; la première approche est de router le câble le long d'éléments métalliques de construction, ou de conduits, qui alors se comportent comme d'autres conducteurs de terre parallèles pour la totalité du câble. Une autre possibilité est de router le câble blindé contre un conducteur de terre parallèle de forte section, le câble blindé et le conducteur de terre parallèle étant connectés aux deux extrémités à la terre locale de l'équipement ou de l'appareil.

En cas de très grandes distances, il est recommandé de prévoir pour le conducteur de terre parallèle des connexions supplémentaires au réseau de terre, à des intervalles irréguliers entre les appareils. Ces connexions supplémentaires forment un chemin de retour plus court pour les courants perturbateurs qui traversent le conducteur de terre parallèle. Pour les conduits en forme de U, blindages et tubes, il convient que les connexions additionnelles de terre soient réalisées à l'extérieur, afin de maintenir la séparation avec l'intérieur (effet « d'écran »).

### Conducteurs de mise au même potentiel

Pour réaliser les conducteurs de mise au même potentiel, les conducteurs appropriés peuvent être des bandes métalliques, des tresses plates ou des câbles ronds. Pour les systèmes à hautes fréquences, les bandes métalliques ou les tresses plates sont préférables (à cause de l'effet de peau). Pour les hautes fréquences, un conducteur rond possède une impédance supérieure à celle d'un conducteur plat de même section transversale. Dans la mesure du possible, on conservera un rapport longueur / largeur  $\leq 5$ .

### 3.3 Ségrégation des câblages

La séparation physique des câblages courants forts et courants faibles est très importante d'un point de vue CEM surtout si les câbles bas niveaux sont non blindés ou avec blindages non reliés à la masse. La sensibilité d'un équipement électronique est en grande partie liée à son câblage associé.

Si aucune ségrégation n'est pratiquée (câbles de nature différentes dans des chemins câbles distincts, distance entre les câbles courant fort / courant faible, nature des chemins de câbles, etc) le couplage électromagnétique est maximum. Dans ces conditions les équipements électroniques sont sensibles aux perturbations CEM véhiculées par les câbles pollués.

L'utilisation de canalisations préfabriquées du type Canalis ou gaines à barres pour les plus fortes puissances est fortement conseillée. Le niveau de champ magnétique rayonné par ce type de canalisation est 10 à 20 fois inférieur à celui d'un câble ou de conducteurs électriques classiques.

Les recommandations des paragraphes « Cheminements des câbles » et « Recommandations de câblage » sont à prendre en considération.

R9

### 3.4 Planchers surélevés

Le maillage des planchers participe à l'équipotentialité de la zone et par conséquent à la répartition et dilution des courants perturbateurs BF.

L'effet de blindage d'un plancher surélevé est directement lié à son équipotentialité. Si le contact entre les dalles n'est pas assuré (dalles avec joints en caoutchouc antistatique) ou si le contact entre les cornières de supports n'est pas garanti (pollution, corrosion, moisissure, etc., ou pas de cornière du tout), il est nécessaire d'ajouter une grille d'équipotentialité. Dans ce cas, il suffit d'assurer de bonnes connexions électriques entre les chandelles métalliques. Des petites agrafes à ressort sont disponibles sur le marché et peuvent être utilisées pour raccorder les chandelles à la grille d'équipotentialité. La solution idéale est de raccorder chaque chandelle, mais il est souvent suffisant de ne raccorder qu'une chandelle sur deux dans chaque direction. Une grille de largeur de maille de 1,5 à 2 m convient dans la majorité des cas. La section de cuivre recommandée est de 10 mm<sup>2</sup> ou plus. En général, de la tresse plate est utilisée. Afin de minimiser les effets de la corrosion, il est recommandé d'utiliser du cuivre étamé (cf. Fig. R8).

Les dalles perforées se comportent comme les dalles pleines lorsqu'elles sont réalisées en acier alvéolé.

Une maintenance préventive des dalles est nécessaire environ tous les 5 ans (dépend du type de dalle et de l'environnement climatique, humidité, poussières, corrosion). Les joints antistatiques en caoutchouc ou polymères sont à entretenir ainsi que les surfaces de portée des dalles (nettoyage avec un produit adapté).

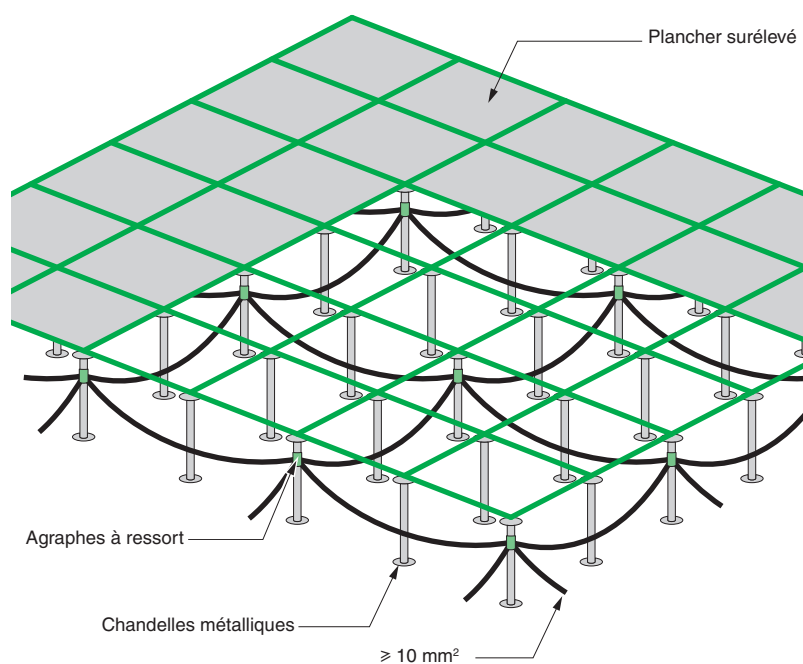


Fig. R8 : Mise en œuvre d'un faux plancher

## 3 Mise en œuvre

Les conduits métalliques sont recommandés dans la plupart des situations. La forme du conduit et la position du faisceau de câbles dans le conduit ont une influence sur sa qualité d'un point de vue CEM.

### 3.5 Cheminements des câbles

Le choix du matériau et la forme dépendent des considérations suivantes :

- la sévérité de l'environnement EM le long du chemin (proximité de sources de perturbations électromagnétiques conduites et rayonnées),
- le niveau autorisé des émissions conduites et rayonnées,
- le type de câblage (Est-il blindé, torsadé, par fibre optique ?),
- la robustesse aux IEM (Interférence ElectroMagnétique) du matériel connecté au système de câblage,
- les autres contraintes d'environnement (chimiques, mécaniques, climatiques, le feu, etc.),
- l'extension future du système de câblage.

#### Type de conduits adaptés

Les conduits métalliques sont recommandés dans la plupart des situations.

Les conduits non métalliques sont adaptés :

- quand les conduits métalliques sont à éviter (par ex environnement chimique),
- dans les cas suivants :
  - faible environnement électromagnétique permanent,
  - faible niveau d'émission du système de câblage,
  - câblage par fibres optiques.

#### Performance CEM des différents conduits

Pour les conduits métalliques, la forme (plane, U, tube, etc.), plutôt que la section transversale va déterminer l'impédance caractéristique du conduit. Les formes enveloppantes donnent les meilleurs effets réducteurs (en réduisant le couplage de Mode Commun). Les conduits ont souvent des fentes pour une fixation facilitée des câbles. D'un point de vue CEM, les moins préjudiciables sont les petits trous. Des fentes parallèles au conduit, constituent une position moins pénalisante. Des fentes perpendiculaires à l'axe du conduit ne sont pas recommandées (cf. Fig. R9).

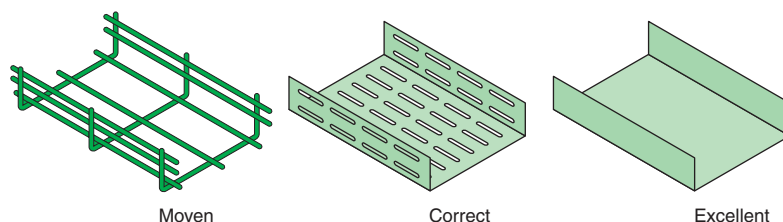


Fig. R9 : Performances CEM pour différents exemples de conduits métalliques

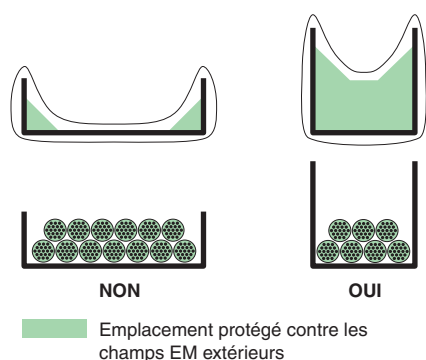


Fig. R10 : Installation d'un groupe de câbles dans 2 chemins de câbles en U

Dans certains cas, un mauvais conduit vis à vis des IEM (Interférence ElectroMagnétique) peut convenir parce que l'environnement électromagnétique est faible, des câbles blindés ou des fibres optiques sont utilisés, des chemins de câbles séparés sont employés pour les différents types de câblage (puissance, traitement de l'information, etc.).

Il est bon qu'un espace utilisable situé à l'intérieur du chemin de câbles permette d'installer une quantité convenue de câbles supplémentaires. La hauteur du faisceau dans le chemin de câbles doit être plus basse que les côtés comme montré ci-dessous. L'utilisation de couvercles avec recouvrement améliore les performances CEM du chemin de câbles.

Pour une forme en U, le champ magnétique décroît près des deux coins. Pour cette raison, les conduits profonds ont la préférence (cf. Fig. R10).

R11

Il est recommandé que des câbles de catégories différentes (par ex alimentation secteur et liaison bas niveau) ne soient pas dans le même faisceau ou le même conduit. Les chemins de câbles doivent être remplis au maximum à la moitié de leur capacité.

### Cheminement des câbles de différentes catégories

Il convient de séparer d'un point de vue électromagnétique les faisceaux les uns des autres, soit avec des blindages soit en plaçant les câbles dans des conduits différents. La qualité du blindage détermine la distance à conserver entre faisceaux. Sans aucun blindage, conserver une distance suffisante entre faisceaux (cf. Fig. R11) est une solution satisfaisante.

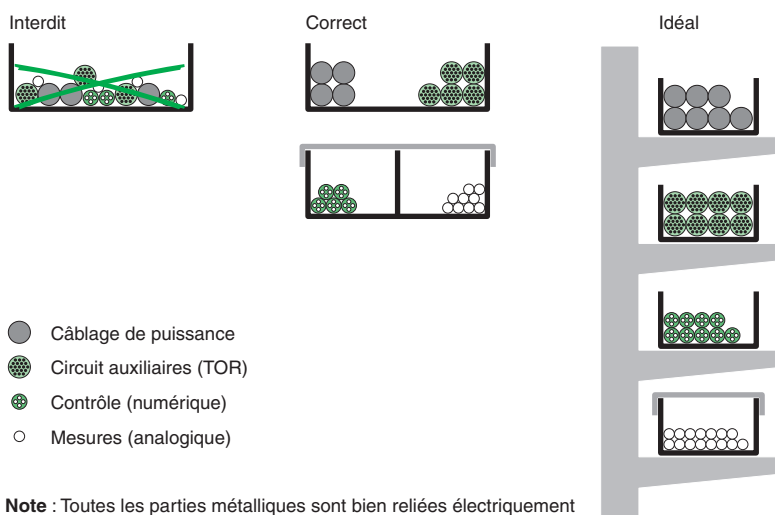


Fig. R11 : Recommandation pour l'installation de groupes de câbles dans des chemins de câbles métalliques

Des éléments métalliques de construction de bâtiment peuvent très bien servir des objectifs de CEM. Des poutrelles en acier en L, H, U, T forment souvent une structure continue mise à la terre, qui offre de grandes sections transversales et de grandes surfaces comportant beaucoup de liaisons intermédiaires à la terre. Les câbles sont de préférence tirés contre de telles poutrelles. Les coins internes sont préférés aux surfaces extérieures (cf. Fig. R12).

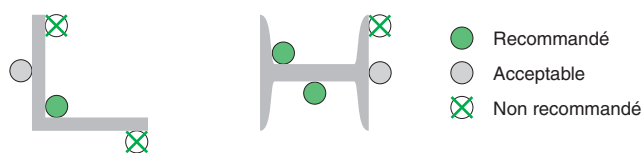


Fig. R12 : Recommandation pour l'installation de câbles sur poutrelles métalliques

Il est recommandé :

- de toujours connecter les conduits métalliques à la terre locale aux deux extrémités,
- que toutes les connexions de mise à la terre soient courtes,
- de préférer des conduits métalliques car ils offrent une résistance améliorée à la CEM.

R12

### Précautions de mise en œuvre

Il convient de toujours connecter les conduits métalliques à la terre locale aux deux extrémités. Pour de grandes longueurs, des liaisons additionnelles au système de terre sont recommandées à intervalles entre appareils. Il est bon que ces intervalles soient irréguliers (dans le cas de câblages symétriques) pour éviter la résonance à une même fréquence. Il est recommandé que toutes les connexions de mise à la terre soient courtes.

Les canalisations sont disponibles sous formes métalliques ou non. Il convient de préférer les matériaux métalliques car ils offrent une résistance améliorée à la CEM. Un conduit (chemin de câbles, canalisation, corbeau, etc.) doit fournir une structure métallique continue et bonne conductrice sur toute sa longueur.

Un conduit en aluminium a une résistance en continu plus faible qu'un conduit en acier de même taille, mais l'impédance de transfert (Zt) de l'acier diminue déjà à une fréquence plus basse surtout quand l'acier a une perméabilité relative  $\mu_r$  élevée. Il convient de faire attention quand différents métaux sont utilisés, car la connexion électrique directe n'est pas autorisée dans certains cas, pour éviter la corrosion. Pour la CEM cela pourrait être un désavantage.

### 3 Mise en œuvre

#### Utilisation d'un câble d'accompagnement de masse (PEC)

Dans les cas où les appareils connectés au système de câblage par des câbles non-blindés ne sont pas affectés par des perturbations à basse fréquence, afin d'améliorer les performances CEM des conduits non métalliques, il convient d'ajouter un simple câble, dit câble d'accompagnement de masse (PEC), à l'intérieur du conduit et connecté au système de terre local aux deux extrémités. Il est bon de réaliser les connexions sur une partie métallique de faible impédance (par ex une grande paroi métallique de l'armoire de l'appareil).

Il est recommandé de concevoir le PEC de manière à ce qu'il supporte des courants de mode commun et de défauts importants.

#### Assemblage de conduits métalliques

Quand un conduit métallique est bâti à partir de plusieurs éléments plus courts, il est recommandé de faire attention afin d'assurer la continuité par une mise au même potentiel correcte entre parties différentes. De préférence, les parties sont soudées sur toute leur périphérie. Des joints rivetés, boulonnés ou vissés sont autorisés, à condition que les surfaces en contact soient bien conductrices (pas de peinture ou de revêtement isolant), et soient protégées contre la corrosion. Le couple de serrage doit être respecté pour assurer une bonne pression au niveau du contact électrique entre les deux parties. Quand une certaine forme de conduit est choisie, il convient de la maintenir sur toute sa longueur. Toutes les interconnexions doivent avoir une basse impédance. Une seule connexion filaire courte entre deux parties du conduit va résulter en une haute impédance localisée et par conséquent, annuler ses performances CEM.

A partir de quelques MHz, une liaison de 10 cm entre les deux parties du conduit va dégrader l'effet réducteur d'un facteur supérieur à 10 (cf. Fig. R13).

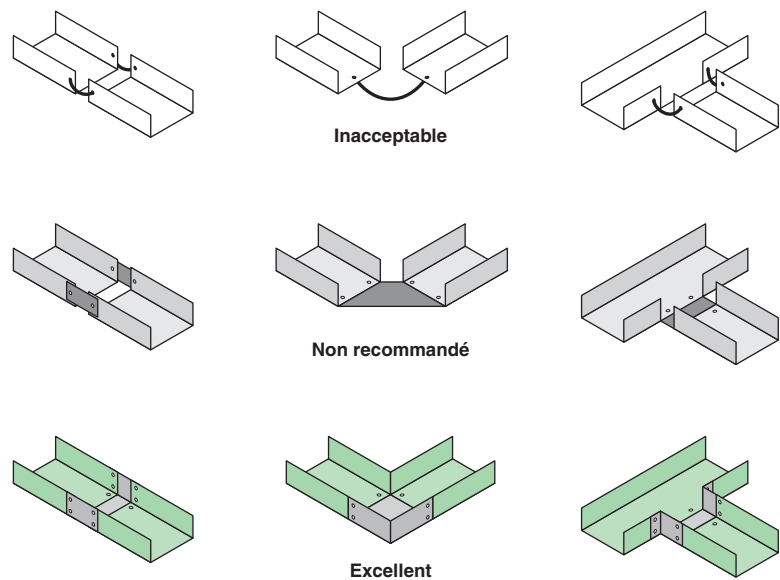


Fig. R13 : Assemblage de conduits métalliques

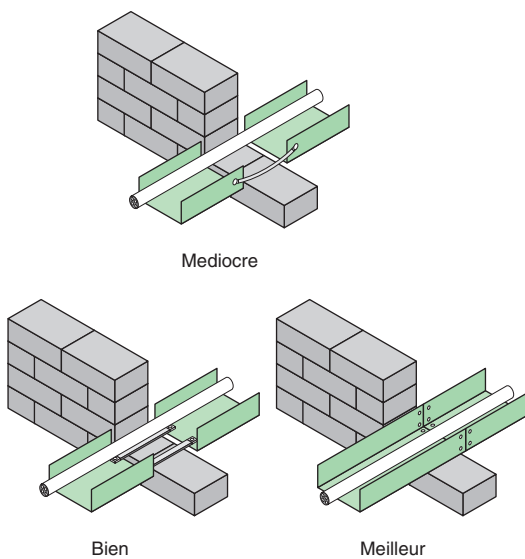


Fig. R14 : Recommandations pour une traversée de mur par un conduit métallique

Chaque fois que des ajustements ou des extensions sont effectués, il est vital qu'une supervision fine soit entreprise afin de s'assurer qu'ils sont exécutés selon les règles CEM (par ex ne pas remplacer un conduit métallique par un autre en plastique!).

Les capots des chemins de câbles métalliques répondent aux mêmes exigences que celles qui sont propres aux chemins de câbles. Un capot comportant beaucoup de contacts sur toute la longueur est préféré. Si ce n'est pas possible, il convient que les capots soient connectés au chemin de câbles au moins aux deux extrémités par des connexions courtes (par ex des liaisons tressées ou maillées).

Quand des canalisations doivent être interrompues pour traverser un mur (par ex des barrières anti feu), les deux canalisations doivent être en liaison avec des connexions à basse impédance comme le montrent les dessins (cf. Fig. R14).

R13

© Schneider Electric - tous droits réservés

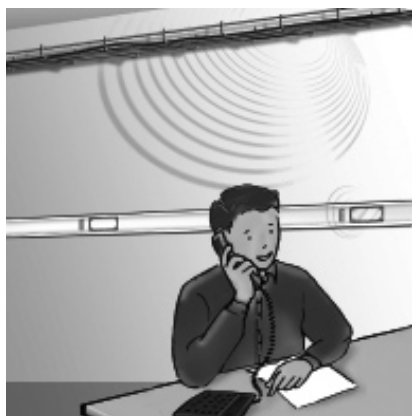


Fig. R14a : Exposition aux champs électromagnétiques

### 3.6 Canalisations préfabriquées

#### Les canalisations préfabriquées réduisent les risques d'exposition aux champs électromagnétiques.

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), l'exposition aux champs électromagnétiques peut être un danger pour la santé à partir de niveaux aussi faibles que 0,2 micro-teslas et pourrait représenter un risque de cancer à long terme. Certains pays ont établi des normes qui prévoient des limites (par exemple 0,2  $\mu\text{T}$  à 1 mètre en Suède).

Tous les conducteurs électriques génèrent des champs magnétiques proportionnels à la distance qui les sépare. La conception des canalisations préfabriquées avec des conducteurs peu espacés dans un boîtier métallique permet de réduire considérablement le rayonnement de ces champs électromagnétiques.

Les caractéristiques du champ électromagnétique des canalisations préfabriquées sont bien déterminées et les mesures montrent qu'il est bien en deçà des niveaux potentiellement dangereux (cf. Fig. R14b).

Dans des cas spécifiques où des valeurs particulièrement faibles sont nécessaires (salles informatiques, hôpitaux et certains locaux), il est important de garder à l'esprit les points suivants concernant l'induction générée autour des trois conducteurs de phase d'une distribution électrique :

- elle est proportionnelle au courant parcourant les conducteurs et à la distance qui les sépare ;
- elle est inversement proportionnelle au carré de la distance des canalisations préfabriquées ;
- elle est réduite -atténuée- par l'effet de blindage de l'enveloppe métallique entourant les jeux de barres de ces canalisations.

Cette induction est inférieure à celle générée par une liaison par câbles équivalente à une canalisation préfabriquée dans un boîtier métallique en acier, boîtier en acier qui atténue plus l'induction qu'un boîtier en aluminium de même épaisseur.

A noter que cette induction est particulièrement faible autour des canalisations préfabriquées réalisées avec des barres placées en sandwich, donc faiblement espacées, dans un boîtier en acier.

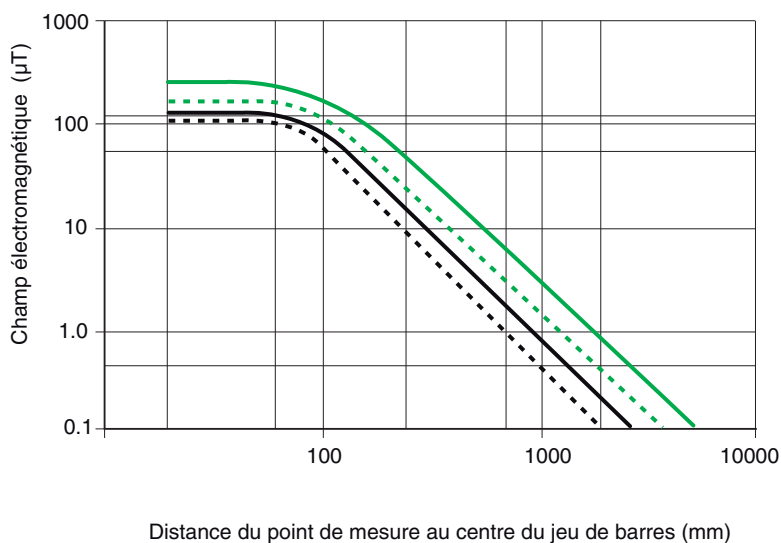


Fig. R14b : Valeurs du champ électromagnétique autour des canalisations préfabriquées Canalis

R14

## 3 Mise en œuvre

Toutes les reprises de masse doivent être faites sur une tôle protégée contre la corrosion mais épargnée ni peinte ni protégée par un revêtement isolant.

### 3.7 Mise en œuvre des câbles blindés

Lorsque l'on choisit d'utiliser un câble blindé, il faut aussi s'interroger sur la manière dont on réalisera les reprises du blindage, sous peine de dégrader considérablement son efficacité (type de reprises, de connecteur, de traversée de cloison...). Pour que la reprise de blindage soit efficace, elle doit se faire sur 360 degrés. Les dessins ci-dessous illustrent les différentes mises en œuvre. A noter que toutes les reprises de masse doivent se faire sur une tôle épargnée.

Pour les matériels informatiques et les liaisons numériques, il est recommandé de connecter l'écran des câbles blindés aux 2 extrémités (cf. Fig. R15).

Le raccordement des écrans des câbles blindés est primordial d'un point de vue CEM. Il faut garder à l'esprit les points suivants.

- Si le câble blindé relie des équipements qui sont situés dans une même zone équipotentielle, le blindage doit être mis à la masse aux 2 extrémités.
  - Si le câble blindé relie des équipements qui ne sont pas situés dans une même zone équipotentielle, plusieurs cas de figures peuvent se présenter :
    - Connecter le blindage à la masse qu'à une extrémité est dangereux. En cas de défaut d'isolement, le blindage est porté à un potentiel qui peut être mortel pour un opérateur (voire pour le matériel). De plus, l'efficacité du blindage est mauvaise en haute fréquence.
    - Connecter le blindage à la masse aux 2 extrémités peut être dangereux en cas de défaut d'isolement. Un courant important circulera dans le blindage et risquerait d'endommager ce dernier. Pour limiter ce problème, il faut tirer en parallèle avec le câble blindé, un câble d'accompagnement de masse (PEC) de section suffisante (dépend du courant de court-circuit de cette partie de l'installation).
- Il est donc évident dans ce dernier cas, que si l'installation a un réseau de terre bien maillée, ce problème ne se pose pas.

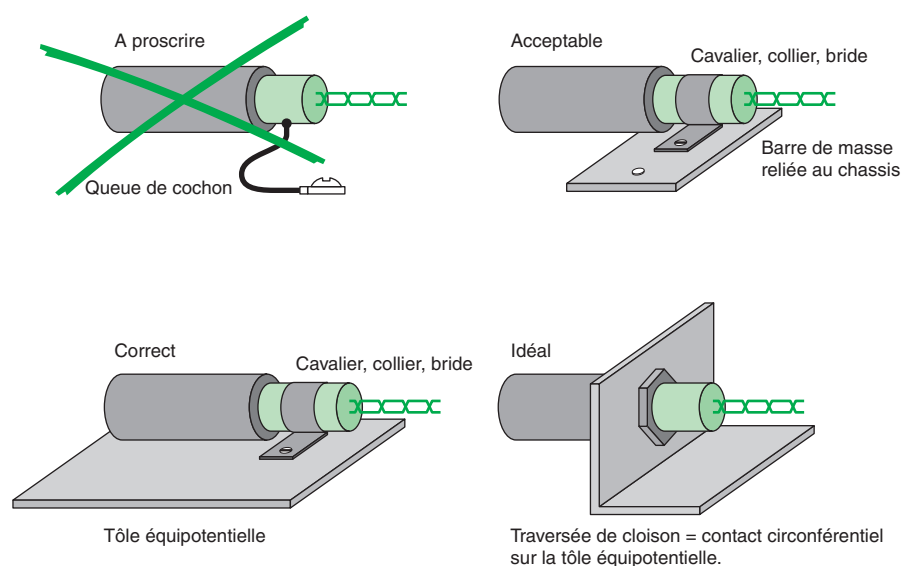


Fig. R15 : Mise en œuvre de câbles blindés

### 3.8 Réseaux de communication

Les réseaux de communication sont très étendus. Ils relient des équipements qui sont implantés dans des salles qui peuvent avoir des distributions électriques comportant des schémas de liaisons à la terre différents. De plus si ces différents locaux ne sont pas équipotentiels, de forts courants transitoires et de grandes différences de potentiels peuvent apparaître entre les différents équipements reliés par ces réseaux. Comme nous l'avons vu précédemment, cela peut être le cas lors de défauts d'isolement ou de coup de foudre. La tenue des cartes de communication installées dans les micro ordinateurs ou les automates n'ont pas des tenues diélectriques (entre fils actifs et masse mécanique) importantes. En règle générale le niveau de tenue est de l'ordre de 500 V. Les plus robustes tiennent 1,5 kV. Dans le cadre d'installations maillées et en régime TN-S, avec des réseaux peu étendus, ce niveau de tenue est acceptable. Dans tous les cas, des protections contre la foudre (en mode commun et mode différentiel) sont recommandées.

R15

© Schneider Electric - tous droits réservés



Le type de câble de communication utilisé est un paramètre important. Il faut que le câble soit adapté au type de transmission. Les paramètres du câble sont autant de points qui permettent d'assurer une liaison de communication fiable et robuste, soit :

- son impédance caractéristique,
- par paires torsadées (ou non),
- sa capacité et résistance linéique,
- son affaiblissement linéique,
- la nature de son ou de ses écrans de blindage.

D'autre part, il est important de choisir des liaisons de transmission symétriques (différentielles). Ce type de liaison est plus robuste en CEM.

Par contre dans des environnements électromagnétiques sévères ou dans le cas de réseaux de communication étendus avec des installations peu ou pas équipotentielles, avec des schémas IT, TT ou TN-C, il est très fortement recommandé d'utiliser des liaisons par fibre optique.

Pour des raisons de sécurité des personnes, la fibre ne doit pas comporter de partie métallique (risque de chocs électriques si cette fibre relie 2 zones avec des terres différentes).

### 3.9 Mise en œuvre des parafoudres

#### Raccordement

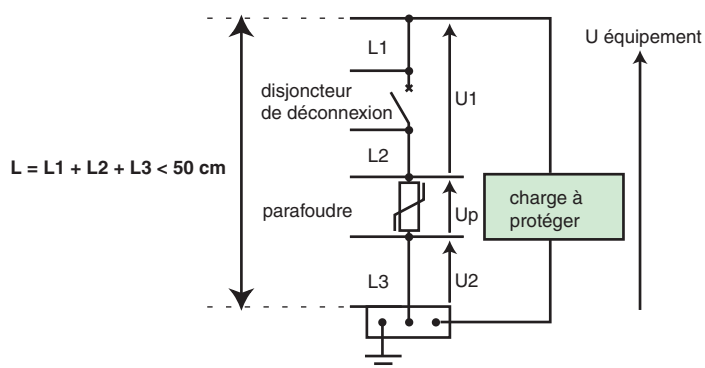
Les connexions d'un parafoudre doivent être les plus courtes possibles.

Une des caractéristiques essentielles pour la protection d'un équipement est le niveau maximal de tension que l'équipement peut supporter à ses bornes. De ce fait, un parafoudre doit être choisi avec un niveau de protection adaptée à la protection de l'équipement (cf. **Fig. R16**). La longueur totale des connexions est  $L = L1 + L2 + L3$ . Pour les courants à haute fréquence, l'impédance linéique de cette connexion est de l'ordre de  $1 \mu\text{H/m}$ .

D'où, en appliquant la loi de Lenz à cette connexion :  $\Delta U = L \frac{di}{dt}$

L'onde courant normalisé  $8/20 \mu\text{s}$ , avec une amplitude de courant de  $8 \text{ k}\text{A}$ , crée de ce fait une élévation de tension par mètre de câble de  $1000 \text{ V}$ .

$$\Delta U = 1.10^{-6} \times \frac{8.10^3}{8.10^{-6}} = 1000 \text{ V}$$



**Fig. R16** : Connexions d'un parafoudre  $L < 50 \text{ cm}$

Par suite la tension aux bornes de l'équipement est :  $U = U_p + U_1 + U_2$ .

Si  $L1 + L2 + L3 = 50 \text{ cm}$ , l'onde  $8/20 \mu\text{s}$  avec une amplitude de  $8 \text{ k}\text{A}$ , la tension aux bornes de l'équipement est de  $U_p + 500 \text{ V}$ .

R16

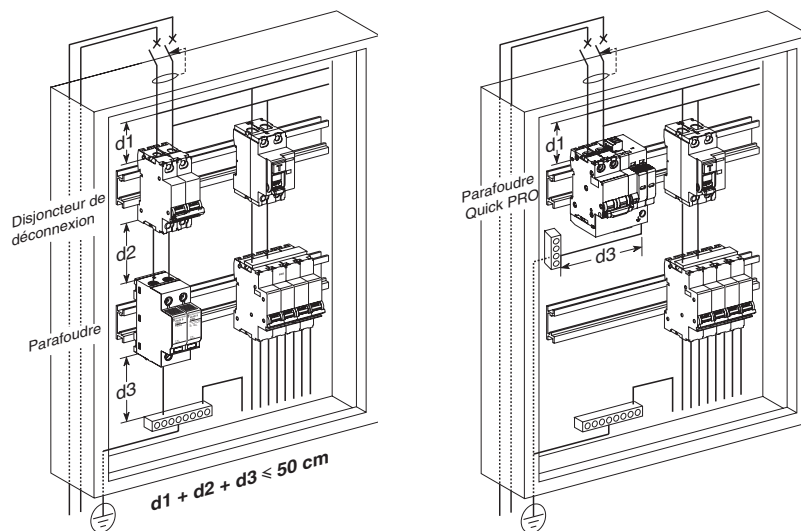


## Règles de câblages

### ■ Règle 1

La première règle à respecter est que la longueur des connexions du parafoudre au réseau (au travers du dispositif de déconnexion associé) et au bornier de terre ne dépasse pas 50 cm.

La **Figure R17** montre 2 possibilités de raccordement d'un parafoudre.

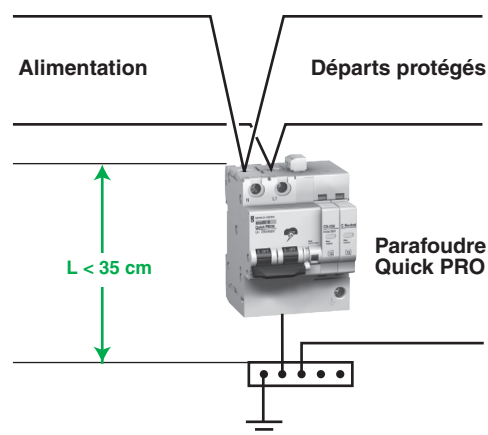


**Fig. R17** : Parafoudre avec dispositif de déconnexion séparé ou intégré

### ■ Règle 2

Les conducteurs des départs protégés :

- doivent être connectés aux bornes mêmes du disjoncteur de déconnexion ou du parafoudre,
- doivent être séparés physiquement des conducteurs d'arrivée pollués. Ils sont placés à la droite des bornes du parafoudre et du dispositif de déconnexion (cf. **Fig. R18**).

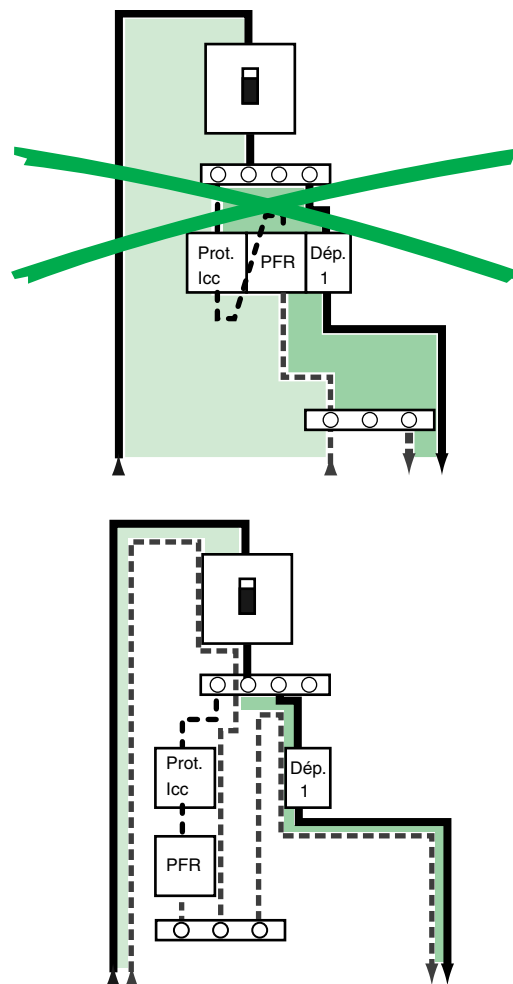


**Fig. R18** : Les connexions des départs protégés sont à droite des bornes du parafoudre

R17

■ Règle 3

Les conducteurs de phase, de neutre et de protection (PE) de l'arrivée doivent cheminer les uns contre les autres afin de réduire la surface de la boucle (cf. Fig. R19).



PFR : Parafoudre  
 Prot. lcc : Protection contre le risque de court-circuit du parafoudre (disjoncteur de déconnexion)

Surfaces des boucles amont  et aval  à réduire  
 - - - Liaisons d'impédance commune (conseillée  $\Sigma L \leq 50 \text{ cm}$ ).  
 - - - - Liaisons d'interconnexion des masses au plus près des appareils, si possible derrière.

Fig. R19 : Exemple d'amélioration de la CEM par réduction des surfaces de boucle et de l'impédance commune au sein d'un coffret électrique

R18

■ Règle 4

Les conducteurs d'arrivée du parafoudre doivent être éloignés des conducteurs de sortie protégés afin d'éviter de les polluer par couplage.

■ Règle 5

Les câbles doivent être plaqués contre les parties métalliques de l'armoire afin de minimiser la surface de la boucle de masse et donc de bénéficier d'un effet d'écran vis-à-vis des perturbations EM. Si l'armoire est en plastique et les récepteurs particulièrement sensibles, elle doit être remplacée par une armoire métallique. Dans tous les cas, il faut vérifier que les masses des armoires ou des coffrets sont mises à la terre par des connexions très courtes. Enfin, si des câbles blindés sont utilisés, les grandes longueurs (« queues de cochon ») doivent être proscrites car elles réduisent l'efficacité du blindage (cf. Fig. R15).

## 3 Mise en œuvre

Pour assurer une parfaite interconnexion des masses métalliques, il est important de retirer la peinture ou l'isolant sous toutes les parties en contact.

### 3.10 Câblage des armoires (Fig. R20)

Chaque armoire ou coffret doit être équipé avec une barre de terre et une tôle de référence de masse (plan d'équipotentialité).

Tous les câbles blindés entrant ou sortant de l'armoire sont à relier à ce référentiel en veillant à la qualité de tous les contacts électriques. Les protections et filtrages sont eux aussi raccordés à ce référentiel.

Les armoires ou coffrets en matière plastique ne sont pas recommandés. Dans cette configuration, le rail DIN peut être utilisé comme référentiel de terre et masse.

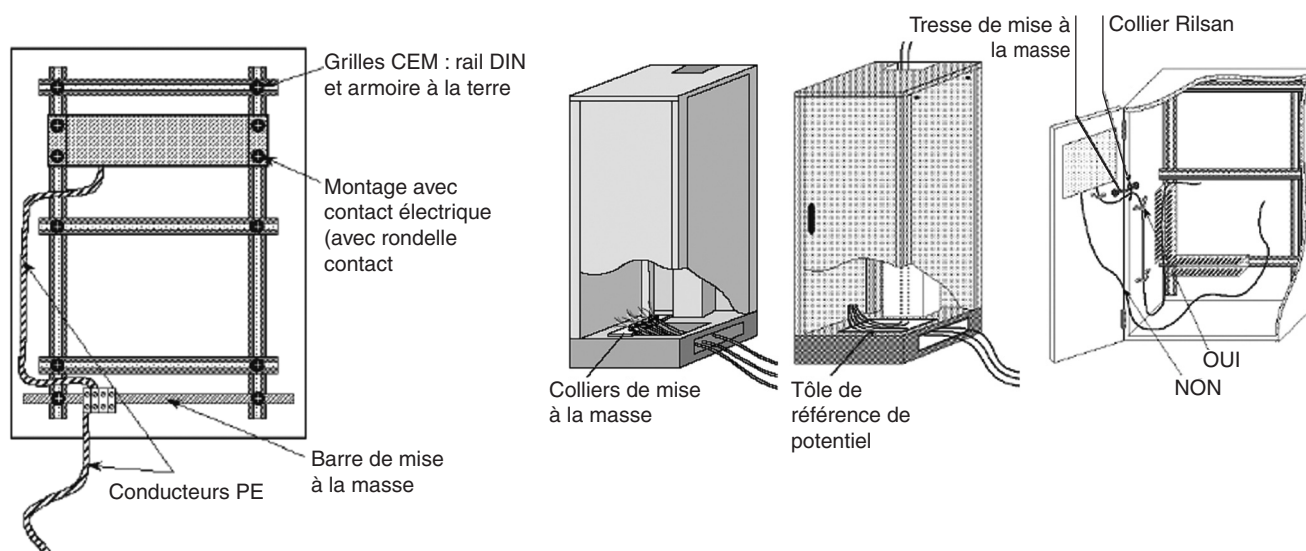


Fig. R20 : Les appareils à protéger doivent être raccordés aux bornes du parafoudre

### 3.11 Références normatives

Il est primordial de faire apparaître dans les spécifications les normes ou documents de recommandations à prendre en compte lors de la réalisation des installations.

A titre indicatif, les documents suivants peuvent être utilisés:

- CEI 61000-5-2 Compatibilité électromagnétique (CEM) –  
Partie 5 : Guides d'installation et d'atténuation – Section 2 : Mise à la terre et câblage
- CEI 60364-4-44 Installations électriques des bâtiments –  
Partie 4-44 : Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques
- NF C 15-100 : Règles d'installations électriques BT - dernière version en vigueur.
- NF C 13-200 : Règles d'installations électriques à haute tension.
- NF C 17-100 : Règles d'installation de paratonnerres.
- EN 50174-1 : Technologies de l'information - Installation de câblage.  
Partie 1 : Planification de l'assurance de la qualité.
- EN 50174-2 : Technologies de l'information - Installation de câblage -  
Partie 2 : Planification et pratiques d'installation à l'intérieur des bâtiments.
- EN 50310 : Application de liaison équipotentielle et de la mise à la terre dans les locaux avec équipements de Technologie de l'Information
- Guide UTE C 15-443 : Protection des installations électriques BT contre les surtensions d'origine atmosphérique.
- Guide UTE C 15-900 : Mise en œuvre dans des bâtiments des réseaux de puissance et des réseaux de communication
- Guide UTE C 90-480-2 : Mise en œuvre d'installation et méthodes pratiques à l'intérieur du bâtiment.

R19

## 4 Mécanismes de couplage et mesures correctives

### 4.1 Généralités

Un phénomène d'interférence électromagnétique peut se résumer au synoptique de la **Figure R21**.

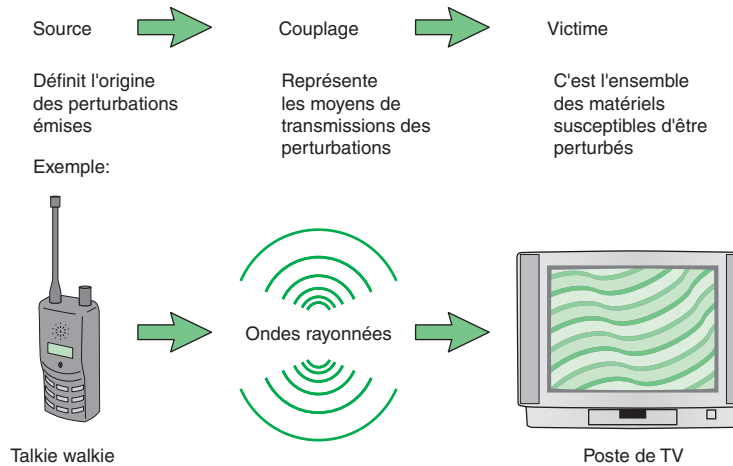


Fig. R21 : Phénomènes d'interférences EM

Les différentes sources de perturbations sont :

- les émissions radio électriques :
  - les systèmes de transmissions hertziens (radio, TV, CB, radio téléphones, télécommandes),
  - les radars ;
- les équipements :
  - les appareils industriels de puissance (fours à induction, soudeuses à arc, commande de stators),
  - les équipements de bureaux (ordinateurs et circuits numériques, copieurs, visu grand écran),
  - les tubes à décharge (néon, fluo, lampes à éclat, flash),
  - les composants électromécaniques (relais, contacteurs, solénoïdes, organes de coupure) ;
- les réseaux de puissance :
  - transport et distribution d'énergie,
  - traction électrique ;
- la foudre,
- la décharge électrostatique (DES),
- l'impulsion électromagnétique d'origine nucléaire (IEMN).

Les victimes potentielles sont :

- les récepteurs radio, TV, radar, les communications hertziennes,
- les systèmes analogiques (capteurs, acquisition de mesures, amplificateurs, écrans),
- les systèmes numériques (ordinateurs, bus et liaisons informatiques, périphériques).

Les différents couplages sont :

- le couplage par impédance commune (couplage galvanique),
- le couplage capacitif,
- le couplage inductif,
- le couplage par rayonnement (champ à câble, champ à boucle, antenne à antenne).

R20

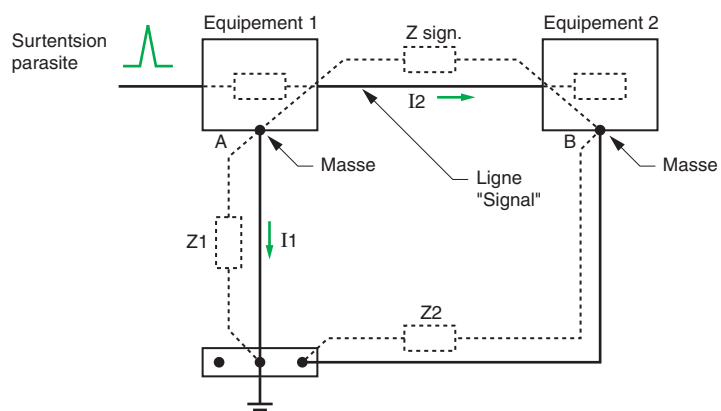
# 4 Mécanismes de couplage et mesures correctives

## 4.2 Couplage par impédance commune

### Définition

Deux ou plusieurs équipements sont interconnectés par leur réseau d'alimentation et les câbles de communication (cf. **Fig. R22**). Lorsque des courants d'origines externes (foudre, courants de défaut, courants perturbateurs) circulent à travers ces impédances communes, une tension indésirable est développée entre les points A et B, **censés être équipotentiels**. Cette tension parasite peut être gênante pour des circuits électroniques bas niveaux ou rapides.

L'ensemble des câbles, y compris les conducteurs de protection, présente une impédance, en particulier aux fréquences élevées.



Les masses des équipements 1 et 2 sont reliées à une terre commune par des connexions d'impédances  $Z_1$  et  $Z_2$ .

La surtension parasite s'écoule vers la terre, à travers  $Z_1$ . Le potentiel de l'équipement 1 est porté à  $Z_1 I_1$ . La différence de potentiel avec l'équipement 2 (initialement au potentiel 0) se traduit par l'apparition du courant  $I_2$ .

$$Z_1 I_1 = (Z_{\text{sign}} + Z_2) I_2 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{Z_1}{(Z_{\text{sign}} + Z_2)}$$

Présent sur la ligne «signal», le courant  $I_2$  perturbe l'équipement 2.

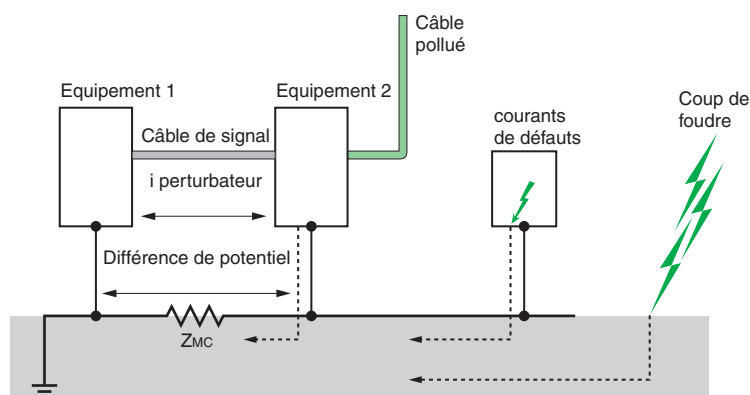
**Fig. R22** : Définition du couplage par impédance commune

### Exemples

Différentes situations peuvent être rencontrées.

- Appareils reliés par un conducteur commun de référence (ex : PEN, PE) parcouru par des variations de courant rapides ou intenses ( $di/dt$ ) (courant de défaut, onde de foudre, court-circuit, variations de charge, hacheurs, courants harmoniques, banc de condensateurs de compensation, etc.).

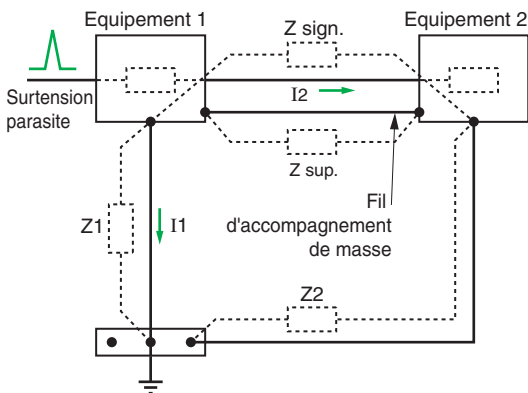
- Retour commun de plusieurs sources électriques (cf. **Fig. R23**).



**Fig. R23** : Exemple de couplage par impédance commune

R21

© Schneider Electric - tous droits réservés



Si l'impédance du fil d'accompagnement de masse ( $Z_{sup.}$ ) est très faible par rapport à l'impédance de  $Z_{sign.}$ , la majeure partie du courant perturbateur s'écoule via la liaison de masse  $Z_{sup.}$  et non plus, comme dans le cas précédent, par la liaison « signal »  $Z_{sign.}$ .

La différence de potentiel entre l'équipement 1 et 2 devient très faible et la perturbation devient acceptable.

Fig. R24 : Mesures correctives du couplage par impédance commune

### Mesures correctives (cf. Fig. R24)

Les impédances communes si elles ne peuvent être éliminées, doivent être les plus faibles possibles. Pour minimiser les effets dus aux impédances communes, différentes mesures correctives peuvent être appliquées :

- réduire les impédances :
- mailler les références communes,
- utiliser des câbles courts ou des tresses plates dont l'impédance est plus faible à section égale que les câbles ronds,
- installer des liaisons équipotentielles fonctionnelles entre les matériels ;
- réduire le niveau des courants perturbateurs par l'adjonction de filtrage de mode commun et de selfs de mode différentiel.

## 4.3 Couplage capacitif

### Définition

Perturbateur et victime sont couplés par les capacités parasites ou reparties. Le niveau de perturbation dépend des variations de tension ( $dv/dt$ ) ainsi que de la valeur de la capacité de couplage.

Le couplage capacitif (cf. Fig. R25) croît avec :

- la fréquence,
- la proximité perturbateur / victime et la longueur de câblage mise en parallèle,
- la hauteur des câbles par rapport à un plan de masse,
- l'impédance d'entrée du circuit victime (les circuits à haute impédance d'entrée sont plus vulnérables),
- l'isolation du câble victime ( $\epsilon_r$  du diélectrique du câble), surtout dans le cas de paires à couplage serré.

La Figure R26 montre le résultat d'un couplage capacitif (diaphonie) entre deux câbles.

### Exemples

Certaines dispositions favorisent ce type de couplage capacitif :

- câbles proches soumis à des variations rapides de tension ( $dv/dt$ ),
- proximité d'un générateur haute tension à découpage (photocopieur,...),
- capacité parasite primaire / secondaire des transformateurs.

De tels couplages sont à l'origine de perturbations telles que :

- diaphonie inter câbles,
- amorçages des lampes fluo.

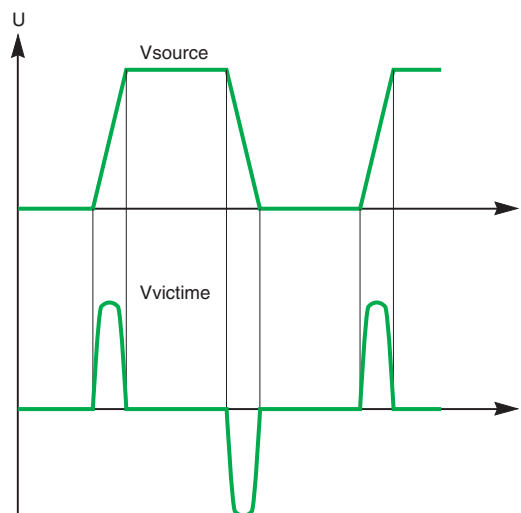
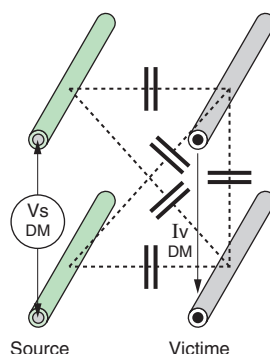


Fig. R26 : Influence typique d'un couplage capacitif (diaphonie capacitive)

### Couplage capacitif de mode différentiel



$V_s DM$  : Source de tension perturbatrice (mode différentiel)  
 $I_v DM$  : Courant perturbateur coté victime (mode différentiel)  
 $V_s CM$  : Source de tension perturbatrice (mode commun)  
 $I_v CM$  : Courant perturbateur coté victime (mode commun)

### Couplage capacitif de mode commun

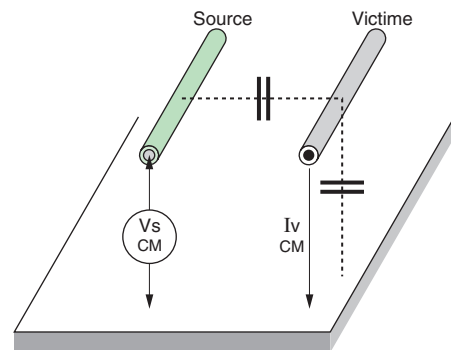


Fig. R25 : Exemple de couplage capacitif

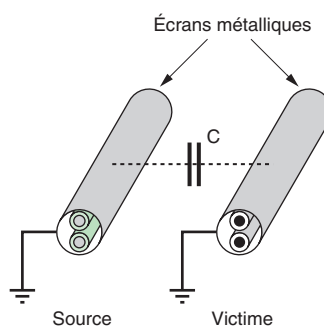
R22

## 4 Mécanismes de couplage et mesures correctives

### Mesures correctives

Pour réduire le couplage capacitif, de nombreuses mesures correctives sont possibles et simultanément applicables :

- limiter les longueurs parallèles perturbateur/victime au strict nécessaire,
- augmenter la séparation entre perturbateur et victime,
- plaquer les câbles contre les structures métalliques mises à la terre,
- dans le cas d'une liaison bifilaire, rapprocher le fil aller du fil retour,
- placer un fil d'accompagnement mis à la masse aux deux extrémités et de proche en proche entre perturbateur et victime,
- utiliser des câbles assemblés en quarts ou en paires plutôt que des conducteurs individuels,
- utiliser des systèmes de transmission symétriques sur un câblage symétrique et correctement adapté,
- blinder les câbles perturbateurs, les câbles victimes ou les deux (le blindage sera mis à la masse) (cf. **Fig. R27**),
- diminuer les  $dv/dt$  du perturbateur en augmentant le temps de montée du signal quand cela est possible.



**Fig. R27** : Les câbles blindés ou avec écran minimisent le couplage capacitif

### 4.4 Couplage inductif

#### Définition

Perturbateur et victime sont couplés par un champ magnétique. Le niveau de perturbation dépend des variations de courant ( $di/dt$ ) ainsi que de la valeur de la mutuelle inductance de couplage.

Le couplage inductif croît avec :

- la fréquence,
- la proximité perturbateur / victime et la longueur de câblage mise en parallèle (cf. **Fig. R28** page suivante),
- la hauteur des câbles par rapport à un plan de masse,
- l'impédance de charge du circuit perturbateur.

#### Exemples

Les couplages inductifs ont différentes origines :

- variations rapides de courant ( $di/dt$ ) dans des câbles proches,
- court circuit,
- courant de défaut,
- onde de foudre,
- commande de stator,
- soudeuse.
- Inducteur.

R23

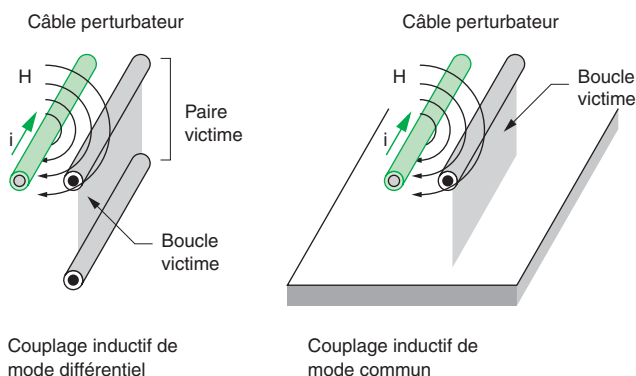


Fig. R28 : Exemple de couplage inductif

### Mesures correctives

Pour le couplage inductif comme pour le couplage capacitif, de nombreuses mesures correctives sont possibles et simultanément applicables :

- limiter les longueurs parallèles perturbateur/victime au strict nécessaire,
- augmenter la séparation entre perturbateur et victime,
- plaquer les câbles contre les structures métalliques mises à la terre,
- utiliser de la paire torsadée,
- rapprocher le fil aller du fil retour dans le cas d'une liaison bifilaire,
- utiliser des câbles multiconducteurs ou mono conducteur jointifs disposés de préférence en trèfle,
- placer un fil d'accompagnement mis à la masse aux deux extrémités et de proche en proche entre perturbateur et victime,
- utiliser des systèmes de transmission symétriques sur un câblage symétrique et correctement adapté,
- blinder les câbles perturbateurs, les câbles victimes ou les deux (le blindage sera mis à la masse),
- diminuer les di/dt du perturbateur en augmentant le temps de montée du signal quand cela est possible (résistances ou CTP en série sur le câble perturbateur, ferrites sur le câble perturbateur et/ou victime).

## 4.5 Couplage par rayonnement

### Définition

Perturbateur et victime sont couplés via un média (exemple l'air). Le niveau de perturbation dépend de la puissance de la source de rayonnement et de l'efficacité de l'antenne d'émission et de réception.

Un champ électromagnétique est composé à la fois d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui sont corrélés (cf. Fig. R29).

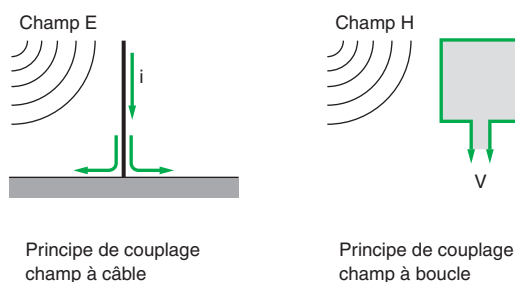


Fig. R29 : Exemple de couplage par rayonnement

R24



## 4 Mécanismes de couplage et mesures correctives

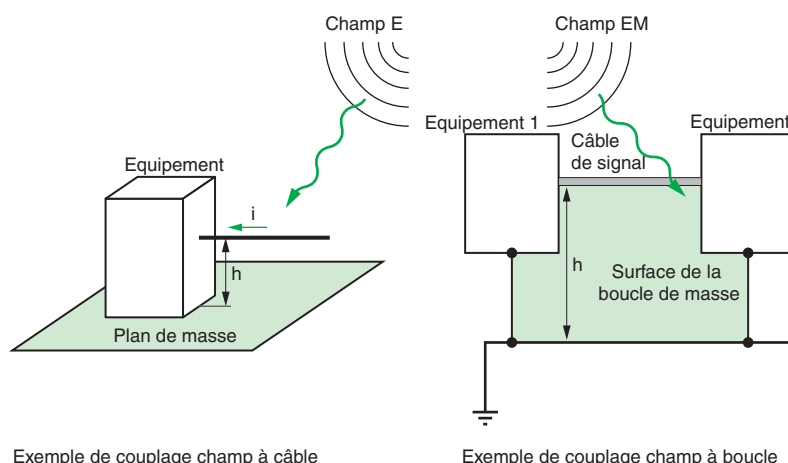
Il est possible de considérer séparément les composantes électriques et magnétiques (cf. **Fig. R30**).

Champ électrique (champ E) et champ magnétique (champ H) sont couplés dans les systèmes de câblage via les fils et les boucles. Lorsqu'un câble est soumis à un champ électrique variable, un courant est généré dans ce câble. Ce phénomène est appelé couplage champ à câble. De la même manière, lorsqu'un champ magnétique variable traverse une boucle, il crée une force contre électromotrice qui développera une tension entre les deux extrémités de la boucle. Ce phénomène est appelé couplage champ à boucle.

### Exemples

Les sources de perturbations par rayonnement peuvent être :

- équipement de radio transmission (talkie-walkie, émetteur radio et TV, services mobiles),
- radar,
- systèmes d'allumage automobile,
- soudeuse à arc,
- four à induction,
- système commutant de puissance,
- décharge électrostatique (DES),
- foudre.



**Fig. R30** : Exemple de couplage par rayonnement

### Mesures correctives

Pour minimiser les effets par couplage rayonné il faut :

- Pour le couplage champ à câble
  - réduire l'effet d'antenne de la victime en diminuant la hauteur (h) du câble par rapport au plan de masse,
  - mettre le câble dans un conduit métallique continu et mis à la masse (tuyau, goulotte, chemin de câble),
  - utiliser des câbles blindés correctement mis en œuvre et mis à la masse,
  - ajouter des câbles d'accompagnement de masse,
  - insérer des filtres ou des ferrites sur le câble victime.
- Pour le couplage champ à boucle
  - réduire la surface de la boucle victime en diminuant la hauteur (h) et la longueur du câble,
  - utiliser les solutions du couplage champ à câble,
  - utiliser le principe de la cage de Faraday.

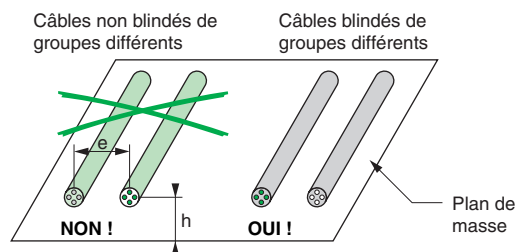
Le couplage rayonné peut être éliminé en utilisant le principe de la cage de Faraday. Par exemple, pour relier deux armoires d'un équipement en utilisant un câble blindé dont le blindage est raccordé à ses 2 extrémités aux enveloppes métalliques ; les enveloppes métalliques devant être mises à la masse pour que l'efficacité soit accrue en haute fréquence.

Le couplage rayonné décroît avec :

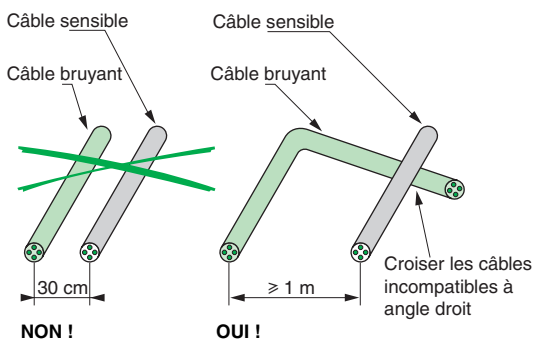
- l'éloignement,
  - l'utilisation de liaisons de transmissions symétriques.
- symétriques.

R25

## 5.1 Classification des signaux (cf. Fig. R31)



Risque de diaphonie en mode commun si  $e < 3h$



Eloigner les câbles incompatibles

Fig. R32 : Recommandations de câblage pour des câbles transportant des signaux de type différent

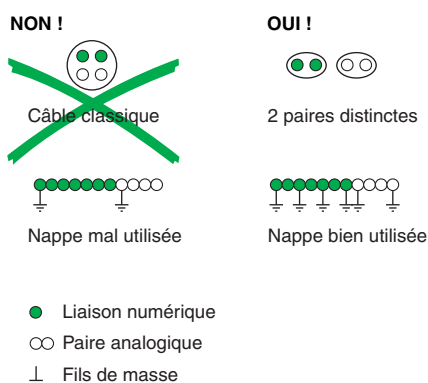


Fig. R33 : Utilisation des câbles et nappes

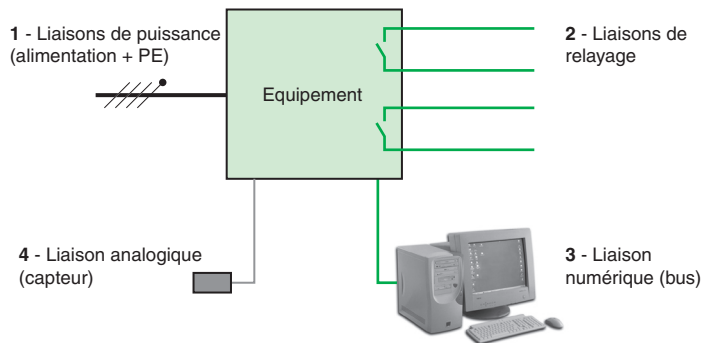


Fig. R31 : Les 4 groupes de signaux internes

Les signaux internes peuvent être classés en 4 groupes :

- **Groupe 1**  
Lignes d'alimentations secteurs, circuits de puissance à fort di/dt, convertisseurs à découpage, commande de régulateurs de puissance.  
Ce groupe est peu sensible mais perturbe les groupes suivants (surtout en MC).
- **Groupe 2**  
Circuits d' E/S tout ou rien (TOR), circuits de relaying, de contrôle commande.  
Ce groupe est peu sensible, mais perturbe les groupes suivants (commutations, formation d'arcs à l'ouverture des contacts).
- **Groupe 3**  
Circuits numériques (commutations H.F.).  
Ce groupe est sensible aux impulsions, mais perturbe le groupe suivant.
- **Groupe 4**  
Circuits d' E/S analogiques (mesures à bas niveaux, lignes d'alimentation des capteurs actifs). Ce groupe est sensible.

Il serait souhaitable que chacun de ces groupes dispose de conducteurs ayant une couleur d'isolant spécifique afin de faciliter leur repérage et d'identifier facilement les différents groupes (cette présentation peut être utile pour l'installation et notamment pour le tirage des fils et câbles dans les goulottes et sur les dalles, et lors des dépannages).

## 5.2 Conseils de câblage

**Il faut absolument séparer de façon physique, et éloigner les câblages comportant des signaux différents** (cf. Fig. R32 au-dessus)

**Les câbles perturbateurs (groupes 1 et 2) sont à éloigner des câbles sensibles (groupes 3 et 4)** (cf. Fig. R32 et Fig. R33)

En règle générale, il suffit d' éloigner des torons de câbles de 10 cm à plat sur une tôle (MC+MD). Si la place le permet, un éloignement de 30 cm est préférable. Croiser deux câbles ou torons à angle droit évite un couplage par diaphonie, même s'ils ont un contact ponctuel.

Il n'y a plus de contrainte d'éloignement lorsqu'une paroi métallique équipotentielle par rapport à la masse, sépare les câbles. Il faut néanmoins que la hauteur de la paroi soit supérieure au diamètre des torons à protéger.

## 5 Recommandations de câblage

**Dans un même toron, il ne doit cohabiter que des signaux d'un même groupe** (cf. Fig. R34)

En cas de nécessité de faire transiter dans le même toron des signaux de groupes différents, des écrans internes sont nécessaires pour limiter la diaphonie (MD). Ces écrans, de préférences en tresse, sont à raccorder à la masse aux deux bouts pour les groupes 1, 2 et 3.

**Il est conseillé de surblinder les câbles bruyants et les câbles sensibles** (cf. Fig. R35)

Un surblindage sert de protection H.F. (MD + MC) s'il est relié à la masse à ses deux extrémités par une reprise de masse circumférentielle, avec un collier de reprise de masse, ou un cavalier en  $\Omega$ , mais surtout pas par une « queue de cochon ».

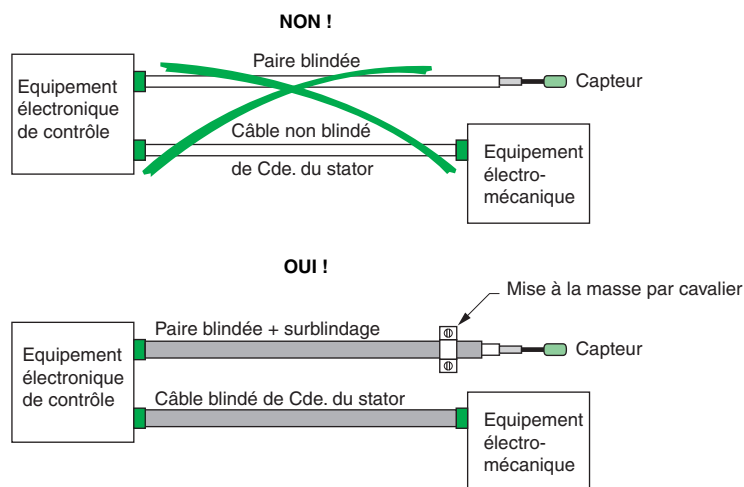


Fig. R35 : Blindage, surblindage des câbles perturbateurs et/ou sensibles

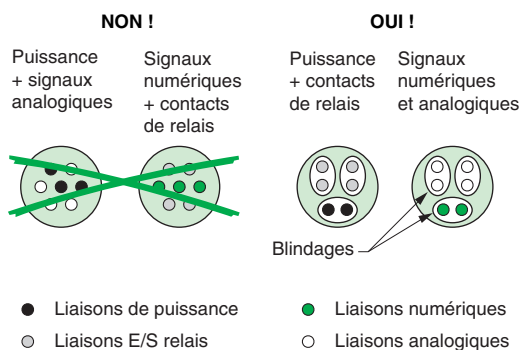


Fig. R34 : Signaux incompatibles = câbles différents

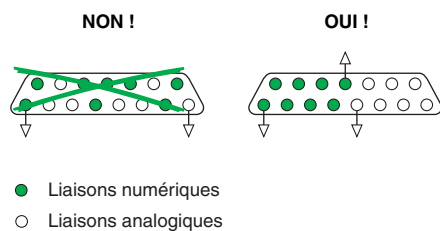


Fig. R36 : La ségrégation s'applique aussi à la connectique !

**Il faut éviter d'utiliser un même connecteur pour des liaisons de groupes différents** (cf. Fig. R36)

Sauf éventuellement pour les groupes 1 et 2 (MD). Si un même connecteur est utilisé pour des signaux analogiques et numériques, il est nécessaire d'isoler les deux groupes par au moins une rangée de contacts raccordés au 0 V qui sert d'écran.

**Tout conducteur libre (réserve de câblage) doit être impérativement raccordé à la masse aux deux extrémités** (cf. Fig. R37)

Pour le groupe 4, ce raccordement est déconseillé pour les lignes à très bas niveau de tension et à basses fréquences (risque de génération de bruit, par induction magnétique, dans la bande des fréquences à transmettre).

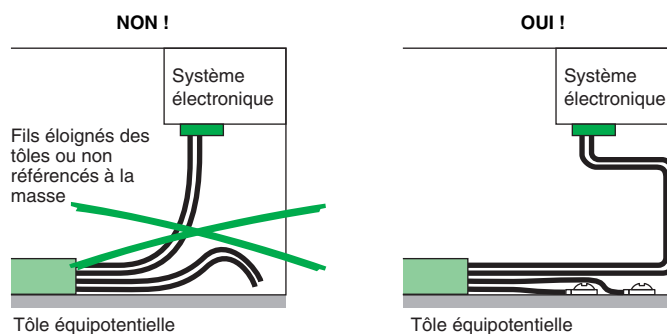


Fig. R37 : Raccorder les fils libres à la masse

**Le conducteur de retour doit toujours être voisin du conducteur aller (cf. Fig. R38)**

Ceci est particulièrement critique pour les capteurs à bas niveaux. Il est, même conseillé pour des signaux TOR avec un commun, d'accompagner les conducteurs actifs par au moins un conducteur commun par faisceau. Pour les signaux analogiques ou numériques, travailler en paire torsadée est un minimum. Une paire torsadée (MD) garantit que le fil de retour reste de bout en bout proche du fil aller

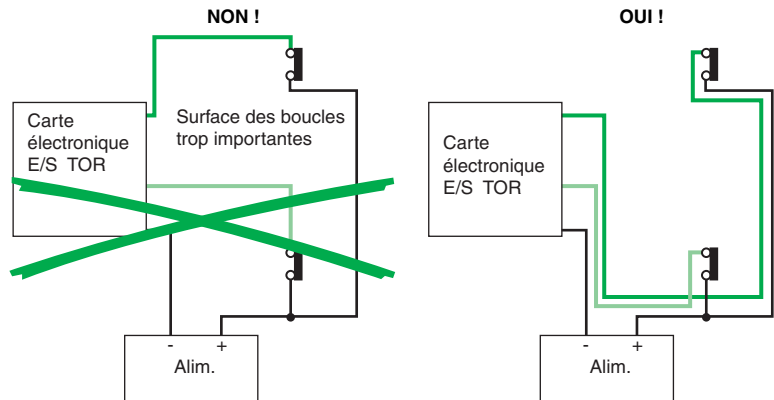
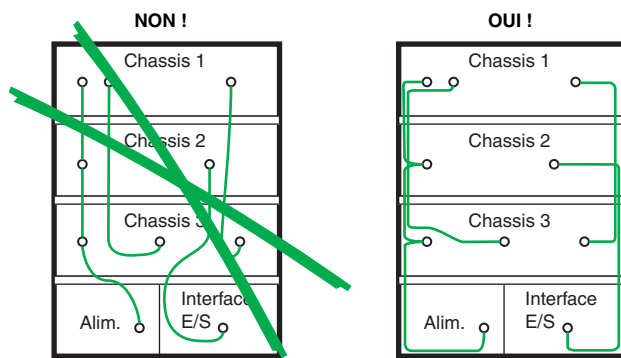


Fig. R38 : Fil aller et fil retour doivent toujours rester voisins

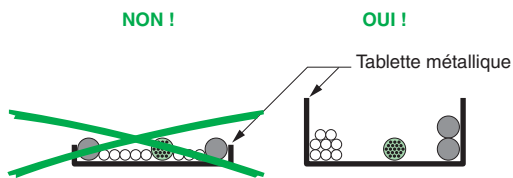
Les câbles du groupe 1 ne doivent pas être blindés s'ils sont filtrés mais doivent être réalisés de préférence en paires torsadées.

Les câbles sont systématiquement plaqués de bout en bout contre les parties métalliques (tôles, goulottes métalliques, structures...) équipotentielles de l'équipement (cf. Fig. R39) pour bénéficier d'un effet réducteur (MC) et anti diaphonie (MD) significatif, sûr et peu coûteux.



Toutes les parties métalliques (chassis, structures, enveloppes...) sont équipotentielles

Fig. R39 : Plaquer les liaisons filaires de bout en bout contre la masse



- Câbles de puissance ou bruyants
- ▨ Câbles E/S, relayages
- Câbles de mesure ou sensibles

Fig. R40 : Répartition des câbles dans une tablette

L'utilisation de goulottes métalliques mise à la masse de façon correcte améliore considérablement la compatibilité électromagnétique interne (cf. Fig. R40).

R28