



## Les perturbations électromagnétiques basse et haute fréquence

*Ce guide technique a pour objectif de mettre en évidence les phénomènes électromagnétiques basse et haute fréquence et de proposer les principales solutions permettant d'y remédier.*

Les perturbations harmoniques sont situées dans un spectre basse fréquence s'étendant jusqu'à quelques kHz.

Les perturbations haute fréquence se situent dans un spectre s'étendant jusqu'à plusieurs GHz.

### Définition d'une perturbation électromagnétique

Il s'agit de tout phénomène électromagnétique susceptible de dégrader les performances d'un dispositif ou d'un système.

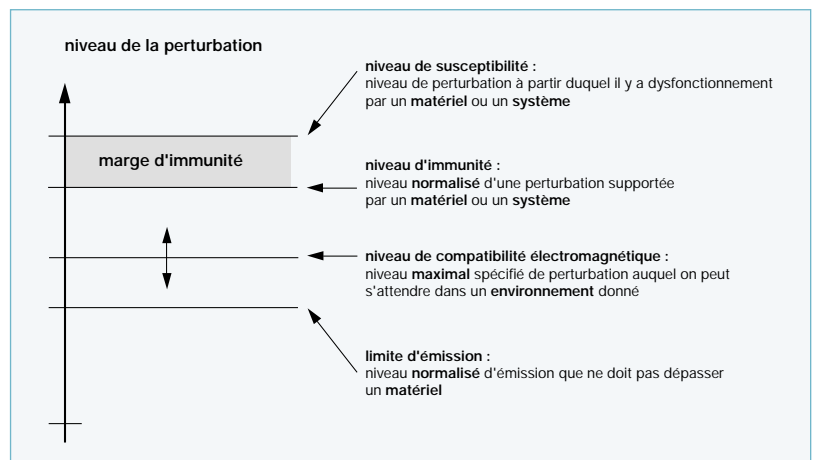
### Les différents niveaux de perturbations rencontrés

**p.2**

*Etude des phénomènes harmoniques basse fréquence*

**p.10**

*Les perturbations électromagnétiques haute fréquence*



# Etude des phénomènes harmoniques basse fréquence

Le domaine d'application des phénomènes harmoniques basse fréquence s'étend jusqu'à environ 2 kHz.

Il est à noter que sur un système monophasé ou triphasé avec neutre câblé le spectre contient des harmoniques de rang 3.

## Origine

Dans les secteurs industriel et domestique on constate une recrudescence de générateurs d'harmoniques imposant un courant alternatif non sinusoïdal.

Les générateurs d'harmoniques sont des charges non linéaires, c'est-à-dire qu'ils n'absorbent pas un courant sinusoïdal, bien qu'ils soient alimentés par une tension sinusoïdale. Ils comprennent deux types :

### v Exemple

- alimentation à découpage
- variation de vitesse pour moteur asynchrone
- éclairage.

## Quelques définitions importantes

**c Rappel du théorème de Fourier (Joseph)** mathématicien français né à Auxerre (1768-1830).

Toute fonction périodique de fréquence  $f$  peut être représentée sous la forme d'une somme composée :

- d'un terme sinusoïdal à la fréquence  $f$  de valeur efficace  $Y_1$  (**fondamental**)
- de termes sinusoïdaux dont les fréquences sont égales à :
  - $n$  fois la fréquence du fondamental et de valeurs efficaces  $Y_n$  (**harmonique**)
  - $n$  multiple entier étant le rang de chaque harmonique
- d'une éventuelle composante continue de valeur  $Y_0$

$$y(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n r^n \sin(n\omega t - \varphi_n) + Y_0$$

$Y_0$  = valeur de la composante continue

$Y_1$  = valeur efficace du fondamental

$Y_n$  = valeur efficace de l'harmonique de rang  $n$

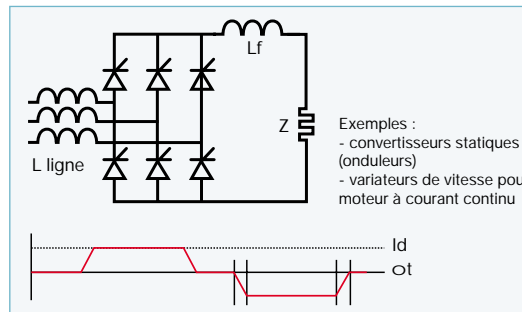
$\omega$  = pulsation de la fréquence fondamentale

$\varphi_n$  = déphasage de la composante harmonique

### c Les redresseurs en courant

Il s'agit des redresseurs en pont de **Graetz** débitant sur une charge inductive.

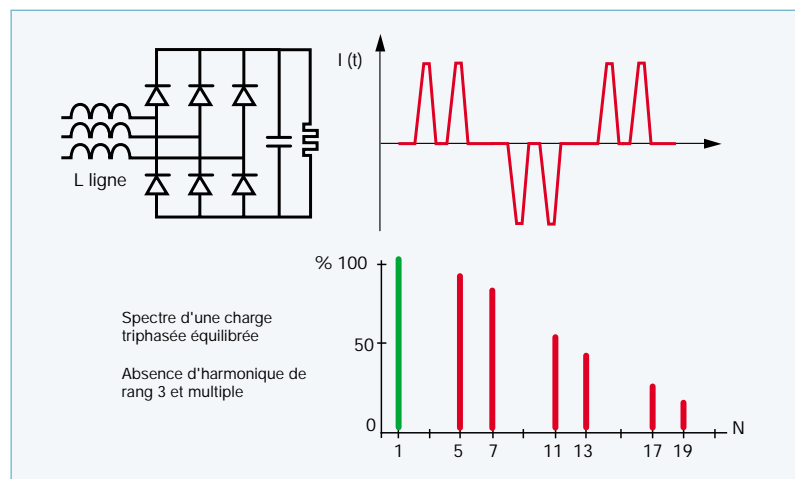
La forme du courant est composée de créneaux liés à la commutation rapide des thyristors.



### c Les redresseurs en tension

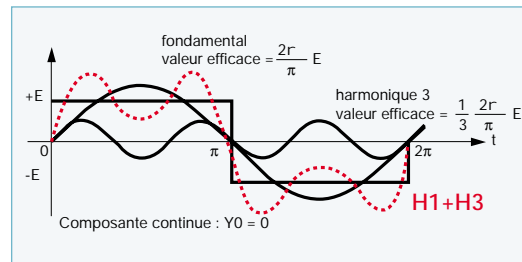
Il s'agit des redresseurs en pont de **Graetz** chargés par un condensateur.

La forme du courant est composée de pointes élevées et fines liées à la charge du condensateur.

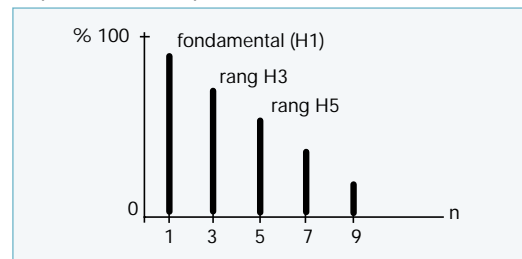


v Exemple d'application du théorème de Fourier sur un signal carré

Représentation temporelle



Représentation spectrale



Le spectre est observé avec un analyseur de spectre.

Remarque : l'amplitude (donc l'énergie) des raies harmoniques décroît en fonction de leur rang.

Nota : Nous constatons que le signal résultant de la sommation (H1 + H3) se rapproche du signal carré.

c Valeur efficace d'une grandeur alternative non sinusoïdale

La valeur efficace de la grandeur déformée conditionne les échauffements, donc habituellement les grandeurs harmoniques sont exprimées en valeurs efficaces.

Pour une grandeur sinusoïdale :  $V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$

Pour une grandeur déformée et en régime permanent, l'énergie dissipée par effet Joule est la somme des énergies dissipées par chacune des composantes harmoniques, soit l'application de la formule générale :

$y_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2 dt}$  donne avec la représentation harmonique :  $y_{eff} = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n^2}$

v Exemple d'application

IH1 = 104 A ) Valeurs données par l'analyseur  
 IH3 = 30 A ) de spectre dans l'exemple  
 IH5 = 10 A ) du signal carré

$y_{eff} = \sqrt{104^2 + 30^2 + 10^2} = 109 \text{ A}$

v Conclusions

Nécessité d'effectuer la mesure de courant avec un ampèremètre RMS (Root Mean Square) intégrant les rangs harmoniques (valeur efficace).

Le calcul de la section des conducteurs sera adapté au courant efficace et non pas au seul fondamental.

c Notion de taux de distorsion

Il donne une mesure de l'influence thermique de l'ensemble des harmoniques : c'est le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental seul.

Taux de distorsion (selon définition donnée par le dictionnaire CEI) : ce paramètre, appelé encore distorsion harmonique ou facteur de distorsion, représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental Y1.

$THD (\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} (Y_n)^2}}{Y_1}$

v Exemple d'application (signal carré)

$THD = 100 \frac{\sqrt{30^2 + 10^2}}{104} = 28 \%$

c Facteur de puissance et cos φ

v Le facteur de puissance est le rapport de la puissance active P à la puissance apparente S

$FP = \frac{P}{S}$

v Le facteur de déphasage cos φ1 représente le cosinus de l'angle entre les fondamentaux de la tension et du courant

$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1}$

P1 puissance active de la composante fondamentale  
 S1 puissance apparente de la composante fondamentale

v Conclusions

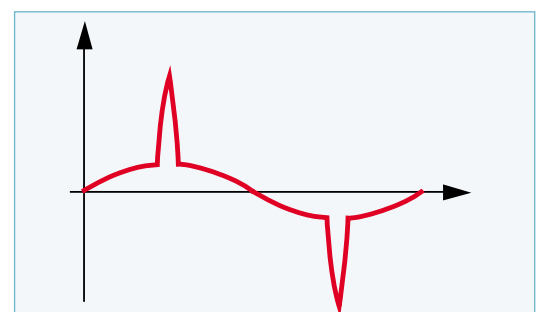
FP = cos φ1 sur une charge linéaire  
 FP ≠ cos φ1 sur une charge non linéaire

- le facteur de déformation FD représente le lien entre FP et cos φ

$FD = \frac{FP}{\cos \phi_1}$  donc  $FP = \cos \phi_1 \cdot FD$

- le facteur de crête c'est le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace d'une grandeur périodique

$F_c = \frac{Y_{crête}}{Y_{eff}}$



## Principaux générateurs d'harmoniques

- Onduleurs, hacheurs.
- Ponts redresseurs : électrolyse, machine à souder.
- Fours à arc et à induction.
- Variateurs de vitesse électroniques pour moteur à courant continu ou pour moteur asynchrone ou synchrone.
- Appareils domestiques tels que téléviseurs, lampes à décharges, lampes fluorescentes à ballast électronique.
- Alimentation à découpage informatique.

Ces équipements connaissent une diffusion croissante, ils entraînent une source de pollution harmonique importante.

## La normalisation en vigueur

### c Limites d'émission en courant

v Elles sont fixées par la norme CEI 61000-3-2 pour les appareils raccordés au réseau public en basse tension consommant moins de 16 A par phase. Au delà une norme CEI 61000-3-4 est en préparation.

v Pour les abonnés "tarif vert" en France, EDF propose un contrat EMERAUDE qui engage ses abonnés à limiter leur niveau de pollution et EDF à fournir une énergie de qualité.

*Nota* : Un "club" FIABELEC en partenariat avec EDF peut servir d'assistance aux industriels.

### c Niveau de compatibilité

La norme CEI 61000-2-2 définit des niveaux de compatibilité de tensions harmoniques pour les réseaux publics basse tension et CEI 61000-2-4 pour les installations industrielles basse et moyenne tension.

## Les effets indésirables et les retombées économiques des harmoniques sur les installations

Les tensions et courants harmoniques superposés à l'onde fondamentale conjuguent leurs effets sur les appareils et équipements utilisés.

Ces grandeurs harmoniques ont des effets différents selon les récepteurs rencontrés :

- soit des effets instantanés,
- soit des effets à terme dus aux échauffements.

### c Les effets instantanés

Sur les systèmes électroniques, les tensions harmoniques peuvent perturber les dispositifs de régulation. Elles peuvent influencer les liaisons et les équipements "courants faibles", entraînant des pertes d'exploitation.

Les compteurs d'énergie présentent des erreurs supplémentaires en présence d'harmoniques : par exemple un compteur classe 2 donnera une erreur supplémentaire de 0,3 % avec un taux de 5 % d'harmonique 5 sur le courant et la tension.

Les récepteurs de télécommande centralisée à fréquence musicale utilisée par les distributeurs d'énergie peuvent être perturbés par des tensions harmoniques de fréquence voisine de celle utilisée par le système.

### v Vibrations, bruits

Par les efforts électrodynamiques proportionnels aux courants instantanés en présence, les courants harmoniques généreront des vibrations, des bruits acoustiques, surtout dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances). Des couples mécaniques pulsatoires, dus aux champs tournants harmoniques, donneront des vibrations dans les machines tournantes. Ils peuvent entraîner une destruction du matériel.

### v Perturbations induites sur les lignes à courants faibles (téléphone, contrôle-commande)

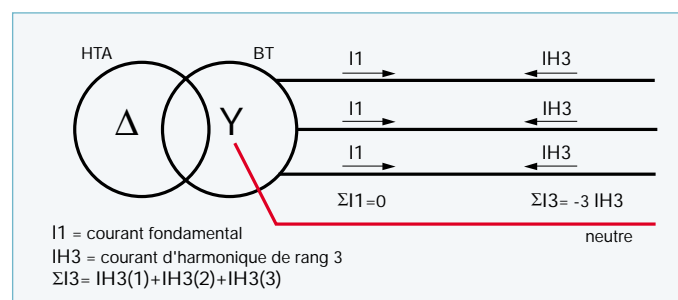
Des perturbations surviennent lorsqu'une ligne à courants faibles chemine le long d'une canalisation de distribution électrique avec courants et tensions déformés.

### c Les effets à terme

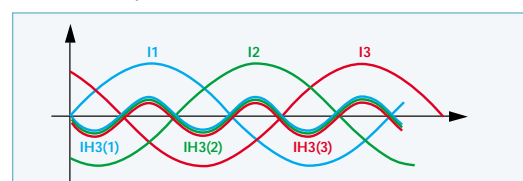
Victimes	Les effets à terme
Les condensateurs	<p><b>Echauffement, vieillissement</b></p> <p>Risque de résonance avec le circuit amont (inductance réseau), suite à la circulation de certains rangs harmoniques. Ce phénomène peut entraîner un facteur d'amplification du courant dans le condensateur provoquant sa surcharge et pouvant conduire à son claquage.</p>
Les transformateurs	<p><b>Echauffement dû aux pertes supplémentaires des machines et des transformateurs</b></p> <p>c Pertes supplémentaires dans les machines, dans leur stator (cuivre et fer) et principalement dans leurs circuits rotoriques (cages, amortisseurs, circuits magnétiques) par suite des différences importantes de vitesse, entre les champs tournants harmoniques et le rotor.</p> <p>c Pertes supplémentaires dans les transformateurs dues à l'effet de peau (augmentation de la résistance du cuivre avec la fréquence), à l'hystérésis et aux courants de Foucault (dans le circuit magnétique).</p> <p>c Couple pulsatoire.</p>
Les câbles et les équipements	<p><b>Echauffement des câbles et des équipements</b></p> <p>Les pertes des câbles traversés par des courants harmoniques sont majorées, entraînant une élévation de température. Parmi les causes de pertes supplémentaires, on peut citer :</p> <p>c l'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence, phénomène dû à l'effet de peau ;</p> <p>c l'élévation des pertes diélectriques dans l'isolant avec la fréquence, si le câble est soumis à une distorsion de tension non négligeable.</p> <p>D'une façon générale, tous les équipements (tableaux électriques) soumis à des tensions ou traversés par des courants harmoniques ont des pertes accentuées et devront faire l'objet de déclassements éventuels.</p>

### c Particularités de l'harmonique 3

Les harmoniques de rang 3 étant en phase, ils s'ajoutent algébriquement dans le neutre ; il y a donc surcharge importante sur le neutre notamment en régime déséquilibré.



Il faudra adapter la section des conducteurs.



# Les principaux remèdes envisagés

## C Solutions générales

v Abaisser les impédances harmoniques

v Agir sur la structure de l'installation :

- augmentation de la puissance de court-circuit
- choisir le bon schéma de liaison à la terre ;

éviter le TNC

- utilisation de transformateurs à couplage spécifique (exemple : DY/n<sup>11</sup>)
- confiner les charges polluantes
- déclasser les équipements.

## C Solutions de neutralisation

v Protection des condensateurs de compensation d'énergie réactive (suite au phénomène de résonance).

- Installation d'inductances anti-harmoniques (LAH)

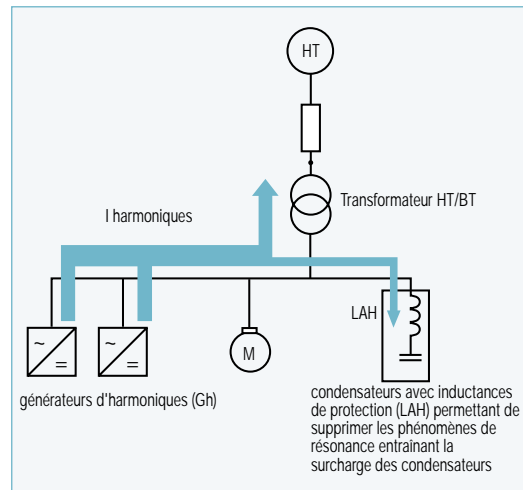
**But :** réaliser l'accord du circuit LAH à une fréquence pauvre en harmonique pour supprimer les risques de forts courants harmoniques dans les condensateurs

**Moyen :** montage en série avec le condensateur d'une inductance dite anti-harmonique (LAH).

**Fréquences typiques d'accord :**

- 135 Hz rang 2,7 si 1<sup>er</sup> rang significatif est 3
- 215 Hz rang 3,8 (BT) si 1<sup>er</sup> rang significatif est 5 en BT
- 225 Hz rang 4,5 si 1<sup>er</sup> rang significatif est 5 en MT.

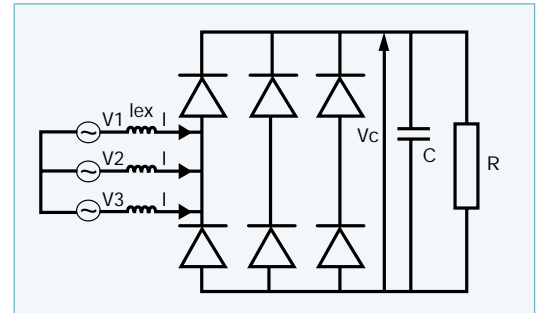
Principe



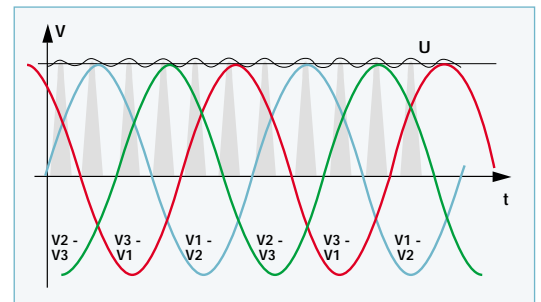
v Filtrage anti-harmonique permettant de dépolluer le réseau lorsque le niveau d'harmonique est trop élevé

- Lisser le courant

Schéma de l'étage d'entrée classique des variateurs, alimentations à découpage



La forme et donc le spectre harmonique dépend de L et de C



- Filtrage passif shunt résonnant

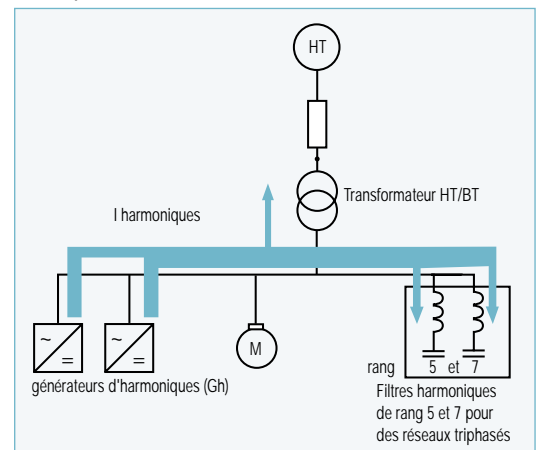
**But :** piéger les harmoniques dans des "courts-circuits harmoniques" appelés filtres d'harmoniques pour réduire la distorsion de tension.

**Moyen :** montage en série avec le condensateur d'une inductance accordée sur un rang riche en harmoniques ( $LC\omega^2 = 0$ ).

**Fréquences typiques d'accord**

- 250, 350, 550, 650 Hz (rangs 5, 7, 11 et 13).

Principe

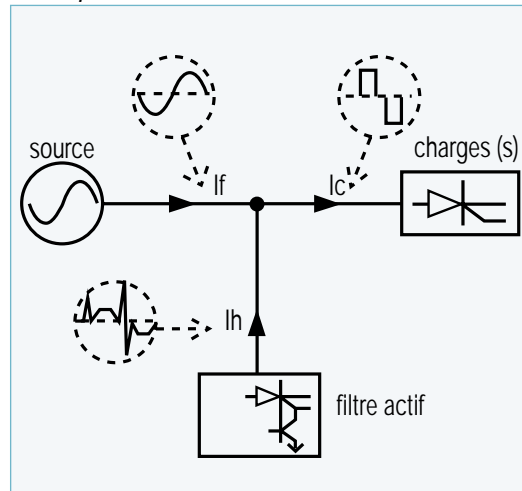


- Filtrage actif ou compensateur actif

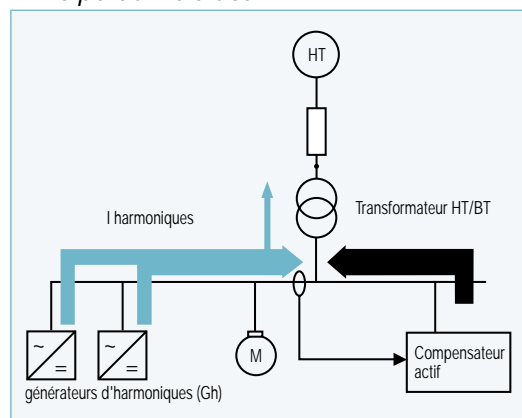
Une des définitions

Un filtre actif est un convertisseur statique qui permet d'injecter dans le réseau des harmoniques en opposition de phase et d'amplitude afin que l'onde résultante soit sinusoïdale.

Principe



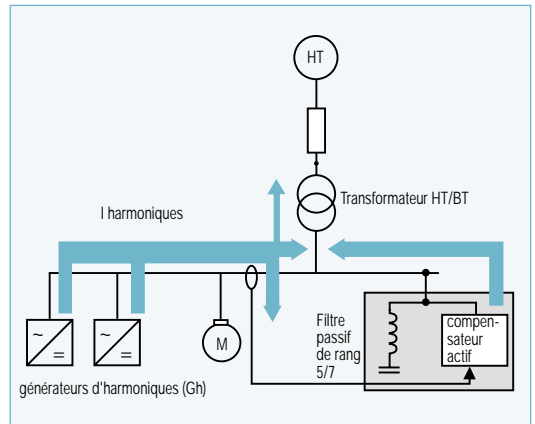
Principe du filtre actif



- Filtrage hybride

- Principe : association des solutions passives et actives permettant la dépollution de tout le spectre. La compensation d'énergie réactive possible.
- Solution bien adaptée à un filtrage "réseau".
- Cette solution permet d'obtenir un compromis technico-économique idéal car il permet de réduire la puissance de dimensionnement du filtre actif.

Principe



Nota : le filtre passif traitera les rangs 5 et 7 par exemple, et le compensateur actif les rangs suivants.

# Etude d'un cas de pollution par des harmoniques de courant

## c Les faits : match de football Le Mans-Guingamp, pour le compte du championnat de France de 2<sup>ème</sup> division.

- 21 h 44 : Le Mans - 2, Guingamp - 1
- 21 h 45 : panne d'éclairage, impossibilité de réenclencher le disjoncteur de tête
- 22 h 00 : match définitivement arrêté
- décision : match perdu pour Le Mans sur "tapis vert"

### c L'étude

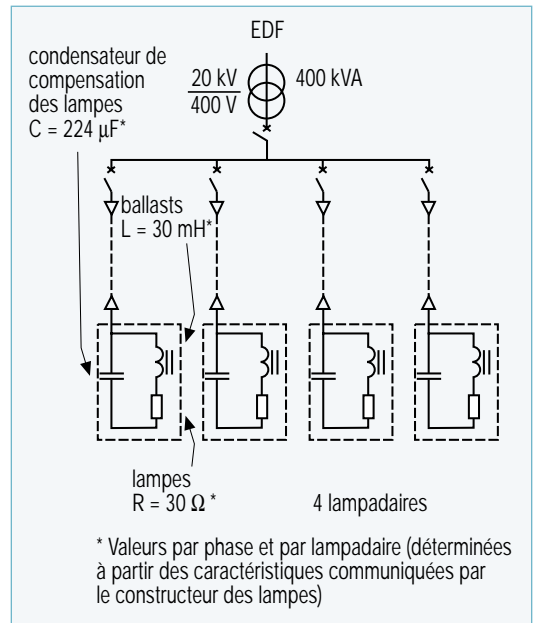
#### Explication du problème

Résonance de l'installation sur le rang 5, excitée par les tensions harmoniques présentes sur le réseau EDF, du fait, qu'à cette heure, tout le monde est devant son téléviseur pour suivre le match. L'ouverture du disjoncteur a été entraînée par surcharge thermique.

Les mesures effectuées par les experts de Schneider Electric ont mis en évidence un taux d'harmonique 5 identique au fondamental.

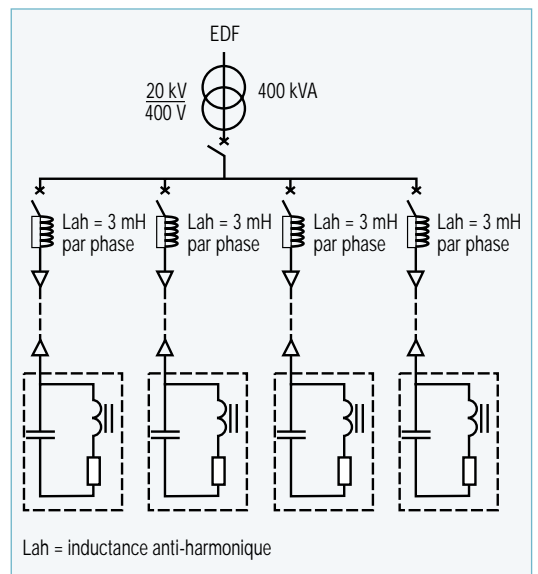
Le disjoncteur Merlin Gerin a donc rempli sa mission en mettant l'installation hors tension

Schéma équivalent simplifié du réseau pollué



### c La solution proposée

Déplacement de la fréquence de résonance par installation d'une inductance série de 3 mH sur chaque lampadaire (valeur déterminée par le logiciel expert).







## c La simulation

Spectre des harmoniques

Forme du courant



**Avant**  
L'étude à l'aide d'un logiciel expert

Simulation du problème faite sur logiciel expert pour valider l'explication et la solution proposée.

**Après**  
Un résultat conforme aux besoins

La solution proposée s'accompagne d'une garantie de résultat concernant le respect des valeurs d'harmoniques et du rapport :  $\frac{\text{courant efficace}}{\text{courant fondamental}} < 1,1$

## c La conclusion

Imaginons le même problème, un certain 12 juillet 1998 au Stade de France aux mêmes horaires, mais avec deux autres équipes !!  
Un petit incident peut avoir de très grandes conséquences.



# Les perturbations électromagnétiques haute fréquence

## La compatibilité électromagnétique (CEM)

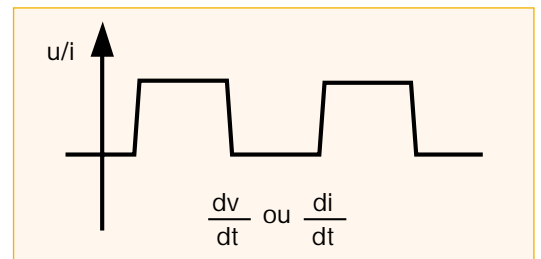
Les perturbations électriques créées par la proximité d'équipements électriques de puissance sur les transmissions de données de niveaux faibles sont de plus en plus fréquentes. Elles obligent les responsables de sites industriels et tertiaires à s'en prémunir.

*Notions de courants forts et de courant faibles*

Les **courants forts** sont ceux qui s'appliquent aux installations de distribution de l'énergie électrique. Les **courants faibles** sont ceux qui s'appliquent aux transmissions d'informations ou de signaux entre dispositifs électroniques.

La **compatibilité électromagnétique** : c'est l'art de les faire coexister, sans créer de dysfonctionnement.

La génération des perturbations électromagnétiques provient en général de l'établissement et de la coupure d'un circuit électrique se traduisant par de brutales variations de tension ( $\frac{dv}{dt}$ ) ou de courant ( $\frac{di}{dt}$ ) aux bornes du circuit commandé.



Ces perturbations peuvent être rayonnées ou conduites en mode Différentiel et/ou en mode Commun.

Elles créeront des dysfonctionnements sur les appareils sensibles tels que les : systèmes de mesure, récepteurs radio, téléphones, capteurs, régulateurs.

## Les sources de perturbations haute fréquence

### C Principales sources d'origine naturelle

- atmosphériques (foudre),
- bruit thermique terrestre.

### C Principales sources d'origine artificielle

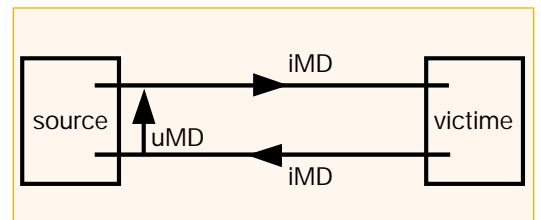
- émetteurs intentionnels : radioélectriques, talkie-walkie, GSM...
- émetteurs non intentionnels : les moteurs électriques, l'appareillage, les ordinateurs, les tubes fluorescents...

### C ...et dans le même temps :

- prolifération de l'électronique numérique,
- sensibilité croissante des composants.

### C Définition du mode Différentiel

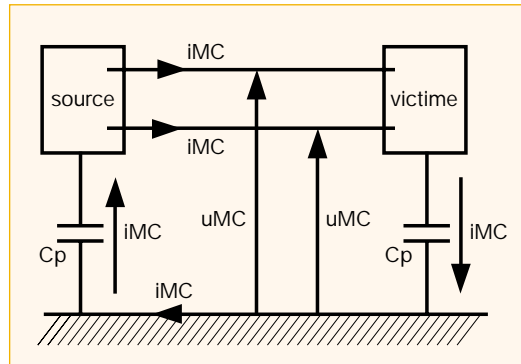
Le courant se propage sur l'un des conducteurs, traverse l'appareil victime, en le polluant et revient sur l'autre conducteur en sens inverse.



iMD : courant de mode Différentiel  
uMD : tension de mode Différentiel

### c Définition du mode Commun

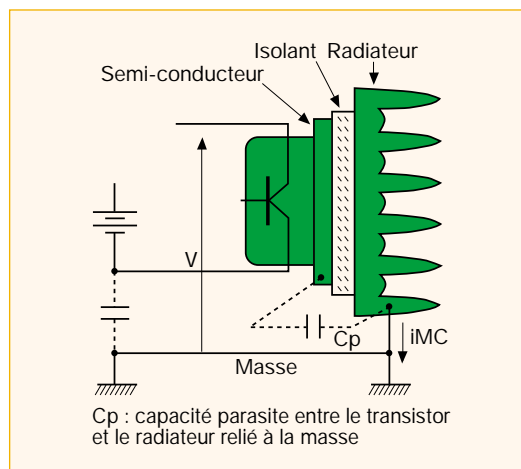
Le courant se propage en phase sur tous les conducteurs et se reboucle par les circuits de masse via les capacités parasites ( $C_p$ ).



iMC : courant de mode Commun  
uMC : tension de mode Commun

*Nota* : Principe de génération du courant de mode Commun.

La capacité parasite du radiateur de refroidissement des composants électroniques est un élément pris en compte dans la conception des "bras convertisseurs".

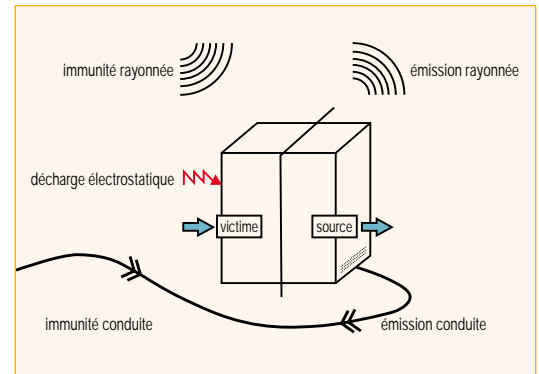


Le courant  $i_{MC}$  de mode Commun circulant dans  $C_p$  provient des variations de tension liées à la commutation du transistor. Ce courant circule donc du transistor vers la masse via  $C_p$ .

Le remède principal permettant de limiter les perturbations conduites, consiste à insérer un filtre accordé haute fréquence en série dans la liaison au plus près du pollueur.

Ce filtre doit être raccordé en respectant scrupuleusement les règles de câblage préconisées par les fabricants (placage au plan de masse...). Le phénomène prépondérant est surtout le mode Commun (i de fuite, rayonnement des câbles...).

### Les cinq familles de mesure utilisées en CEM



Les perturbations conduites se propagent par voie filaire.  
Les perturbations rayonnées se propagent par voie hertzienne.

## La normalisation

Une directive a pris naissance en 1989. Il s'agit de la directive 89/336/CEE modifiée par les directives 92/31/CEE et 93/68/CEE.

Le champ d'application de cette directive concerne tous les appareils électriques et électroniques ainsi que les équipements et installations qui contiennent des composants électriques ou électroniques. Son respect est obligatoire depuis le 01/01/96. Ceux-ci doivent être construits de façon à ce qu'ils respectent les exigences essentielles de la directive c'est-à-dire :

- avoir un niveau de perturbations électromagnétiques limitées de façon à ne pas provoquer des dysfonctionnements périphériques.
- avoir un niveau d'immunité adéquat face à l'environnement auquel ils sont confrontés. Ces niveaux d'émission et d'immunité sont fixés par une série de normes correspondantes.

Les appareils conformes aux exigences de la directive doivent comporter le marquage CE au titre de la CEM.

*Nota* : deux autres directives exigent également le marquage CE (Basse Tension et machine). Voir guide technique Intersections novembre 1999.

### c En CEM deux catégories d'essais sont effectuées

- les essais de labo (de type) dont l'objectif final consiste (via les normes) à atteindre le marquage CE sur le produit de façon à garantir sa bonne intégration dans l'environnement.
- les essais de site dont l'objectif consiste à assurer (préventif) ou à rendre (curatif) une installation conforme.

# Les différents modes de couplage des perturbations électromagnétiques

Les trois types de couplage principaux sont :

- le couplage par impédance commune (phénomène conduit)
- le couplage électrique
- le couplage magnétique.

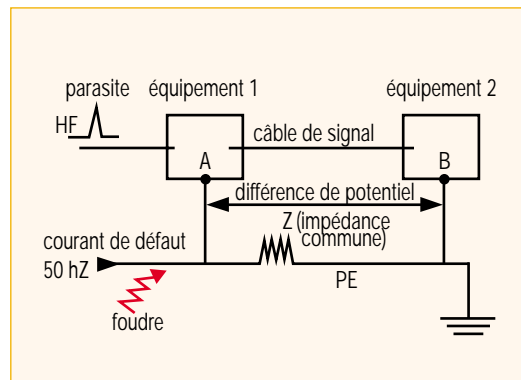
## c Le couplage par impédance commune

Il provient de la présence d'un circuit commun entre différents appareils.

Par exemple :

- le circuit d'alimentation
- le circuit de masse
- le réseau de protection PE, PEN.

Figure 1



La figure 1 montre que lorsque des courants (haute fréquence, de défaut 50 Hz, foudre) circulent dans des impédances communes (Z) ; les deux équipements vont être soumis à une différence de potentiel  $V_A - V_B$  indésirable (risque pour les circuits électroniques bas niveau).

Tous les câbles, y compris le PE, présentent une impédance qui augmente avec la fréquence.

*Nota* : Un câble rond quelle que soit sa section est équivalent à une inductance de  $1\mu\text{H/m}$ .

### Remèdes

Réduction de l'impédance commune par :

- maillage des circuits communs
- liaison des chemins de câble métallique
- utilisation de câbles blindés reliés des deux côtés
- utilisation de tresses plates
- filtre haute fréquence.

## c Le couplage électrique

Diaphonie capacitive.

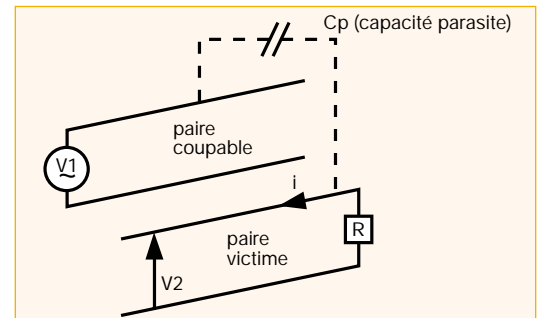
Transmission de perturbations entre deux câbles par capacité parasite ( $C_p$ ).

On distingue deux cas :

### v La diaphonie capacitive

Une variation brutale de tension  $V_1$  entre un fil et un plan de masse ou entre deux conducteurs va générer un champ électrique qui va induire un courant ( $i$ ) sur le conducteur voisin par effet capacitif. On récupère donc une tension  $V_2$  sur le câble victime.

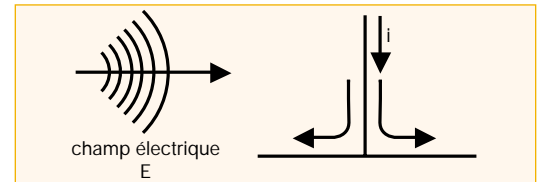
Figure 2



### v Le couplage champ à câbles

Lorsque le conducteur est soumis à un champ électrique variable (talkie-walkie, GSM, manœuvre d'appareillage, radar...), un courant ( $i$ ) est induit sur ce conducteur.

Figure 3



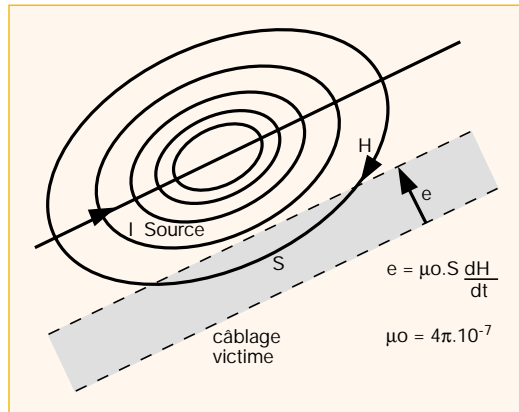
### v Remèdes :

- éloignement source/victime
- plaquer les câbles victimes près des structures métalliques (chemin de câble, conduit métallique...) évitant les phénomènes d'antenne
- ajouter des câbles d'accompagnement de masse
- blinder les câbles victimes en soignant le raccordement à la masse des deux côtés
- filtrage haute fréquence ou ferrites sur le câble victime.

### c Le couplage magnétique ou diaphonie inductive

Une variation de courant dans un conducteur génère un champ magnétique (H) variable. Il va créer une force contre-électromotrice qui développera une tension perturbatrice (e) dans un câblage victime présentant une boucle de surface (S).

Figure 4



#### v Sources de champ magnétique haute fréquence

- foudre
- four à induction
- système de commutation de puissance
- décharge électrostatique.

#### v Remèdes

- réduction des surfaces de boucle de câblage
- torsadage des câbles de nature identique
- solutions du couplage champ électrique.

## Quelques règles de câblage importantes préconisées

### c L'analyse de la situation

#### v Problème

faire cohabiter courants forts / courants faibles.

#### v Risques

perturber les liaisons courants faibles et l'électronique associée :

- dysfonctionnements (disponibilité, fiabilité...)
- erreurs de mesures, de transmissions
- destruction de matériels.

#### v Mécanismes

- couplages câbles à câbles, champs à câbles
- tensions de mode Commun
- dv/dt, di/dt
- surtensions.

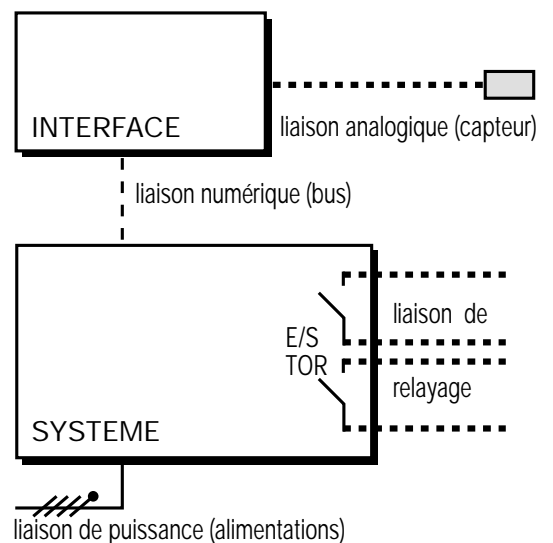
#### v Solutions

- séparer les câbles véhiculant des signaux différents
- soigner la mise en œuvre du câblage, l'équipotentialité, maillage des masses
- blinder
- filtrer
- protéger contre les surtensions.

### c Classification des signaux

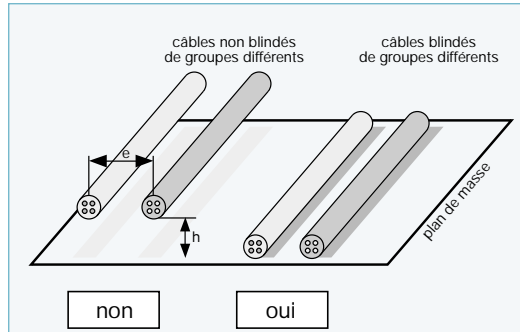
#### v Groupes distincts

- groupe 4 : très sensible
- groupe 3 : sensible aux impulsions, perturbe le groupe précédent
- groupe 2 : peu sensible mais perturbe les groupes précédents
- groupe 1 : peu sensible mais perturbe les groupes précédents.

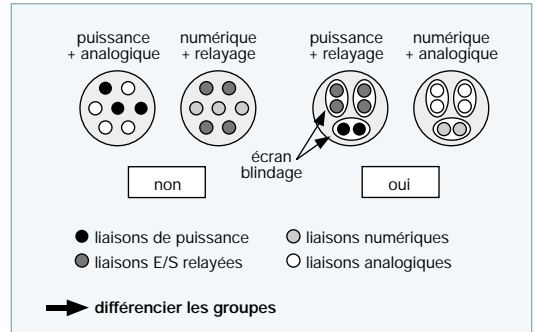


## c Les règles de câblage

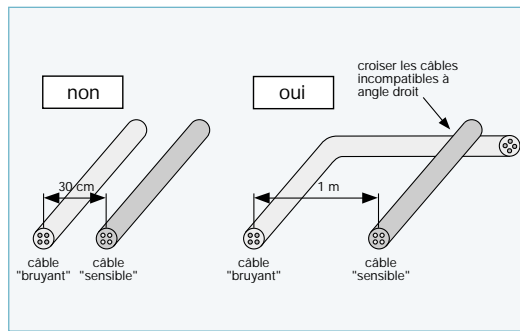
### v Risques de diaphonie en mode commun si $e < 3h$



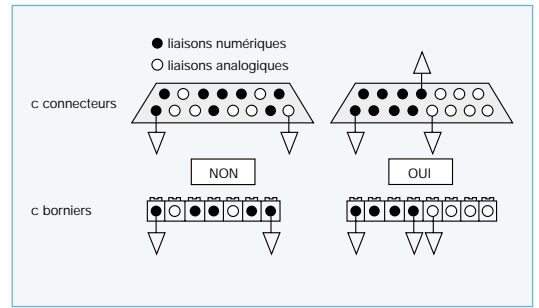
### v Signaux incompatibles : câbles et torons différents



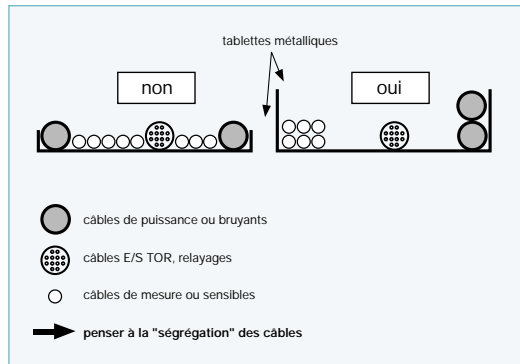
### v Eloigner les câbles incompatibles



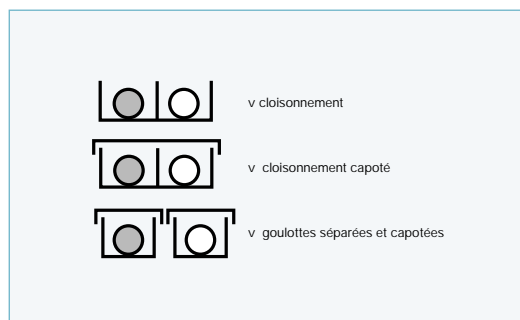
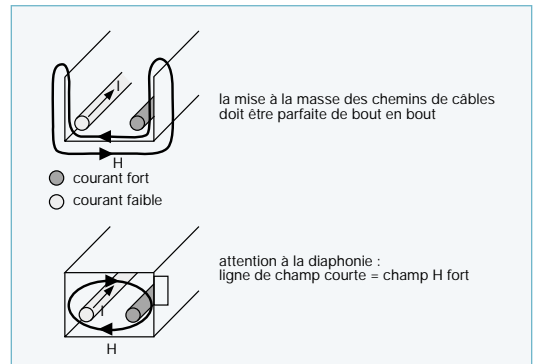
### v La "ségrégation" s'applique aussi aux raccordements



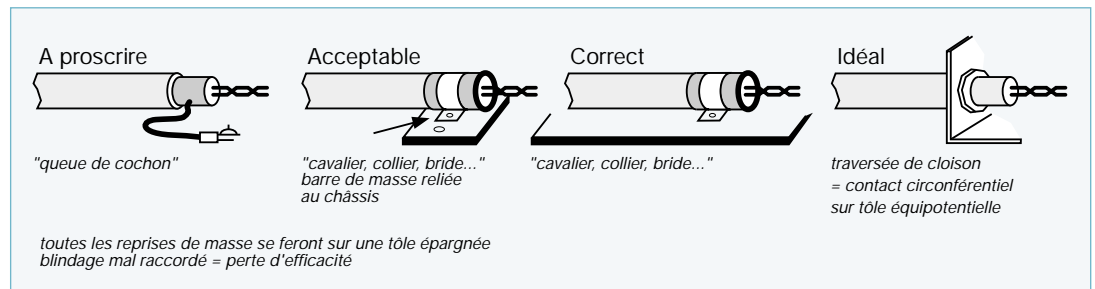
### v Répartition des câbles dans une tablette



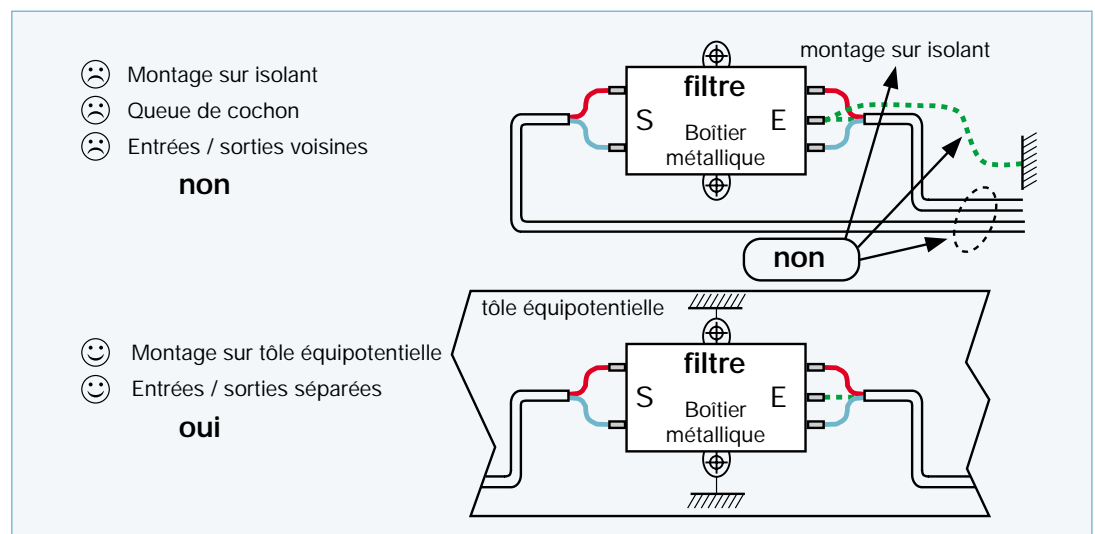
### v Chemin de câbles métallique



### c Le raccordement des blindages

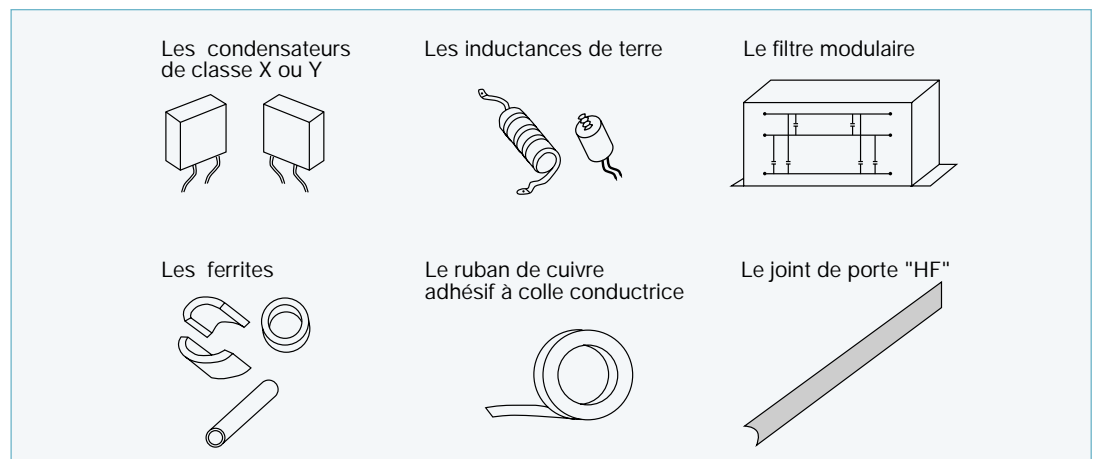


### c La mise en œuvre des filtres



### c La valise magique

#### Les principaux composants CEM





# Etude de cas de perturbation par rayonnement

Prenons le cas de deux ordinateurs en réseau (figure A) et examinons ce qui se passe lors d'un coup de foudre. Supposons que la foudre tombe à 200 m du bâtiment avec un  $di/dt$  de  $25 \cdot 10^9$  A/s (Icrête = 25 kA ;  $t_m = 1 \mu s$ ). Si la boucle, formée par le réseau 50 Hz et les liaisons numériques (figure A) présente une surface de 50 m<sup>2</sup> au champ impulsionnel, la f.e.m. développée est :

$$e = \frac{d\phi}{dt} = \mu_0 S \frac{dH}{dt} = \frac{\mu_0 S}{2\pi d} \frac{di}{dt}$$

$$e = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50}{2\pi \cdot 200} \cdot 25 \cdot 10^9 = 1,25 \text{ kV}$$

Elle est dangereuse pour les circuits émetteurs-récepteurs numériques et si la boucle est fermée, c'est le courant résultant qui va entraîner des détériorations.

### Quelle est la parade ?

Minimiser la surface des boucles, câbles de puissance, câbles courants faibles ; en effet si la boucle est ouverte une tension dangereuse pour l'électronique est développée et si elle est fermée, le courant induit va (impédance de transfert) perturber le signal, voire détruire les circuits émetteurs-récepteurs. La figure A montre que la boucle peut être de grande dimension. Un conducteur d'accompagnement, ou un chemin de câble ou un tube métallique (figure B) permet de minimiser la surface de la boucle.

Mais attention, on a ainsi créé une boucle entre masses. La liaison conductrice entre les deux équipements communicants doit donc être de faible impédance pour ne pas développer de tension induite entre les masses des équipements communicants (éviter les queues de cochons)...

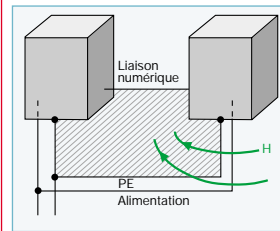
Il faut noter que si cette impédance de liaison est faible, elle va voir passer en cas de défaut d'isolement une part importante du courant de défaut.

La solution est encore une fois le maillage des masses le plus intense possible pour diviser les courants, (figure C). C

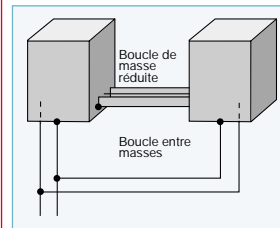
#### Avertissement

*Schneider Electric dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent guide, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans ce guide.*

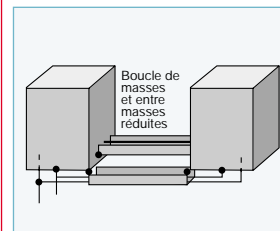
Perturbation d'une liaison numérique par boucle inductive et remède.



A. Boucle formée par le réseau et la liaison numérique.



B. Le chemin de câbles, connecté aux masses des deux appareils, minimise l'effet de courant induit avec la liaison numérique.



C. Utilisation de chemins de câbles parallèles pour l'alimentation et la liaison numérique : boucles réduites, plans réducteurs et effets atténués par maillage.

## Bibliographie

### Cahiers techniques Schneider Electric

La CEM.....	CT 149
Coexistence courants forts, courants faibles.....	CT 187
Perturbations harmoniques et leur traitement.....	CT 152
Harmoniques convertisseur et compensateur actifs.....	CT 183
Manuel didactique CEM.....	ART. 62920
Les singularités de l'harmonique 3.....	à paraître

### Collection technique

Les harmoniques et les installations électriques.....	MD1 HRM1F
La compatibilité électromagnétique.....	MD1 CEM1F

### Journées techniques ISF

Les harmoniques.....	JTH
Coexistence courants forts, courants faibles.....	JTCM
La foudre.....	JTF

Ce guide technique a été réalisé sous la direction de Gérard Gay, avec la collaboration d'Annie Riboulot et d'Alain Guignabel.