



Collection technique

Cahier technique n° 177

Perturbations des systèmes
électroniques et schémas
des liaisons à la terre



J. Delaballe

Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider Electric.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **Le rendez-vous des experts**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider Electric.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » de Schneider Electric.

Avertissement

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, 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 cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée après accord de la Direction Scientifique et Technique, avec la mention obligatoire : « Extrait du Cahier Technique Schneider Electric n° (à préciser) ».

n° 177

Perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre



Jacques DELABALLE

Docteur de l'Université de Limoges en 1980, entre chez Merlin-Gerin en 1986 après sept années passées chez Thomson.

Il est délégué à la normalisation après avoir été responsable des laboratoires CEM du centre d'essais de Schneider Electric. Il est également secrétaire du sous-comité 77B (Phénomènes haute fréquence) de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI).

Lexique

BT :

Basse Tension.

CEI :

Commission Electrotechnique International.

CEM :

Compatibilité Electromagnétique.

CPI :

Contrôleur Permanent d'Isolement.

DDR/HS :

Dispositifs Différentiels Résiduels Haute Sensibilité (≤ 30 mA).

DDR/MS :

Dispositifs Différentiels Résiduels Moyenne Sensibilité.

DDR/BS :

Dispositifs Différentiels Résiduels Basse Sensibilité.

DLD :

Dispositif de Localisation de Défaut.

DPCC :

Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits.

Electrisation :

Application d'une tension entre deux parties du corps.

Electrocution :

Electrisation qui provoque la mort.

 $I\Delta n$:

Valeur de réglage du seuil de fonctionnement d'un DDR.

MT :

Moyenne Tension (1 à 35 kV selon le CENELEC), en France HTA (1 à 50 kV).

SEC :

Systèmes Electroniques Communicants.

SLT :

Schéma des Liaisons à la Terre aussi appelé « régime du neutre » (voir aussi annexe).

Perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre

Aujourd'hui, l'électronique de puissance et de traitement du signal (analogique, numérique) est omniprésente dans tous les types de bâtiment.

L'informatique, l'automatique, les systèmes hiérarchisés de contrôle-commande, tissent une toile autour des réseaux électriques qui les alimentent.

Si les récepteurs non linéaires (redresseurs, variateurs de vitesse, gradateurs, alimentations à découpage...) sont pollueurs, les systèmes électroniques « courant faible » sont agressés par des perturbations électriques et magnétiques de toutes sortes.

Le choix des Schémas des Liaisons à la Terre -SLT- n'est pas neutre vis-à-vis des systèmes électroniques, particulièrement lorsqu'ils utilisent des liaisons numériques (bus) pour communiquer.

Ce Cahier Technique, après un examen des perturbations existant sur les installations BT, apporte un éclairage sur les avantages et inconvénients des SLT en terme de coexistence « courants forts » - « courants faibles ».

Sommaire

1 Introduction		p. 4
2 Les perturbations d'origine externe aux réseaux BT	2.1 Courants telluriques	p. 5
	2.2 Courants de terre vagabonds 50 Hz	p. 5
	2.3 Courants de claquage dans les transformateurs MT/BT	p. 5
	2.4 Surtensions de manœuvre sur réseau MT	p. 6
	2.5 Tensions harmoniques	p. 6
	2.6 Tensions et courants de foudre	p. 7
	2.7 Perturbations HF	p. 7
3 Les perturbations d'origine interne aux réseaux BT	3.1 Courants et tensions harmoniques	p. 8
	3.2 Surtensions de manœuvre (de mode différentiel) sur le réseau BT	p. 9
	3.3 Forts courants de défaut	p. 9
4 La coexistence « courants forts » - « courants faibles »	4.1 Limitation des perturbations émises	p. 10
	4.2 Réduction des couplages	p. 11
	4.3 Masses et terres	p. 14
	4.4 Système idéal de terre et de masse	p. 15
5 Les SLT et les systèmes électroniques communicants (SEC)	5.1 SLT, SEC et perturbations Basse Fréquence - BF -	p. 16
	5.2 SLT, SEC et perturbations Haute Fréquence - HF -	p. 17
6 Conclusion		p. 22
Annexe 1 : les SLT selon la CEI 60364		p. 23
Annexe 2 : exemple de réalisation d'un local exempt de perturbations électromagnétiques		p. 25
Bibliographie		p. 27

1. Introduction

Une onde électrique est caractérisée par :

- sa fréquence,
- sa tension,
- son intensité.

Dans les grands réseaux des pays industrialisés, la fréquence est parfaitement stable. Elle peut varier lors de l'îlotage d'une installation privée avec emploi de sources de remplacement, mais cette variation est sans effet notable sur les régimes du neutre et les matériels de protection qu'ils nécessitent.

Que la fréquence soit de 50 ou 60 Hz n'est pas déterminant ; par contre certains réseaux distribuent la puissance en 400 Hz, dans ce cas l'influence des capacités de fuite à la terre peut être à prendre en compte dans le choix du schéma des liaisons à la terre - SLT -.

En exploitation normale et en cas de défaut d'isolement, les courants et les tensions

présents dans les installations électriques sont essentiellement variables en valeur et en forme d'onde, laquelle peut s'éloigner fortement de la sinusoïde. Ceci est particulièrement vrai pour les courants qui résultent d'un défaut d'isolement en aval d'un convertisseur statique (cf. Cahier Technique n° 114).

Les phénomènes qui déforment ou perturbent la sinusoïde « secteur » ont des origines diverses et, selon le SLT, peuvent amener des perturbations de nature différente dans la distribution BT, mais aussi dans les systèmes électroniques communicants.

Il existe trois SLT définis par la publication CEI 60364 et, en France, par la norme NF C 15-100. Ils sont présentés dans les Cahiers Techniques n° 172 et n° 173 et un rappel est fait en annexe 1.

2 Les perturbations d'origine externe aux réseaux BT

2.1 Courants telluriques

Il s'agit de courants de fréquence inférieure à 50 Hz, dus aux orages magnétiques solaires. Ils circulent dans la terre profonde. Ils peuvent perturber les protections des lignes de transport,

mais ne sont pas gênants au niveau des réseaux BT peu étendus et sans effet lorsque ces réseaux n'ont qu'une prise de terre.

2.2 Courants de terre vagabonds 50 Hz

Ils prennent leur origine lors de défauts d'isolement dans les réseaux MT ou HT exploités en neutre à la terre impédant, mais aussi dans certaines installations de traction électrique où le courant de retour passe dans la terre. Une attention particulière doit donc être apportée aux installations BT situées à proximité des postes de transformation MT/BT et des voies ferrées électrifiées.

Ils peuvent apporter des perturbations par impédance commune dans le fonctionnement des systèmes « courant faible » géographiquement répartis, et notamment si ces systèmes n'ont pas une référence de potentiel unique (cas de plusieurs prises de terre). Il faut noter que les courants vagabonds ont été une raison de l'abandon des relais voltmétriques de terre sensibles à la tension de défaut.

2.3 Courants de claquage dans les transformateurs MT/BT

Son intensité est fonction du SLT du réseau MT. Son effet (surtension) dépend de l'interconnexion des masses des récepteurs BT avec la prise de terre du neutre (cf. **fig. 1**).

Ainsi en schéma TT, pour éviter un claquage en retour des matériels BT, la résistance R_b doit être inférieure à :

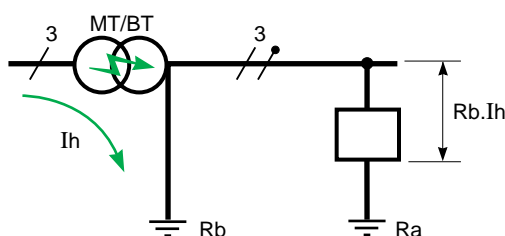
$$R_b = \frac{2U + 1000}{I_{hTM}}$$

A noter que la publication CEI 60364 remplace le $2U + 1000$ (volts) par $U + 1200$ en TT et TN, et $\sqrt{3}U + 1200$ en IT ; elle indique par ailleurs que cette surtension maxi ne doit pas durer plus de 5 s.

En régime TN, pour éviter le risque « contact indirect », il est nécessaire que le bâtiment soit totalement équipotentiel (Ex : immeubles de grande hauteur - I.G.H. -). En IT lors du claquage (mise en court-circuit) du limiteur de surtension, il en va de même si R_b et R_a sont confondues.

a - En TT

Les conducteurs actifs sont portés au potentiel $R_b \cdot I_h$ par rapport à la terre ; donc risque pour les récepteurs.



b - En TN

Les masses de tous les récepteurs sont portées au potentiel $R_b \cdot I_h$ par rapport à la terre ; donc risque de contact indirect.

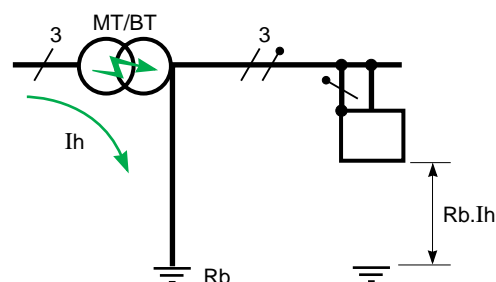


Fig. 1 : risques liés à un claquage MT-BT dans le transformateur.

2.4 Surtensions de manœuvre sur réseau MT

Les surtensions d'origine MT sont fortement atténuées du fait de la faible bande passante du transformateur MT/BT (en mode différentiel).

Leurs effets éventuels sont indépendants du choix du SLT de l'installation BT.

2.5 Tensions harmoniques

Le réseau MT est perturbé par les générateurs d'harmoniques existant chez les divers abonnés. Il en résulte une déformation de l'onde de tension MT et donc BT.

Les récepteurs BT d'un abonné non pollueur absorbent donc des courants harmoniques, les courants résultant d'un défaut d'isolement sont aussi déformés.

Les distributeurs d'énergie électrique sont aujourd'hui fortement préoccupés par la détérioration de l'onde MT, ceci bien que les transformateurs étoile-triangle (Dy11) ne

transmettent pas les harmoniques de rang 3 et multiples de la BT à la MT...

Le tableau de la **figure 2** donne les taux de perturbation harmonique maximaux admis par Electricité de France ; la norme EN 50 160 donne les mêmes valeurs sauf pour h3 et ses multiples.

$$\text{Rappelons que : } \tau(\%) = \frac{Y_n}{Y_1} 100$$

Dans les réseaux BT privés, il est fréquent d'observer des niveaux de tensions et courants harmoniques bien plus élevés.

Harmoniques impairs non multiples de 3		Harmoniques impairs multiples de 3		Harmoniques pairs	
Rang harmonique	Tension harmonique % BT/MT	Rang harmonique	Tension harmonique % BT/MT	Rang harmonique	Tension harmonique % BT/MT
5	6	3	1,5	2	2
7	5	9	0,3	4	1
11	3,5	15	0,2	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21		10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
25	1,5				
> 25	0,2+0,5*25/h				

Ces valeurs limites, qui peuvent paraître relativement sévères, ont été adoptées par EDF à partir de mesures réalisées en réseaux et correspondent à des niveaux harmoniques pour lesquels les appareils perturbés et perturbateurs cohabitent sur les réseaux dans des conditions acceptables.

Fig. 2 : niveaux des perturbations harmoniques de la tension admis sur les réseaux de distribution MT et BT.

2.6 Tensions et courants de foudre

Lors d'un coup de foudre direct ou indirect sur la ligne aérienne qui alimente un poste MT/BT, les parafoudres placés sur l'arrivée MT du poste limitent l'onde de tension et écoulent le courant de foudre (cf. Cahier Technique n° 168).

L'onde de tension, de mode commun, est transmise sur les enroulements BT du transformateur par les capacités parasites entre les enroulements MT et BT. Cette onde, dont le

niveau ne dépasse que rarement 6 kV, apparaît simultanément sur tous les conducteurs actifs.

La mise à la terre du neutre (directe en TT ou TN, ou via le limiteur de surtension en IT) ne peut atténuer que la surtension apparaissant sur le neutre et provoque l'apparition d'une surtension en mode différentiel (entre neutre et phases).

Si le risque de surtension existe, il est donc fortement conseillé de mettre en œuvre des

parafoudres entre tous les conducteurs actifs et la terre quel que soit le schéma des liaisons à la terre (cf. Cahier Technique n° 179).

Les liaisons doivent être les plus courtes possibles :

$$\Delta U = L \omega \hat{I}$$

avec $L = 1 \mu\text{H/m}$ et $\omega = 2,2/t_m$, t_m étant le temps de montée du courant.

L'écoulement à la terre du courant de foudre crée des surtensions dans le réseau BT de façon

similaire lors d'un claquage du transformateur (cf. fig. 1), avec toutefois une atténuation due aux capacités parasites au fur et à mesure du cheminement de l'onde sur le réseau.

Rappelons que la NF C 15-100 définit quatre niveaux de tension nominale de tenue au choc des matériels électriques (essai à l'onde 1,2/50 ms) : 1,5 - 2,5 - 4 et 6 kV.

2.7 Perturbations HF

Outre les « coups de foudre », les émetteurs hertziens (radio, TV, CB, talkies walkies et GSM) génèrent des champs électromagnétiques permanents ou temporaires.

Les manœuvres normales, ou sur court-circuit, des appareils de coupure génèrent des champs électromagnétiques impulsionnels. A titre d'exemple, des champs de 40 kV/m ont été relevés à 1 m d'une cellule MT.

Ces champs permanents, temporaires ou impulsionnels se traduisent, par des effets d'antenne et de boucle, en parasites conduits. De tels parasites peuvent perturber, voire endommager, les équipements électroniques autonomes (si leur immunité est insuffisante) et les systèmes électroniques communicants (si les liaisons « courant faible » sont mal réalisées).

3 Les perturbations d'origine interne aux réseaux BT

3.1 Courants et tensions harmoniques

De plus en plus de récepteurs du domaine industriel (convertisseurs statiques...), tertiaire (éclairage fluorescent, matériel informatique...) et même domestique (micro-ondes, téléviseurs...), sont des générateurs de courants harmoniques (cf. **fig. 3**).

■ Eclairage fluorescent

La norme NF C 71-212 (remplacée par la 71-230) fixe les niveaux maximaux des taux d'harmoniques émis soit :

□ H3 : 25 %,

□ H5 : 7 %,

□ H7 :%.

La norme EN 55 015 indique le niveau des perturbations rayonnées à ne pas dépasser. La norme NF C 71-100 fixe à 1 mA le courant maximal de fuite à la terre (via le conducteur PE).

■ Redresseurs en pont de Graëtz

Si la norme CEI 60146-4 explicite les courants harmoniques produits par les redresseurs, il n'existe pas encore de norme qui fixe les niveaux à ne pas dépasser (cf. Cahiers Techniques n° 152 et n° 160).

■ Alimentation à découpage (MLI)

Ces convertisseurs, vu la fréquence de découpage 10 à 30 kHz, génèrent des courants harmoniques de fréquence très élevée qu'il convient d'atténuer (filtres HF).

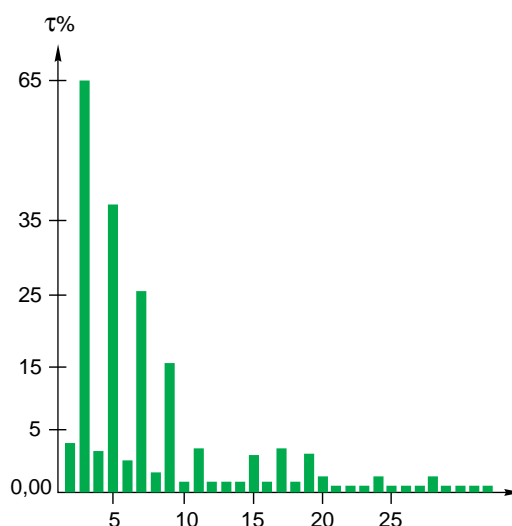
Les effets des courants harmoniques sont divers et pervers :

■ Si un ou plusieurs récepteurs génèrent des courants harmoniques de rang 3 et multiples (3 k), ceux-ci, en l'absence de défaut, s'additionnent et circulent dans le neutre. Ce courant provoque, si le neutre est commun avec le PE (schéma TN-C), une perturbation du potentiel des masses qui peut être préjudiciable aux récepteurs sensibles (tensions parasites de mode commun par rapport à la terre).

■ Lors d'un défaut d'isolement dans un récepteur, lui-même générateur de courants harmoniques (convertisseurs statiques par exemple), l'onde du courant de défaut a une forme très variable qui est fonction de son schéma et du point en défaut.

■ Les courants de défaut d'isolement chargés en harmoniques peuvent être la cause de dysfonctionnement des protections, des solutions existent :

a - Alimentation à découpage



b - Variateur de vitesse triphasé

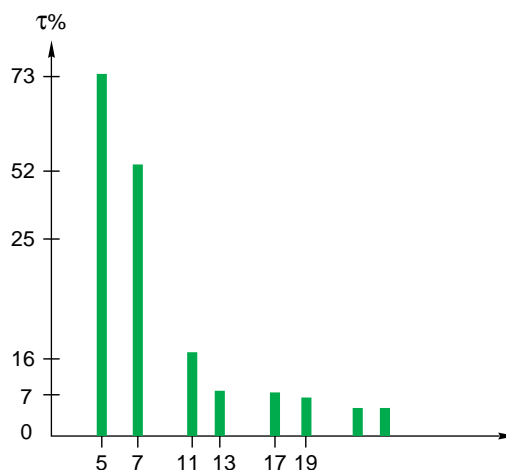


Fig. 3 : exemples de spectres harmoniques de récepteurs.

□ en TN et IT les disjoncteurs devront avoir un thermique sensible au courant efficace réel (RMS),

□ en TT les DDR devront être de classe A (aptés à fonctionner sur courants pulsés ou déformés).

3.2 Surtensions de manœuvre (de mode différentiel) sur le réseau BT

Elles résultent essentiellement de la coupure des courants normaux ou de défaut, par exemple lors de :

- l'ouverture des circuits de commande des contacteurs et des relais non équipés d'un filtre RC ;
- la coupure de courants de court-circuit par les DPCC à tension d'arc très élevée (certains

fusibles) ; à noter que la coupure du courant d'un défaut d'isolement en régime TN peut provoquer une surtension de mode commun.

Ces surtensions peuvent perturber le fonctionnement de certains appareillages sensibles... y compris les matériels de protection à source auxiliaire, qui doivent être immunisés par construction.

3.3 Forts courants de défaut

Il s'agit essentiellement des courants de court-circuit entre conducteurs actifs (ou via le PE en TN et au deuxième défaut en IT).

Si les divers conducteurs sont unifilaires et non groupés, le champ magnétique, alors rayonné par les conducteurs actifs (et par le PE en TN et IT), peut provoquer des fonctionnements

intempestifs des équipements électroniques ; notamment lorsque ces équipements sont proches des canalisations électriques ou reliés par des liaisons « courant faible ».

Le tableau de la **figure 4** donne une synthèse des perturbations et de leurs effets en fonction du SLT.

Perturbations	Effets	
Courants de terre vagabonds	Création d'une différence de potentiel BF entre deux prises de terre éloignées	<p>TN : risque nul pour les personnes et l'électronique</p> <p>TT : aucun risque si une seule prise de terre pour toutes les utilisations</p> <p>IT : idem TT</p>
Claquage MT/BT dans le transformateur	Tension de mode commun pour le réseau BT ($R_B \cdot I_{h_{MT}}$)	<p>TN : risque pour les personnes si l'équipotentialité du bâtiment n'est pas totale</p> <p>TT : risque pour le matériel</p> <p>IT : idem TN lorsque le limiteur de surtension se court-circuite</p>
Foudre sur MT	Transmission capacitive sur réseau BT	<p>TN : risque pour le matériel en mode différentiel</p> <p>TT : idem TN</p> <p>IT : idem TN, le limiteur n'agit que sur un conducteur actif</p>
Courants harmoniques dans le réseau BT	Courant d'harmonique 3 et multiples dans le neutre	<p>TN : non équipotentialité du PEN en TN-C</p> <p>TT : pas de problème</p> <p>IT : pas de problème</p>
Courants de défaut d'isolement	Champ magnétique Chute de tension dans le PE	<p>TN : risque pour les matériels sensibles et/ou communicants</p> <p>TT : pas de problème</p> <p>IT : idem TN si défaut double</p>

Fig. 4 : principales perturbations et effets selon le SLT.

4 La coexistence « courants forts » - « courants faibles »

L'électronique est aujourd'hui partout : dans les capteurs, les actionneurs, les systèmes de contrôle-commande des process, des bâtiments et de la distribution électrique.

Ces équipements sont alimentés par le réseau BT et ne doivent pas être sensibles aux diverses perturbations vues précédemment.

Les constructeurs « sérieux » savent très bien immuniser les appareils, en d'autres termes maîtriser leur susceptibilité aux phénomènes électromagnétiques. Pour cela ils se réfèrent aux normes de compatibilité électromagnétique, par exemple, la CEI 61000. (Cf. Cahier Technique n° 149).

Parallèlement, la normalisation vise à minimiser les perturbations émises par les pollueurs ; citons à titre d'exemple la norme CISPR 11.

La coexistence normée entre pollueurs et pollués n'est pas résolue pour autant car, dans le domaine électrique, des questions subsistent :

- comment se comporte une installation électrique en tant que pollueur ?

... Alors que la façon de réaliser les installations et le choix du régime du neutre sont des éléments déterminants.

- dans ce cadre, comment atténuer les perturbations et leurs effets sur les matériels sensibles (électroniques) ?

... C'est tout le problème de la bonne coexistence entre l'électrotechnique et l'électronique, en d'autres termes, entre les courants forts et les courants faibles. Pour qu'elle soit bonne, il faut minimiser les perturbations à la source et éviter les couplages entre la source et la victime potentielle.

4.1 Limitation des perturbations émises

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les perturbations sont diverses. Elles peuvent être de mode commun ou de mode différentiel, basse ou haute fréquence, conduites ou rayonnées (cf. tableau de la **figure 5**). Pour les limiter, différentes solutions sont possibles.

En MT

- utiliser des parafoudres à l'oxyde de zinc reliés au plus court à une prise de terre distincte de celle du neutre BT, pour limiter les surtensions de foudre ;
- limiter les courants homopolaires MT et minimiser la valeur de la prise de terre du neutre BT, pour éviter les claquages en retour s'il y a des prises de terre multiples ;

- utiliser des transformateurs MT/BT dont le couplage bloque certains courants harmoniques, pour limiter la pollution harmonique.

A l'origine du réseau BT

- éviter de relier la prise de terre du neutre avec celle du transformateur et des parafoudres (méthode utilisée en France pour les postes « haut de poteau » en distribution aérienne rurale) ;
- mettre en œuvre des parafoudres à l'origine du réseau BT, reliés au plus court à la prise de terre du neutre, pour limiter les surtensions de foudre qui passent à travers le transformateur ;
- éviter le SLT TN-C car le PEN véhicule des courants harmoniques (rang 3 et multiples) et ainsi pollue la référence de potentiel qu'est le PE pour les équipements électroniques.

	Mode commun	Mode différentiel
Perturbations BF	<ul style="list-style-type: none"> ■ montée en potentiel du réseau BT (claquage MT/BT) ■ fort courant de défaut dans le PE ■ harmoniques de rang 3k dans le PEN ■ prise de terre Ra de trop forte valeur en TT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ courants et tensions harmoniques ■ courant de court-circuit
Perturbations HF	<ul style="list-style-type: none"> ■ surtension et courant de foudre ■ surtension de manœuvre HT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ surtension et courant de foudre ■ coupure d'un Icc par un DPCC à forte tension d'arc

Fig. 5 : les différents types de perturbations selon mode et fréquence.

Dans le réseau BT

Pour minimiser les champs magnétiques rayonnés :

- éviter, autant que faire ce peut, l'emploi de câbles unipolaires qui génèrent, en cas de court-circuit, un champ magnétique important ;
- ne pas séparer le PE des conducteurs actifs, ou mieux, utiliser des câbles intégrant le PE ;
- ne pas utiliser de câbles blindés dont l'enveloppe constitue le PE ou des câbles placés dans des tubes acier servant de conducteur de protection, (le champ rayonné par les conducteurs actifs est bloqué et le PE génère un champ magnétique) ;
- privilégier les SLT qui minimisent les courants de défaut d'isolement (réduction du champ magnétique) ;
- minimiser le courant de mise sous tension des batteries de condensateurs (résistances ou selfs de choc) ;
- en IT, si le réseau est peu étendu, utiliser une impédance (neutre impédant) pour « fixer » le potentiel du neutre à la terre ;

■ faire cheminer les câbles de puissance sur des chemins de câbles métalliques en veillant à la continuité de ce « plan de masse » et à sa liaison avec la liaison équipotentielle principale (cheminement horizontal et vertical), ceci minimise fortement le rayonnement électromagnétique ;

■ piéger les surtensions :

- en plaçant des circuits RC sur les bobines de contacteurs, relais, etc.
- en protégeant les équipements sensibles par des « parafoudres ».

Au niveau des récepteurs

Tous les matériels électriques font l'objet de normes limitant leurs émissions de perturbations HF, et BF quand ils sont connectés au réseau public de distribution BT.

Il existe de nombreuses solutions pour minimiser les courants harmoniques : filtres passifs ou actifs, convertisseur statique à prélèvement sinusoïdal,...

4.2 Réduction des couplages

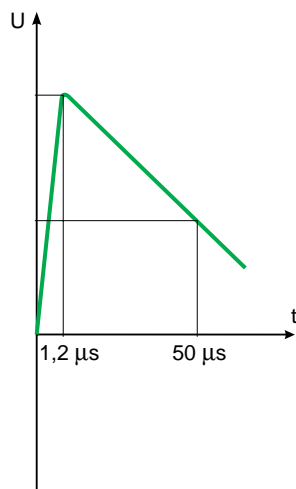
Toutes les perturbations ne peuvent pas être atténuées à la source : pour éviter les dysfonctionnements des matériels électroniques, il faut minimiser les transferts entre l'émetteur et la victime.

Il existe plusieurs types de couplages, pour les

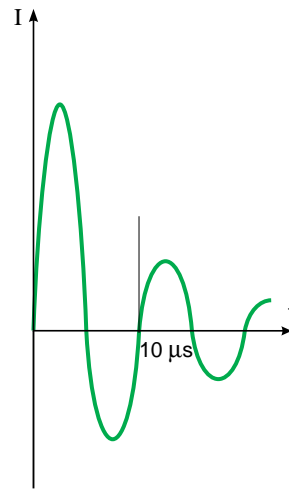
expliquer, prenons l'exemple du courant de foudre (cf. **fig. 6b**) .

Lorsque la foudre tombe sur une ligne aérienne MT ou BT, le courant de crête au point de livraison peut atteindre plusieurs dizaines de kA. Le di/dt et le $\int I^2 dt$ sont très importants.

a -
onde de tension
de foudre ($f_0 = \frac{0,35}{t_m}$)



b -
onde de courant de foudre
sans amorçage (f = 100 kHz)



c -
onde de courant de foudre
avec claquage d'isolant ou
conduction d'un parafoudre

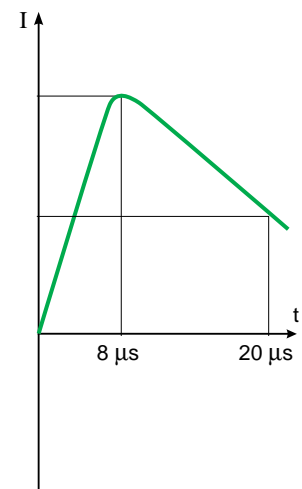


Fig. 6 : quelques ondes de foudres normalisées.

Couplage par impédance commune

Prenons l'exemple d'un schéma TN, toutes les masses étant reliées (cf. **fig. 7a**) avec :

$$\hat{I} = 25 \text{ kA,}$$

$$di/dt = 25 \text{ kA}/8 \mu\text{s,}$$

une liaison N-PE de 1 mètre avec une self linéique de $1 \mu\text{H/m}$,

la tension ΔV développée entre N et PE est :

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 10^{-6} \times \frac{25 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 3 \text{ kV}$$

C'est la tension alors appliquée entre neutre et masse des équipements BT !

La solution consiste à réaliser des connexions en étoile à partir de la prise de terre (cf. **fig. 7b**), mieux à créer deux prises de terre (cf. **fig. 7c**).

Plus généralement un conducteur électrique parcouru par un courant anormal (de défaut) génère entre ses extrémités une ddp qui peut être perturbatrice, c'est le couplage par impédance commune.

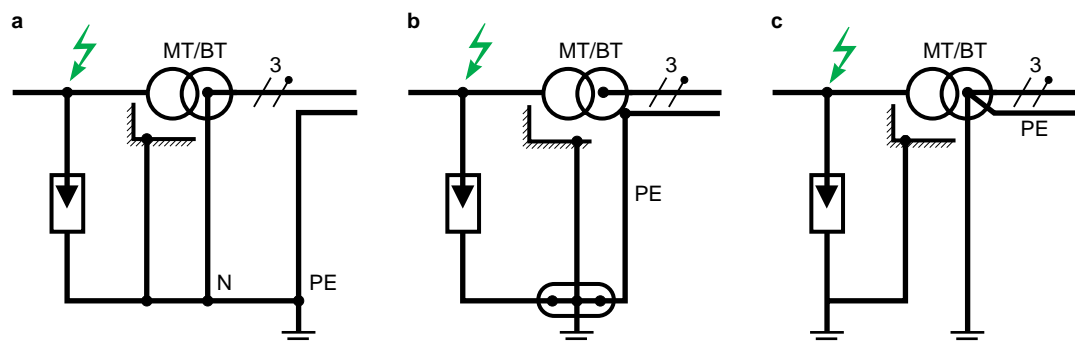


Fig. 7 : éviter le couplage par impédance commune vis-à-vis des perturbations d'origine MT.

Prenons un autre exemple lié à l'installation d'un paratonnerre. Supposons que les planchers, en partie métalliques, soient reliés à la descente de paratonnerre (cf. **fig. 8**) avec :

$L = 0,5 \text{ mH/m}$ (conducteur plat)

longueur du conducteur = 3 m

$$\hat{I} = 50 \text{ kA}$$

le ΔV entre étages sera :

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 1,5 \times 10^{-6} \times \frac{50 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 9,4 \text{ kV}$$

L'équipotentialité dans le bâtiment peut être mise en cause !

L'une des solutions consiste à multiplier les conducteurs de descente et à les éloigner de tout circuit électrique, à tendre vers une « cloche » de Faraday (cf. **fig. 9**).

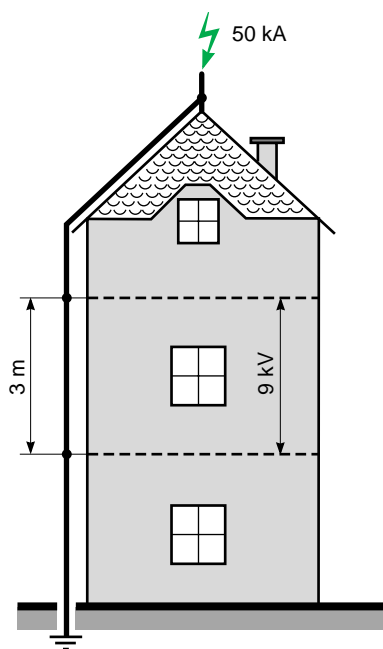


Fig. 8 : tension « de mode commun » générée entre 2 étages par un courant de foudre de 50 kA.

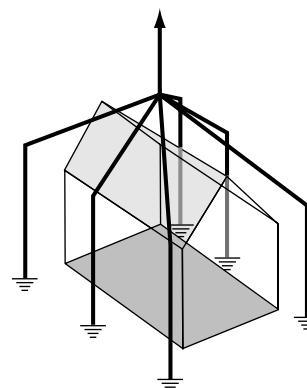


Fig. 9 : conducteurs de descente disposés en « cloche » de Faraday.

A noter que pour atténuer la pénétration dans le bâtiment des ondes électromagnétiques résultant d'un coup de foudre proche, il faut que la distance entre les conducteurs qui constituent la cage soit inférieure au dixième de la longueur d'onde λ . Avec un $t_m = 1 \mu s$,

$$f = \frac{0,35}{t_m} = 350 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$\frac{\lambda}{10} = \frac{1}{10} \times \frac{300 \times 10^6}{350 \times 10^3} = 85,7 \text{ m}$$

Couplage capacitif

Le matériel MT (24 kV) a une tension de tenue au choc de foudre (onde 1,2/50 μs) de 125 kV. Le coefficient de transfert capacitif entre le 20 kV et le 400 V est généralement de 0,04 à 0,1 (la CEI 60071-2 indique qu'il peut atteindre 0,4).

Ainsi une onde de foudre de 100 kV, avec un coefficient de 0,07 transmet à la BT une onde homothétique de 7 kV en mode commun.

C'est pour cette raison que :

- le matériel BT du poste est généralement à isolation renforcée (10 kV),
- les armoires électriques peuvent tenir 12 kV à l'onde de choc (PRISMA et ses accessoires),
- et les disjoncteurs de puissance ont une tenue de 8 kV en mode commun selon la norme CEI 60947-2.

Les transferts capacitifs de perturbations sont d'autant plus forts que la tension et la fréquence sont élevées.

Tout conducteur « de puissance » transmet par effet capacitif une tension parasite aux conducteurs « courant faible » qui suivent le même parcours, à une distance insuffisante.

Couplage inductif

Supposons qu'un bâtiment soit équipé d'un paratonnerre et qu'une liaison « courant faible » longe, sur une longueur de $L = 5 \text{ m}$ et à 50 cm de distance, la descente du paratonnerre (cf. **fig. 10**).

La surface $S = L \times l$ (l = espace séparant les deux conducteurs « courant faible » $\approx 5 \text{ mm}$) est de : $5 \times 0,005 = 0,025 \text{ m}^2$.

Utilisons le théorème d'Ampère :

$$H = \frac{I}{2\pi R} ; \phi = B S \quad \text{et} \quad u = \frac{d\phi}{dt} ;$$

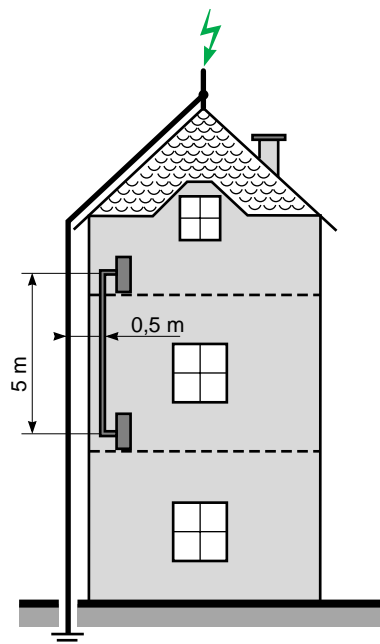


Fig. 10 : le couplage inductif crée des tensions de mode différentiel dans les liaisons courant faible.

$$\text{d'où : } \hat{u} = -\mu_0 S \frac{dH}{dt} = -\frac{\mu_0 S}{2\pi R} \frac{di}{dt}$$

soit avec $di = 50 \text{ kA}$ et $dt = 8 \times 10^{-6} \text{ s}$:

$$\hat{u} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0,025}{2\pi \times 0,5} \times \frac{50 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} \approx 60 \text{ V}$$

Cette tension impulsionnelle se superpose à la tension utile (quelques volts) et perturbe la liaison, voire endommage les appareils électroniques communicants.

La solution est d'éviter les parcours communs et proches entre les circuits à fort di/dt et les circuits « courant faible » et d'utiliser des paires torsadées pour la transmission d'informations.

Les couplages résultent essentiellement de la façon dont les installations sont réalisées.

A titre d'exemple, sont présentées en annexe 2, les dispositions prises dans un hôpital, pour être sûr de réaliser des électro-encéphalogrammes sans « parasites ».

4.3 Masses et terres

Pour faciliter la compréhension des chapitres suivants, voici quelques définitions :

- terre (profonde) : masse conductrice de la terre dont le potentiel électrique en chaque point est pris, par convention, égal à zéro ;
- prise de terre : corps conducteur ou ensemble de corps conducteurs en contact intime avec le sol et assurant une liaison électrique avec celui-ci ;
- réseau de terre : ensemble des conducteurs de protection (PE) relié à une prise de terre, dont le but est d'éviter l'apparition d'une tension dangereuse entre les masses électriques et la terre en cas de défaut d'isolement (contact indirect) ;
- masse électrique : partie conductrice d'un matériel électrique qui peut être mise sous tension lors d'un défaut d'isolement ;
- masse d'accompagnement : structure de masse ou conducteur (plancher maillé, chemin de câbles ou blindage...) qui accompagne de bout en bout un câble « courant faible » qu'elle

protège par effet réducteur des couplages électromagnétiques (HF) ou des couplages par impédance commune ;

- masse fonctionnelle : partie conductrice d'un matériel électronique qui a un rôle d'écran et souvent de référence de potentiel (zéro volt) ; à noter qu'un matériel de classe II n'a pas de masse électrique, mais peut avoir une masse fonctionnelle ;
- réseau de masses fonctionnelles : ensemble des conducteurs de masse d'accompagnement et des structures conductrices du bâtiment qui ont un rôle d'équipotentialité et d'écran vis-à-vis des perturbations.

Il convient de bien noter qu'un système de terres a un rôle de protection des personnes vis-à-vis de la distribution électrique (50 Hz), et qu'un système de masses a un rôle fonctionnel dans la transmission des informations et la lutte contre les perturbations électromagnétiques (cf. **fig. 11**).

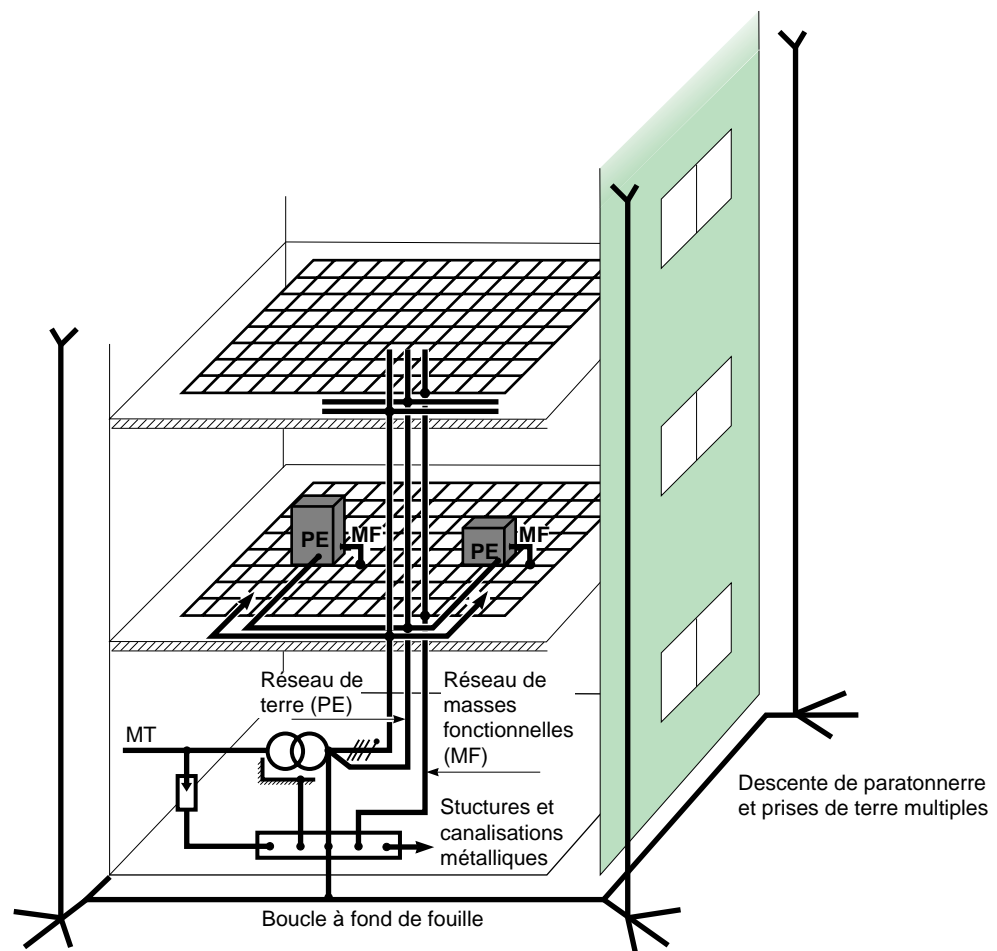


Fig. 11 : exemple de système de terres et de masses.

4.4 Système idéal de terre et de masse

Le schéma de la figure 11 en est un exemple pour les raisons suivantes :

- Les perturbations externes (foudre, de manœuvres, claquage HT/masse) affectent au minimum les équipements du bâtiment, car :
 - il y a de multiples conducteurs de descente du paratonnerre et des prises de terre multiples en patte d'oie ;
 - les différentes mises à la terre « électriques » sont raccordées en étoile à une seule prise de terre.
- Le conducteur PE (quel que soit le SLT) ne perturbe pas les masses fonctionnelles électroniques, car :
 - il n'y a pas de couplage par impédance commune puisque le réseau de terre - PE - est séparé du réseau des masses fonctionnelles. Dans la pratique, cette séparation est souvent réalisée au niveau des étages mais pas toujours pour les colonnes montantes ;
 - son champ rayonné peut être fortement réduit lorsqu'il est dans le même câble que les conducteurs actifs, lui-même placé sur un chemin de câble métallique avec continuité électrique, et ce chemin de câble relié au PE à l'origine de l'installation.
- Tous les câbles « courant faible » cheminant sur le plancher maillé (effet réducteur) à distance des circuits de puissance (≥ 30 cm) évitent les effets de couplage magnétique. Il en est de même pour les traversées de plancher (liaisons inter-étages) avec des câbles « courant faible » circulant dans une goulotte métallique qui suit la liaison « masses fonctionnelles ».

Nota

- Un conducteur de masse d'accompagnement peut remplacer un plancher maillé ou compléter son effet pour minimiser les effets de boucle éventuels en HF.
- Le réseau de terre - PE - et le réseau de masses fonctionnelles peuvent constituer un seul et même réseau sous deux conditions essentielles :
 - en l'absence de perturbations HF, de forts dv/dt et de forts di/dt ,
 - si les courants de défaut dans le PE ou PEN sont faibles et sans harmoniques.

Certains spécialistes de la CEM indiquent que même si ces conditions ne sont pas réunies, les réseaux de masses et de terres peuvent être intimement liés. Ceci à condition que les planchers, les structures et les chemins de câbles soient **fortement** maillés (recherche de l'équipotentialité totale par division des courants et minimisation des boucles).

Cette solution, difficile à réaliser au niveau du gros œuvre (interconnexion des fers à béton et de toutes les huisseries métalliques), peut convenir pour des bâtiments très spécialisés tels que centres informatiques et centraux téléphoniques.

5 Les SLT et les systèmes électroniques communicants (SEC)

Dans le chapitre précédent, nous avons traité de la coexistence entre les installations électrotechniques et les appareillages électroniques. La situation se complique avec le développement des liaisons numériques qui fédèrent les dispositifs électroniques en systèmes de contrôle-commande communicants.

Dans ce chapitre, nous allons examiner plus en détail les problèmes que peuvent poser les SLT des réseaux BT aux systèmes électroniques communicants, mais rappelons que :

- Avant le développement des microprocesseurs, les systèmes communicants étaient rares et locaux (liaisons capteurs-appareils de mesure). Ils utilisaient des signaux analogiques (0-10 V, 4-20 mA...) basse fréquence et étaient sensibles aux perturbations BF, d'où la connexion des masses en étoile pour éviter les couplages de mode commun. De plus, il y avait peu de perturbations HF, et les tensions induites étaient faciles à filtrer.

- Aujourd'hui, les liaisons entre les dispositifs électroniques se font en numérique (bus), à fréquence élevée et à très faible niveau électrique. Elles sont de plus en plus nombreuses et étendues (réseaux de micro-ordinateurs, capteurs actionneurs « intelligents », système de gestion technique,...).

- Selon le SLT utilisé, la façon de connecter les masses fonctionnelles et les parcours relatifs des liaisons « courant faible » par rapport à la distribution de puissance, il peut être observé :

- l'existence de perturbations par impédance commune dues aux courants de défaut dans le PE,

- la création de boucles étendues (avec les liaisons numériques) donc fortement réceptives aux perturbations émises par des équipements émetteurs de signaux (normaux ou parasites) haute fréquence.

5.1 SLT, SEC et perturbations Basse Fréquence - BF -

Souvent, les matériels électroniques ont besoin d'une alimentation électrique, leurs masses électriques et fonctionnelles sont donc reliées au réseau de terre (PE), réseau qui suit l'arborescence du réseau électrique. Des perturbations BF apparaissent alors dans le réseau par couplage de type impédance commune, ou par induction (parcours parallèles et proches).

Couplage par impédance commune

Selon le schéma de la **figure 12**, lorsqu'un défaut d'isolement provoque la circulation d'un courant dans le PE, entre les points de raccordement d'un appareil (1) et de son capteur (2), une chute de tension apparaît entre C et D. Cette tension (u) se retrouve entre (1) et (2) et peut perturber la transmission des signaux.

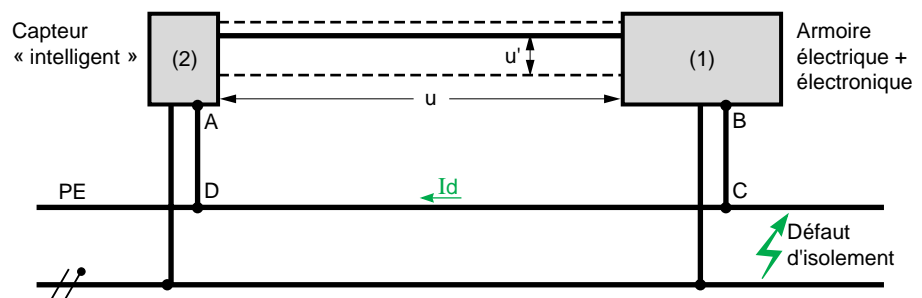


Fig. 12 : la chute de tension dans le PE, due au courant de défaut, perturbe la liaison entre appareils communicants (elle peut dépasser $U_0/2$ en schéma TN - $S_{PE} < S_{ph}$).

Si, par exemple, le câble est coaxial, la tension imposée à la gaine va se retrouver en mode différentiel (u') dans la liaison ! Ce phénomène existe plus ou moins selon le type de câble employé, il dépend de leur « impédance de transfert » dans le domaine de fréquence considéré.

■ En TN-C les courants qui circulent dans le neutre, donc dans le PEN font varier fortement la référence de potentiel des différents appareils du SEC. Ce SLT ne convient pas, a fortiori si des courants harmoniques circulent dans le neutre, à moins de séparer totalement le système de masses fonctionnelles du système de terres ; ce qui n'est pas souhaitable pour l'équipotentialité de l'installation.

■ En TN-S mais aussi en TN-C, les défauts d'isolement entraînent la circulation de courants de court-circuit (à fort di/dt) dans le PE qui :

- modifie la référence de potentiel des SEC (cf. exemple précédent),
- peuvent provoquer la circulation de courants perturbateurs dans les structures métalliques du bâtiment (d'où l'intérêt de relier les structures à la borne principale de terre plutôt qu'au réseau de terre, en divers points).

■ En IT, au premier défaut, les courants de défaut sont généralement inférieurs à 1 A donc non gênants. En cas de défaut double, si le premier défaut n'a pas été recherché et éliminé, la situation est la même qu'en TN-S.

■ En TT, il est bien évident que si les systèmes communicants sont reliés à des prises de terre différentes, les problèmes d'équipotentialité sont aussi importants qu'en TN ; donc la présence d'un système communicant implique une seule prise de terre des utilisations. Dans ce cas, les défauts d'isolement entraînent la circulation, dans le PE, de courants de défaut de 20 A environ, peu perturbateurs (mais 20 kA en TN !).

Les solutions, pour éviter l'apparition de ces perturbations entre appareils communicants, consistent à :

■ éviter les SLT qui font circuler un fort courant dans le PE ;

■ isoler les 0 Volt électroniques (masses fonctionnelles) des masses électriques (donc transformateur d'isolement si nécessaire) ; sans oublier que les matériels de traitement de l'information doivent comporter un transformateur d'isolement (CEI 60950) et que la NF C 15-100 § 707.545-2-1 exige que les masses fonctionnelles des matériels de traitement de l'information soient raccordées directement à la borne principale de terre ;

■ utiliser des matériels de classe II, ce qui supprime les liaisons au PE ;

■ éviter les prises de terre multiples (en TT et en IT) s'il y a des risques de courants vagabonds dans la terre.

Couplage par induction (diaphonie inductive)

Rappelons que, selon les lois de l'électromagnétisme, tout courant qui circule dans un conducteur génère un champ magnétique. Si ce champ est variable il entraîne une variation de flux et donc, une tension parasite dans une boucle proche.

Pour éviter l'apparition de champ magnétique :

■ les conducteurs actifs et le PE doivent être dans un même câble (les champs rayonnés par les divers conducteurs s'annulent). Rappelons que les courants de défaut d'isolement en TN peuvent être caractérisés par $\Delta i \approx 50$ kA avec un $\Delta t \approx 5$ ms,

■ il est déconseillé de permettre aux structures de participer au circuit de retour ; sinon la somme vectorielle des courants dans le câble n'est pas nulle.

Et pour limiter les couplages il faut :

■ éviter tout parcours parallèle et proche d'un conducteur à fort di/dt (descente de paratonnerre, conducteur de protection) et d'une liaison « courant faible »,

■ utiliser pour les courants faibles des liaisons à paires torsadées (les tensions développées dans les boucles successives s'annulent).

5.2 SLT, SEC et perturbations Haute Fréquence - HF -

Les systèmes numériques répartis dans les bâtiments sont très sensibles aux perturbations HF permanentes ou transitoires, rayonnées et conduites.

Les perturbations HF rayonnées

Ces perturbations sont dues à des signaux de fréquence généralement supérieure à 1 MHz. Elles ont pour origine les soudeuses, les fours à arc, les talkies-walkies et autres émetteurs tels certains appareils de coupure HT ou ballasts électroniques.

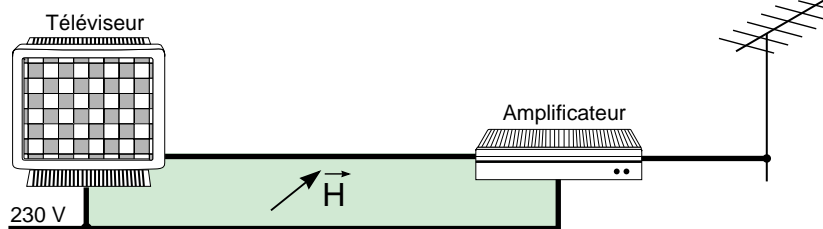
En fait il existe bien des normes limitant les émissions HF (ex. : CISPR 11 et EN 55011), mais tous les appareils ne sont pas concernés.

Si la gêne apportée par ces perturbations aux SEC est indépendante des SLT, il faut absolument éviter les boucles que les réseaux « courant faible » peuvent constituer avec les circuits électriques (cf. **fig. 13**).

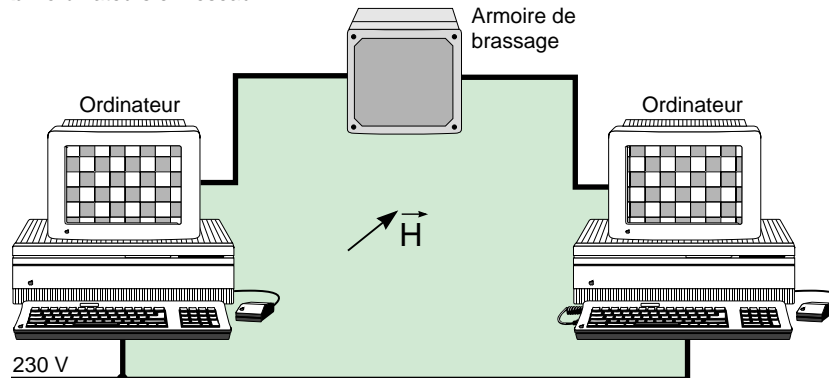
En effet, un champ électromagnétique rayonné induit un courant dans la boucle, qui génère des tensions parasites dans les transmissions « courant faible ». Et plus la boucle est grande, plus la perturbation est importante.

Phénomène naturel, la foudre est un perturbateur très puissant, un coup de foudre de 50 kA à 100 m de distance peut générer une tension de 100 V dans une boucle ouverte de 1 m² et, si la boucle est fermée, un courant de plus de 20 A.

a - TV avec amplificateur



b - ordinateurs en réseau



c - ordinateur et imprimante

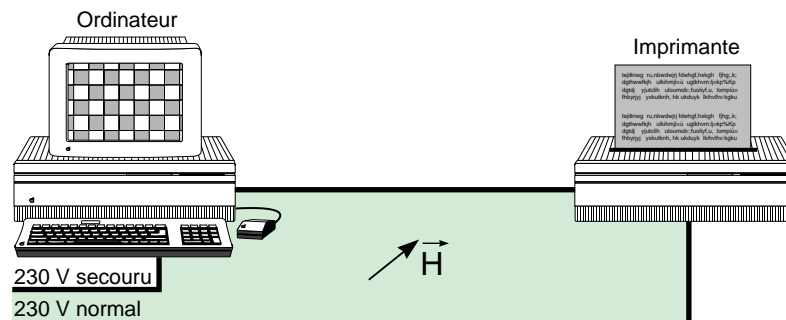


Fig. 13 : exemples de boucles inductives provoquant des claquages de systèmes électroniques communicants.

Sur la **figure 14**, en l'absence de conducteur d'accompagnement, une tension est développée entre les deux extrémités de la liaison « courant faible » ; elle perturbe les signaux transmis.

Le conducteur d'accompagnement forme, avec la liaison « courant faible », une boucle inductive de surface très faible (S_2), bien plus faible que la surface initiale ($S_1 + S_2$), d'où une très forte réduction de la perturbation.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées selon les matériels installés :

- Utiliser un transformateur d'isolement et éviter les capacités parasites entre l'électronique et la masse électrique.

- Minimiser la surface de la boucle :

- soit en faisant suivre le même chemin par les deux circuits, « courant faible » et d'alimentation, mais écartés d'environ 30 cm (cf. chapitre 4),

- soit en ajoutant un conducteur d'accompagnement si la liaison « courant faible » n'est pas blindée.

A noter que les plans de masse jouent le même rôle que le conducteur d'accompagnement (goulotte métalliques, planchers finement maillés).

- Pour les liaisons numériques utiliser des conducteurs torsadés (réduction de l'impédance de transfert) circulant dans une goulotte métallique qui fait office de conducteur d'accompagnement.

- Dans les situations difficiles prévoir un découplage aux deux extrémités (entrée et sortie) de la liaison numérique par optocoupleurs ou transformateur d'impulsions et relier le blindage de la liaison numérique à la masse électronique (cf. **fig. 15**).

- Enfin dans les environnements très perturbés, la solution est la transmission par fibre optique...

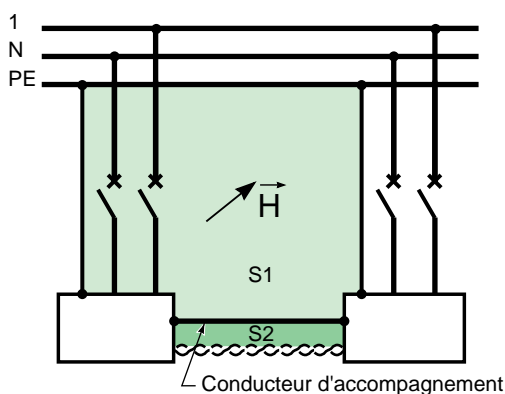


Fig. 14 : réduction de la surface de boucle par masse (ou conducteur) d'accompagnement (dans cet exemple masses fonctionnelles et PE sont reliés; ce qui ne pose pas de problème en schéma TT).

Les perturbations HF conduites

Ces perturbations sont dues à des signaux de fréquences typiquement comprises entre 10 kHz et 30 MHz. Elles ont pour origine la foudre, les surtensions de manœuvre et certaines alimentations à découpage.

- La foudre

Dans ce cas, le problème est identique quelque soit le SLT : la surtension de foudre qui arrive à l'origine de l'installation BT est essentiellement de mode commun (elle intéresse simultanément tous les conducteurs actifs). Elle est atténuée par les capacités parasites au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de la source. Aussi, lorsque deux appareils communicants sont installés à distance - l'un proche de la source et l'autre éloigné - il apparaît une ddp HF entre les alimentations de ces deux appareils, d'où une possible perturbation des communications numériques.

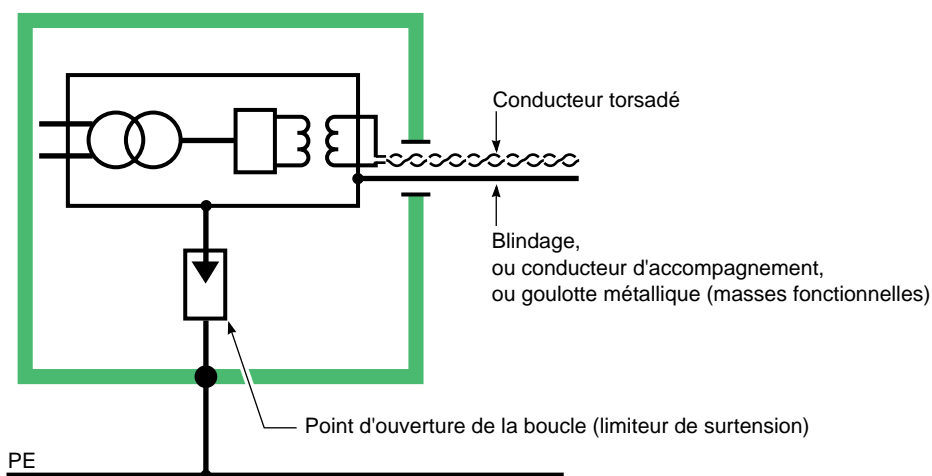


Fig. 15 : exemple de dispositions prises pour éviter les perturbations par effet de boucle en HF.

La réponse minimale à ce problème est d'installer, à l'origine de l'installation BT (près du transformateur MT/BT), des parafoudres entre chaque conducteur actif et la terre, sauf :

- sur le neutre en TN et TT, car le neutre est relié à la terre (la surtension s'écoule directement à la terre), mais il faut veiller à avoir une liaison la plus courte possible entre la mise à la terre du neutre et le PE (cf. chapitre précédent),
- sur le conducteur auquel est raccordé le limiteur de surtension (généralement le neutre) en IT, car ce limiteur élimine cette surtension.

Nota : En TN-S, IT et TT, il peut être nécessaire de rajouter dans l'installation BT des parafoudres de tension plus basse ; même sur le neutre, du fait du couplage capacitif entre les conducteurs actifs.

Pour la mise en œuvre, voir le Cahier Technique n° 179.

■ Les surtensions de manœuvre (coupure de courants inductifs)

Elles sont essentiellement de mode différentiel. Tous les SLT sont concernés de la même façon. La seule solution est d'atténuer ces surtensions dès leur émission.

■ Les perturbations dues aux alimentations à découpage

Certains équipements tels les ballasts électroniques de certaines lampes et tubes fluorescents, les téléviseurs, les micro-ordinateurs... utilisent des alimentations à découpage (à Modulation de Largeur d'Impulsion - MLI -). Ils sont générateurs de courants harmoniques HF qui peuvent perturber les équipements sensibles.

Si c'est le cas, il y a trois solutions :

- Interposer un transformateur d'isolement avec écran.
- Utiliser des tores ferrites. Ceux-ci, par effet Joule, dans les matériaux magnétiques, atténuent les perturbations jusqu'à quelques dizaines de MHz (cf. **fig. 16**).
- Utiliser des filtres comme, par exemple, le filtre de la **figure 17** ; solution souvent appliquées par les constructeurs d'appareillage sensible. L'emploi de filtres présente cependant certaines difficultés qu'il est important de connaître lors de la réalisation d'une installation électrique et en particulier pour bien choisir le SLT.

Spécificités d'emploi des filtres

Les filtres comportent généralement des condensateurs - Cy - dont les caractéristiques technologiques font que :

- les filtres standard ont une tenue en tension souvent bien plus faible que celle des matériels électrotechniques.

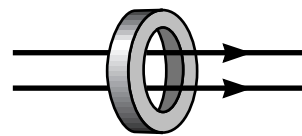


Fig. 16 : un tore en ferrite atténue les perturbations HF de mode commun.

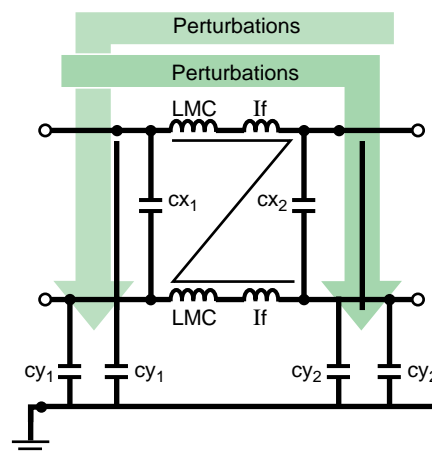


Fig. 17 : filtre haute fréquence.

- Ces filtres sont donc davantage vulnérables aux surtensions de mode commun : ils peuvent nécessiter une protection rapprochée par parasurtenseur (varistance). Ceci pose plus globalement le problème de la coordination des isolements en BT.

- Ces filtres sont à l'origine de courants de fuite 50 Hz qui, bien que limités par les normes de produits, doivent être pris en compte pour définir les protections à installer sur la distribution électrique.

Ces courants de fuite varient dans la pratique de 0,2 à 1 mA pour les appareils alimentés par une prise de courant, mais peuvent être plus importants pour les équipements de puissance installés à poste fixe. Il existe par exemple des filtres ayant un courant de fuite de 2,85 mA pour $I_n = 50 \text{ A}$ à 50 Hz. Cependant, certains matériels informatiques satisfaisant à la CEI 60950 (gros ordinateurs, calculateurs portant une étiquette « courant de fuite élevé ») peuvent avoir des courants de fuite plus importants car cette norme autorise des valeurs jusqu'à 5 % de I_n , ce qui explique la nécessité d'iloter leur distribution électrique, généralement en SLT - TN.

Rappelons que pour ces matériels, la NF C 15-100 prescrit une liaison directe à la liaison équipotentielle principale.

Influence des condensateurs de filtrage sur les différents SLT

■ En TN, ils ne gênent pas les disjoncteurs et fusibles et n'affectent donc pas la protection des personnes assurée par ces mêmes appareils.

■ En IT, ils ne perturbent pas davantage les dispositifs de protection contre les court-circuits. Mais si les équipements électroniques comportant de tels filtres sont très nombreux, ils peuvent gêner le fonctionnement des CPI à injection de courant BF auxquels il convient de préférer les appareils à injection de courant continu.

■ En TT, les courants de fuite dus aux filtres, lorsque les équipements électroniques sont nombreux, peuvent provoquer le fonctionnement

intempestif des DDR à haute sensibilité (30 mA), voire à moyenne sensibilité (0,3 A). C'est pour cette raison que les règles de l'art conduisent aujourd'hui à ne pas protéger plus de trois prises de courant par un DDR 30 mA.

A noter que les appareils de protections ont fait l'objet de nombreux perfectionnements.

Par exemple, maintenant des DDR :

□ sont insensibilisés aux perturbations à front raide et aux courants transitoires,

□ sont immunisés contre les courants unidirectionnels pulsés,

□ laissent s'écouler à la terre, par le parafoudre, les surtensions de foudre sans déclencher (différentiel avec léger retard au déclenchement).

Conclusion

Les divers SLT sont équivalents vis-à-vis de la protection des personnes. Mais, avec le développement des systèmes numériques communicants et la prolifération des pollueurs, la conception des installations électriques exige de gérer la coexistence « courants forts » - « courants faibles » et donc de reconsidérer les modes d'installation ainsi que le choix des régimes du neutre (SLT).

Au niveau des installations

A ce niveau, il est nécessaire tout à la fois de réduire les sources de perturbations (puissance et rayonnement), et la sensibilité des équipements et notamment des liaisons « courants faibles ».

Pour cela il faut :

- éviter de relier les conducteurs de descente des paratonnerres et des masses MT à la prise de terre du neutre (élimination des surtensions de mode commun résultant du couplage par impédance commune),
- que le PE longe les conducteurs actifs, (réduction des couplages par induction) et ne soit raccordé, dans la distribution, qu'aux masses des récepteurs électriques, ceci surtout en TN,
- utiliser des chemins de câbles métalliques équipotentiels par rapport à la liaison équipotentielle principale (réduction du rayonnement des câbles électriques de puissance et effet de conducteur d'accompagnement et de plan de masse pour les circuits sensibles).
- séparer nettement les liaisons « courants faibles » des câbles de puissance s'ils sont sur le même support ou mieux être placées sur des chemins câble différents et proches.

Dans la réalité, les liaisons « courants forts » - « courants faibles » ont souvent des trajets différents. De ce fait, il faut utiliser un conducteur d'accompagnement (ou équivalent) pour les circuits « courants faibles » et donc créer un réseau de masses fonctionnelles.

Au niveau des SLT

Le schéma TN-C, déjà interdit dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion, est à proscrire car les courants de neutre circulant dans le PEN perturbent l'équipotentialité.

Par ailleurs, si une partie des courants de neutre et de défaut circule dans les structures métalliques du bâtiment, ces courants « vagabonds », ainsi que le câble phases + PEN deviennent générateurs de champs magnétiques perturbateurs.

Pour le schéma TN-S, vu les forts courants de défaut perturbateurs, il est conseillé de créer un circuit de masses fonctionnelles, séparé du circuit de terre (PE) et donc réellement équipotentiel, (cf. fig. 10) qui va constituer, avec les planchers conducteurs et les structures, un effet plan de masse réducteur et cage de Faraday.

Le schéma IT permet d'obtenir la meilleure continuité de service avec un niveau de perturbations très faible ; mais, si l'occurrence du défaut double est prise en compte, les prescriptions sont les mêmes qu'en TN-S.

Le schéma TT est celui qui génère le moins de perturbations en cas de défaut d'isolement, il permet de continuer à mélanger intimement masses fonctionnelles et masses électriques et de jouer à fond le maillage et l'équipotentialité.

En définitive, face au problème nouveau des systèmes communicants par liaisons numériques, c'est tout le problème de l'équipotentialité, en BF et HF, de toutes les masses dans toute l'installation qui est posé.

La réponse en terme de mise en œuvre des SLT est :

- pour tous les SLT : créer des plans de masses réducteurs (planchers, chemins de câble métalliques) les interconnecter et éviter les boucles « courants forts » - « courants faibles »,
- pour les SLT TN-S et IT (2^e défaut) séparer le réseau de terre (PE) du réseau de masse ou mailler très fortement toutes les masses pour diviser les courants de défaut 50 Hz et les courants perturbateurs HF.

Relier intimement tout ce qui est métallique est une solution défendue généralement par les anglo-saxons ; elle n'est en pratique applicable que dans les bâtiments « très métalliques », à développement vertical et dont la construction est contrôlée.

■ Le schéma TT est celui qui répond le mieux au problème posé par la prolifération des liaisons numériques dans les bâtiments ; ceci à la condition que les prises de terre des récepteurs soient interconnectées par le PE.

Annexe 1 : les SLT selon la CEI 60364

Les trois SLT normalisés au niveau international sont aujourd'hui repris par bon nombre de normes nationales : en France, par la norme d'installation BT, NF C 15-100.

Ces trois régimes du neutre sont étudiés en détail dans le Cahier Technique n° 172, avec,

pour chacun, présentation des risques et des appareillages de protection associés. Il convient toutefois de rappeler succinctement leur principe de protection.

Le schéma TN (cf. fig. 18)

- Le neutre du transformateur est mis à la terre.
- Les masses des récepteurs électriques sont reliées au neutre.

Un défaut d'isolement se transforme en court-circuit et la partie en défaut est déconnectée par la protection contre les courts-circuits (DPCC).

Si l'impédance du circuit « aller » est égale à celle du circuit « retour », la tension de défaut (masse/terre profonde) dite de « contact indirect » est $\approx U_0/2$. Supérieure à la tension limite conventionnelle (U_L) qui est généralement de 50 V, elle nécessite une déconnexion d'autant plus rapide que U_d est grand devant U_L .

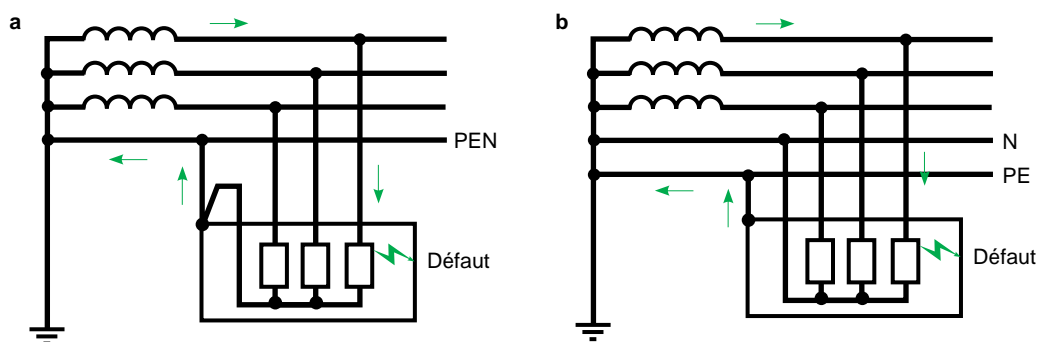


Fig. 18 : schémas TN-C -a- et TN-S -b-.

Le schéma TT (cf. fig. 19)

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

Le courant de défaut d'isolement est limité par l'impédance des prises de terre.

La partie en défaut est déconnectée par un DDR.

La tension de défaut est :

$$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}, \text{ supérieure à la tension } U_L,$$

le DDR entre en action dès que $I_d \geq \frac{U_L}{R_A}$

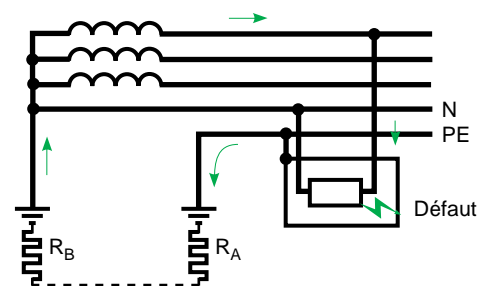


Fig. 19 : schéma TT.

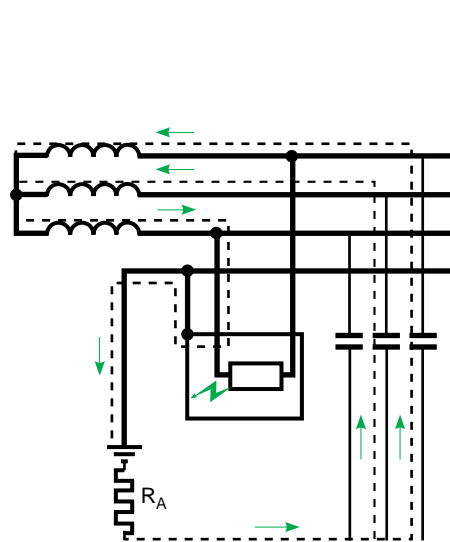
Le schéma IT

- Le neutre du transformateur n'est pas relié à la terre. Il est théoriquement isolé ; en fait, il est relié à la terre par les capacités parasites du réseau et/ou par une impédance de forte valeur $\approx 1\,500\ \Omega$ (neutre impédant),
 - Les masses des récepteurs électriques sont reliées à la terre.
- Si un défaut d'isolement se produit, un faible courant se développe du fait des capacités parasites du réseau (cf. **fig. 20** - 1^{er} défaut -).

La tension développée dans la prise de terre des masses (tout au plus quelques volts) ne présente pas de danger.

Si un deuxième défaut survient (cf. **fig. 20** - 2^e défaut -), alors que le premier n'est pas éliminé, il y a court-circuit et ce sont les DPCC qui assurent la protection nécessaire. Les masses des récepteurs concernés sont portées au potentiel développé par le courant de défaut dans leur conducteur de protection (PE).

a - 1^{er} défaut



b - défaut double

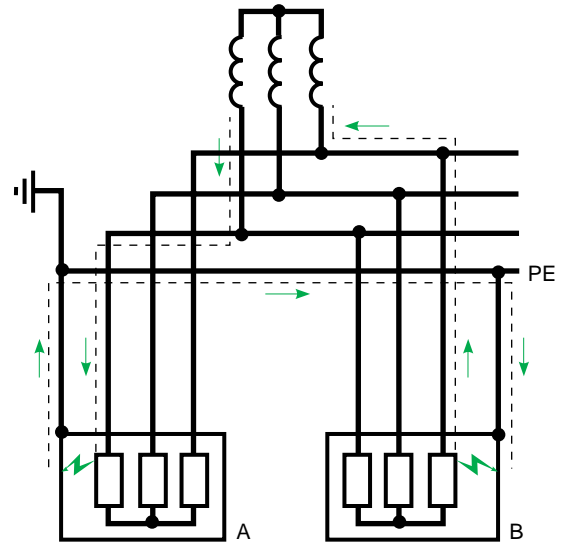


Fig. 20 : schéma IT.

Annexe 2 : exemple de réalisation d'un local exempt de perturbations électromagnétiques

Il s'agit d'une pièce dans laquelle sont réalisés des électroencéphalogrammes.

Les appareils utilisés pour ces enregistrements détectent des tensions de quelques μV , ils sont

donc particulièrement sensibles aux perturbations électromagnétiques.

Quelques constats

Sur le site il a été relevé :

- des tensions entre le « lit » du patient et la masse du moniteur ;
- des tensions entre les masses des divers constituants du système de mesures puis entre celles-ci et les masses métalliques situées dans l'environnement du patient ;
- des mesures de champ dans différentes parties du local révélant :
 - des champs électriques de quelques mV/m à 150 mV/m ,

□ des champs magnétiques HF de quelques mA à 10 mA (présence d'un scanner à proximité et d'un émetteur de radiodiffusion à quelque distance) ;

- des champs magnétiques BF importants ;
- des liaisons moniteur-capteur formant des boucles et des antennes.

Les travaux à entreprendre devaient donc réduire voire supprimer tout à la fois les champs électriques, les champs magnétiques et les variations de tension constatées.

Lutte contre les champs électriques

- constitution d'une « cage de Faraday » - faradisation - grillage sur les murs, le plancher et le plafond (+ moquette antistatique sur le plancher),
- remplacement des tubes fluorescents par des lampes à incandescence,

- remplacement du gradateur à triac par un autotransformateur variable,
- antiparasitage des interrupteurs.

Lutte contre les champs magnétiques

- déplacement d'une canalisation courant fort, sous schéma TN-C, qui passait dans le local,
- réalisation d'un blindage de la gaine inter-étages qui contient les canalisations électriques

de forte puissance (somme des courants non nulle dans le câble due au fait que le courant de neutre revient en partie à la source par les masses métalliques du bâtiment).

Lutte contre les variations de potentiel des masses et PE de la pièce

- liaisons à la cage de Faraday des radiateurs du chauffage central isolés du reste de l'installation par des manchons isolants,
- déplacement des tuyauteries de gaz médicaux hors de la pièce,
- découplage, par filtre HF et transformateur BT/BT à écran, de toutes les prises électriques

vis-à-vis du réseau de distribution (précédemment ces prises étaient alimentées par plusieurs circuits d'où risque de création de boucles),

- découplage par self de toutes les masses et du PE du local (solution plus économique que de ramener directement le PE à la prise de terre du bâtiment pour réaliser une « terre sans bruit »).

Le réseau électrique de cette pièce spécialisée est ainsi passé du schéma TN-C au schéma TT impédant avec un risque nul vis-à-vis des contacts indirects (Z_L remplace R_B).

Dans cet exemple (illustré par la **figure 21**), qui correspond à un cas réel, l'action d'un

spécialiste éclairé a permis de mettre en œuvre la grande majorité des solutions permettant d'éviter toute perturbation des équipements électroniques sensibles ; ce qui fut le cas.

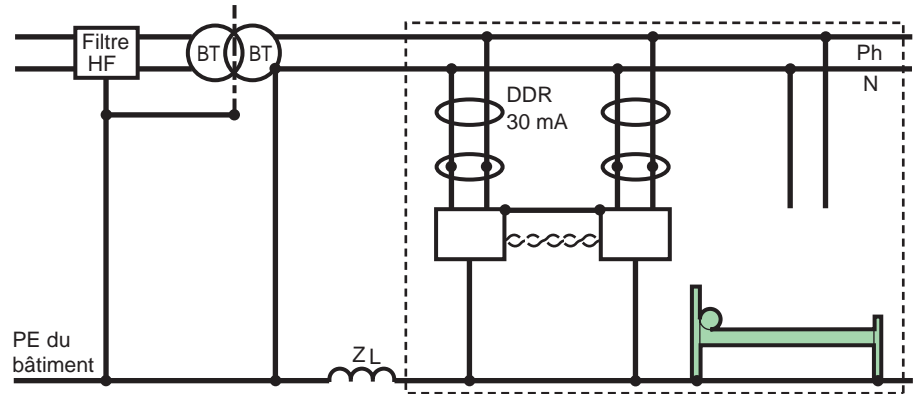


Fig. 21 : alimentation d'un local exempt de perturbations électromagnétiques.

Bibliographie

Normes et décrets

- CEI 60071-2 : Coordination de l'isolement - 2^e partie : Guide d'application.
- CEI 60146-4 : Convertisseurs à semi-conducteurs - 4^e partie : Méthode de spécification des performances et procédures d'essais des alimentations sans interruption.
- CEI 60364 : Installation électrique des bâtiments.
- CEI 60947-2 : Appareillage à basse tension - 2^e partie : disjoncteurs.
- CEI 60950 : Sécurité des matériels de traitement de l'information y compris les matériels de bureau électriques.
- Série CEI 61000 : Compatibilité électromagnétique.
- CISPR 11 : Limites et méthodes de mesure des caractéristiques de perturbations électroniques des appareils industriels scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radio électrique.
- NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension.

Cahiers Techniques Schneider Electric

- La compatibilité électromagnétique. J. DELABALLE, Cahier Technique n° 149.
- Les perturbations harmoniques dans les réseaux industriels, et leur traitement. P. ROCCIA et N. QUILLON, Cahier Technique n° 152.
- Harmoniques en amont des redresseurs des ASI. JN. FIORINA, Cahier Technique n° 160.
- La foudre et les installations électriques HT. B. de METZ NOBLAT, Cahier Technique n° 168.
- Les schémas des liaisons à la terre en BT, (régimes du neutre). B. LACROIX et R. CALVAS, Cahier Technique n° 172.
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions. B. LACROIX, R. CALVAS, Cahier Technique n° 173.
- Surtensions et parafoudres en BT - coordination de l'isolement en BT - Ch. SERAUDIE, Cahier Technique n° 179.

Schneider Electric

Direction Scientifique et Technique,
Service Communication Technique
F-38050 Grenoble cedex 9
Télécopie : 33 (0)4 76 57 98 60
E-mail : fr-tech-com@mail.schneider.fr

Réalisation : AXESS - Valence (26).
Edition : Schneider Electric
- 20 € -