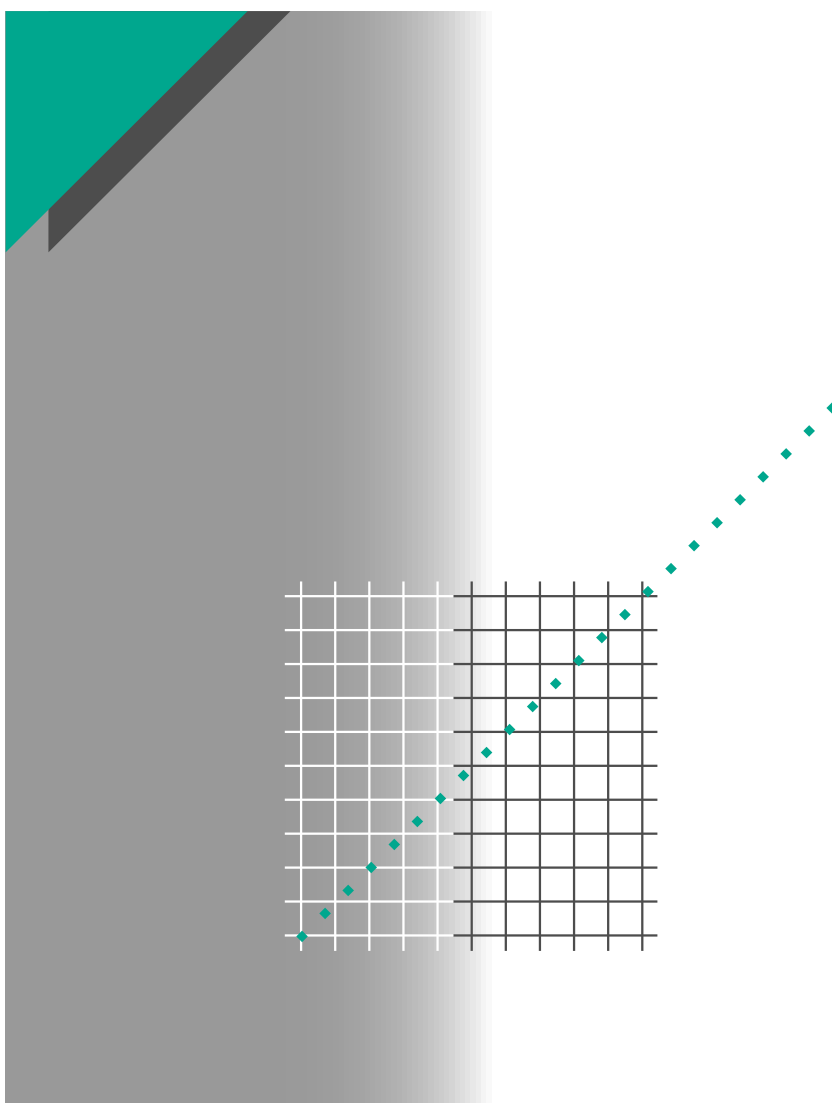


Cahier technique n° 187

Coexistence courants forts - courants faibles

R. Calvas
J. Delaballe



GROUPE SCHNEIDER

■ Merlin Gerin ■ Square D ■ Telemecanique

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.

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

Rubrique : **maîtrise de l'électricité**

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

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

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 n° (à préciser) ».

n° 187

Coexistence courants forts - courants faibles



Roland CALVAS

Ingénieur ENSERG 1964 (Ecole Nationale Supérieure d'Électronique et de Radioélectricité de Grenoble) et diplômé de l'Institut d'Administration des Entreprises, il est entré chez Merlin Gerin en 1966. Lors de son parcours professionnel, il a participé à la pénétration de l'électronique dans la distribution électrique. Il est aujourd'hui en charge de la communication technique du Groupe Schneider.



Jacques DELABALLE

Docteur de l'Université de Limoges en 1980, entre chez Merlin-Gerin en 1986 après sept années passées chez Thomson. Il est responsable des laboratoires CEM du centre d'essais de Schneider Electric. Il est membre du Comité 77 (Compatibilité Electromagnétique) de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI).

Blindage (VEI 195-02-31A) :

Barrière ou enveloppe fournissant une protection contre les dangers mécaniques ($\neq$ écran). Ce terme est encore couramment employé à la place d'écran.

Boucle :

Surface délimitée par deux conducteurs, quelles que soient leurs fonctions, susceptible de perturber par induction électromagnétique un récepteur sensible et/ou communicant.

Boucle de masse :

Boucle constituée par deux conducteurs, l'un étant un conducteur actif (phase et neutre) ou une liaison courant faible, l'autre étant l'un des conducteurs d'une boucle entre masses.

Boucle entre masses :

Boucle constituée par deux conducteurs qui peuvent être le PE, un conducteur d'accompagnement, un écran, une liaison équipotentielle supplémentaire, un élément conducteur (non électrique).

Bus :

Désigne une liaison courant faible qui véhicule des signaux numériques.

Compatibilité électromagnétique**CEM (abréviation) :**

Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

Conducteur d'accompagnement :

Élément conducteur qui accompagne une liaison courant faible afin de réduire au minimum la surface de la boucle formée par la liaison courant faible et le circuit de masse ; ce peut être un conducteur, un chemin de câbles, un écran. Le conducteur d'accompagnement est aussi une liaison équipotentielle fonctionnelle.

Conducteur de protection (PE)**NFC 15-100 § 241-1 :**

Conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes : masses (électriques), borne principale de terre, point de l'alimentation relié à la terre ou au point neutre artificiel.

Courants faibles :

Typiquement, les bus, les signaux Voix-Données-Images. Tous les signaux électriques véhiculant de l'information et non de la puissance.

Courants forts :

Courants et liaisons pouvant véhiculer de la puissance, et principalement liaisons d'alimentation en énergie électrique depuis le réseau de distribution, y compris le conducteur de protection.

Écran (VEI 195-02-32) :

Dispositif destiné à réduire la pénétration d'un champ électrique, magnétique ou électromagnétique dans une région déterminée, ou à envelopper ou séparer des circuits électriques.

Éléments conducteurs :

(étrangers à l'installation électrique)

Parties métalliques des bâtiments, canalisations d'eau, gaz, chauffage, sols et parois non isolantes. Il s'agit de masses non électriques.

Masse :

Pour l'électricien, VEI 195-06-07, NFC 15-100 § 232-9 : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée et qui n'est pas normalement sous tension mais peut le devenir en cas de défaut d'isolement.

Masse/terre fonctionnelle :

Point d'un réseau ou d'un appareil qui doit être mis à la masse/terre pour des raisons autres que la sécurité des personnes.

M.L.I.

Modulation de Largeur d'Impulsion. Permet notamment de contrôler la valeur moyenne du signal de sortie en transformant le signal d'entrée en impulsions de largeur modulable.

Pollueur :

Source de perturbations électromagnétiques. Voir victime.

Queue de cochon :

Raccordement en fil volant enroulé en tire-bouchon. À proscrire pour référencer un blindage à la masse : forte impédance en HF.

Victime :

Récepteur sensible aux perturbations électromagnétiques. Voir pollueur.

Coexistence courants forts - courants faibles

Le développement des systèmes numériques utilisant des liaisons courants faibles (bus) pose aujourd'hui de manière aiguë le problème de la coexistence des courants forts avec les courants faibles.

Globalement il s'agit de concilier sécurité électrique et compatibilité électromagnétique. Ceci conduit entre autre à répondre aux questions :

- comment traiter le problème des masses,
- quel est le bon choix du régime du neutre,
- quels blindages, plans réducteurs, cages de Faraday et pour quoi faire,
- comment doivent cheminer les circuits courants forts et courants faibles,
- etc.

Plutôt destiné à être lu par les électriciens, ce cahier technique doit cependant être utile aux spécialistes des courants faibles car il traite essentiellement des perturbations basse fréquence ≤ 1 MHz.

Sommaire

1	Introduction	1.1 La CEM, une discipline multi-métiers	p.4
		1.2 Rappels sur les perturbations et les couplages	p.4
		1.3 Distinction entre courants forts et courants faibles	p.7
2	Terre et masses	2.1 Prise de terre	p.8
		2.2 Masses	p.10
		2.3 Maillage entre circuits de masses électriques et autres masses	p.12
3	La CEM des appareils électroniques non communicants	3.1 L'auto-perturbation	p.13
		3.2 L'exposition aux champs rayonnés	p.14
		3.3 Les perturbations conduites	p.15
4	La CEM des appareils électroniques communicants	4.1 Exemple de perturbation par impédance commune	p.16
		4.2 Exemple de perturbation par rayonnement	p.18
5	Conclusion		p.20
	Annexe : bibliographie		p.22

1 Introduction

1.1 La CEM, une discipline multi-métiers

La compatibilité électromagnétique – CEM – est une discipline, en forte expansion, qui a débuté avec le développement de la radiodiffusion ; ainsi, il y a un demi-siècle, les « bougies » des moteurs à explosion ont dû être « blindées » pour éviter la perturbation des récepteurs radio.

Aujourd'hui, la CEM a fait l'objet de nombreux travaux d'experts, principalement des électroniciens et des spécialistes des télécommunications. De nombreuses normes et même une directive européenne se sont donné pour objectif d'assurer la coexistence entre pollueurs et pollués ; ceci en fixant des limites d'émission de perturbations électromagnétiques, ainsi que des niveaux d'immunité. Malgré cela, il reste un domaine complexe pour lequel le consensus entre experts n'est pas encore établi : **la coexistence entre les réseaux courants faibles et les réseaux courants forts.**

Sont concernés les appareils électroniques non communicants car ils sont alimentés par le réseau électrique et sensibles aux champs rayonnés BF et HF ainsi qu'aux perturbations conduites, mais plus encore, les appareils qui s'érigent en systèmes communicants à intelligence répartie.

Il s'agit alors de la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques, de la gestion technique des bâtiments (GTB), de la distribution électrique (GTE), des automatismes de process, etc.

Tous ces systèmes, de plus en plus nombreux, mettent en œuvre essentiellement des liaisons numériques dites à courants faibles.

L'informaticien, l'électricien, l'automaticien, l'électronicien ont du mal à se comprendre, à se coordonner dans leurs tâches respectives. Une culture commune doit se mettre en place pour éviter à la conception et à l'installation les dysfonctionnements, voire les destructions de matériels. Les constructeurs doivent contribuer à cette culture commune. Ceci est d'autant plus important que les techniques évoluent :

- les réseaux électriques sont de plus en plus puissants, véhiculent de plus en plus de courants harmoniques, ont un régime du neutre qui peut être pénalisant ;
- les réseaux numériques se multiplient, ont des niveaux électriques de plus en plus faibles, (quelques volts) et des débits de plus en plus élevés (Mégabits par seconde).

Les électriciens et les électroniciens doivent coopérer pour optimiser la CEM dans les installations des bâtiments ; pour améliorer la coexistence courants forts – courants faibles.

Ce document s'intéresse plus aux phénomènes BF qu'aux phénomènes HF, la limite entre BF et HF étant à 1 MHz.

1.2 Rappels sur les perturbations et les couplages

Les perturbations

Les perturbations électromagnétiques sont de nature très variée et leur définition fait intervenir de nombreux critères.

Elles sont permanentes ou temporaires, alternatives ou impulsionnelles, basse ou haute fréquence (au dessus de 1 MHz) ; elles peuvent être conduites ou rayonnées, de mode commun ou de mode différentiel, d'origine interne ou externe au bâtiment.

Les phénomènes perturbateurs considérés en CEM sont nombreux ; nous nous intéresserons ici essentiellement :

- aux courants harmoniques, et aux forts courants de défaut,
 - aux surtensions de manœuvres,
 - aux tensions et courants de choc de foudre.
- Les tensions et courants forts génèrent des champs électromagnétiques.

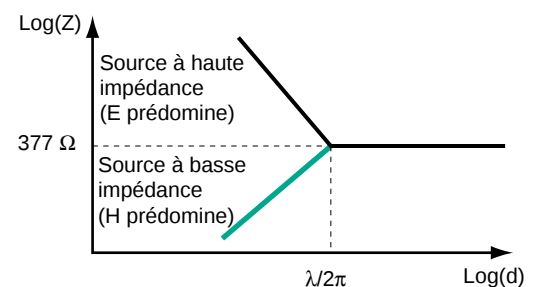


fig. 1 : impédance d'onde $Z = f(d)$.

Rappelons que tout champ électromagnétique est composé d'un champ magnétique H et d'un champ électrique E.

A proximité d'un courant BF, le champ magnétique est prépondérant et ceci jusqu'à une

Emetteur	Fréquence (f)	Longueur d'onde (λ)	Champ
Secteur (1 kA, 1 ph.)	50 Hz	6000 km	20 A/m à 10 m
Foudre	30 kHz à 3 MHz	10 km	10 A/m à 500 m
Four de séchage	27 MHz	11 m	1,5 V/m à 10 m
Manœuvre inter 20 kV	75 MHz	4 m	5 kV/m à 1 m
FM	100 MHz	3 m	1 V/m à 500 m
Radio G.O.	200 kHz	1500 m	30 V/m à 500 m
Talkie-Walkie	450 MHz	66 cm	10 V/m à 1 m
Télévision UHF	600 MHz	50 cm	0,5 V/m à 500 m
Téléphone mobile	900 MHz	33 cm	20 V/m à 1 m
Radar	1 GHz	30 cm	40 V/m à 500 m
Four micro-ondes	2,45 GHz	12 cm	1,5 V/m à 1 m

fig. 2 : quelques émetteurs de perturbations électromagnétiques.

distance de l'ordre de $\lambda/2\pi$... soit 1000 km pour un champ 50 Hz.

A proximité d'une source à haute impédance et haute fréquence, c'est le champ électrique qui est prépondérant, c'est souvent le cas pour les surtensions de manœuvre des réseaux électriques. Au-delà de $\lambda/2\pi$ (pour les sources de dimensions faibles devant la longueur d'onde λ) le rapport entre E et H est constant, c'est l'impédance

$$\text{d'onde : } Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \, \Omega \text{ dans l'air}$$

(cf. fig. 1).

Le tableau de la figure 2 donne quelques exemples d'émetteurs de perturbations avec leur fréquence (valeur moyenne) et les champs

qu'ils peuvent rayonner compte tenu de leurs puissances respectives.

Les couplages

Rappelons enfin que selon la nature de la perturbation, le couplage entre le phénomène pollueur et la victime peut être de type :

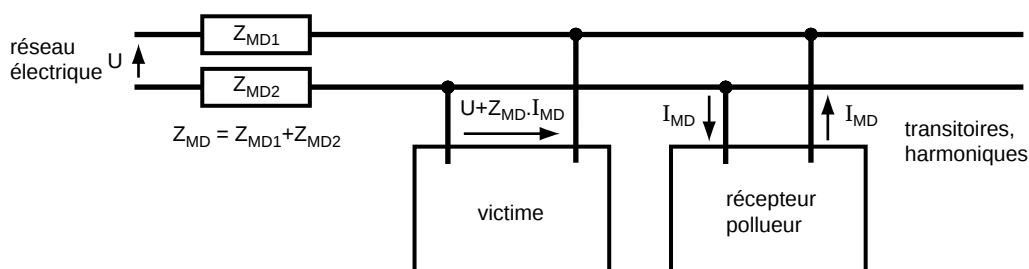
- impédance commune (perturbation conduite),
- électrique (capacité parasite et rayonnement),
- magnétique (inductance mutuelle et rayonnement).

■ Couplage par impédance commune

Il résulte de la présence d'un circuit commun à plusieurs appareils ; ce peut être le réseau d'alimentation, le réseau de masse, le réseau équipotentiel de protection...

La figure 3 illustre ce type de couplage.

a - Couplage de mode différentiel (MD)



b - Couplage de mode commun (MC)

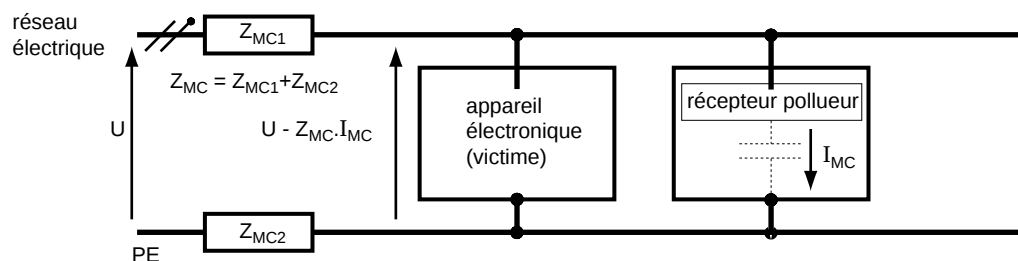


fig. 3 : couplage par impédance commune. Les perturbations générées par une charge polluante agressent un récepteur sensible du fait du non découplage des alimentations (a) ou des circuits de masse (PE) (b).

■ Couplage électrique

Il résulte de la présence soit d'un champ électrique extérieur, soit d'une capacité parasite entre deux circuits ou éléments conducteurs (cf. **fig. 4**).

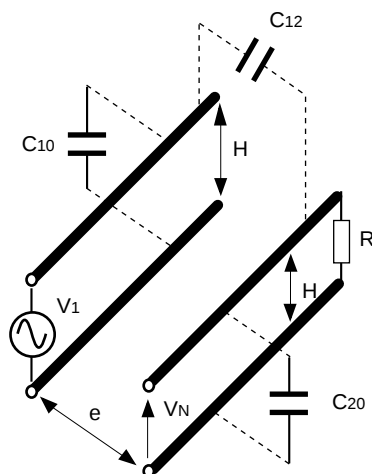


fig. 4 : une variation brusque de tension V_1 entre deux fils génère un champ qui, à faible distance, peut être considéré comme principalement électrique, et induire une tension V_N dans une autre structure filaire qui lui est parallèle. Ce mode de couplage est appelé diaphonie capacitive.

■ Couplage magnétique

Il résulte de la présence soit d'un champ magnétique extérieur, soit d'une mutuelle inductance entre un conducteur et une boucle, comme le montre la **figure 5**.

Dans de nombreux cas, plusieurs de ces couplages peuvent intervenir simultanément. Concernant plus particulièrement la distribution électrique :

□ Les courants de court-circuit (ou de défaut d'isolement en régime TN) produisent des champs magnétiques très importants. Selon le théorème d'Ampère :

$$H = \frac{I}{2\pi d}, \text{ avec } d \text{ distance entre conducteur et victime.}$$

□ La "manœuvre" des appareillages : interrupteurs, contacteurs, disjoncteurs, fusibles, génère des perturbations rayonnées et conduites

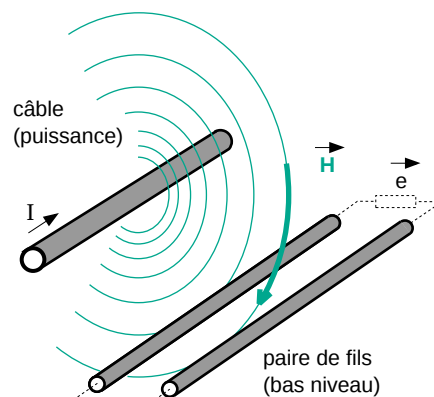


fig. 5 : une variation de courant dans un câble génère un champ qui, à faible distance, peut être considéré comme purement magnétique et induit alors une tension perturbatrice dans des fils formant une boucle. Ce mode de couplage est appelé diaphonie inductive.

variées et importantes qui doivent être maîtrisées par les constructeurs des équipements électroniques intégrés dans les tableaux électriques. Ces "ondes" ont été caractérisées par les normalisateurs (cf. **fig. 6**).

□ La foudre lorsqu'elle tombe sur un bâtiment ou à proximité de celui-ci, ou sur une ligne électrique est un phénomène impulsionnel très perturbateur. Elle peut générer un champ magnétique, un champ électrique, une onde conduite, une différence de potentiel entre deux points électriques de l'installation.

CEI 1000-4-2	Décharges électrostatiques
CEI 1000-4-3	Perturbations rayonnées
CEI 1000-4-4	Transitoires rapides en salves
CEI 1000-4-5	Ondes de choc (type foudre)
CEI 1000-4-6	Perturbations conduites $f > 9$ kHz
CEI 1000-4-8	Champs magnétiques à la fréquence du réseau
CEI 1000-4-9	Champs magnétiques impulsionnels
CEI 1000-4-10	Champs magnétiques oscillatoires amortis
CEI 1000-4-12	Ondes oscillatoires amorties
CEI 1000-4-13	Harmoniques

fig. 6 : quelques normes d'essais aux perturbations.

1.3 Distinction entre courants forts et courants faibles

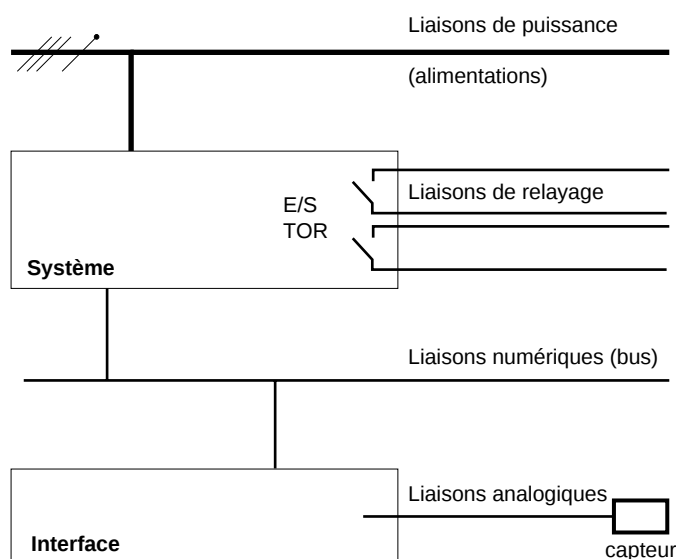
Le qualificatif « courants forts » s'applique aux phénomènes normaux, tels que la circulation d'un courant électrique 50 Hz, ou anormaux tel le courant de foudre. La **figure 7** propose une classification des différentes liaisons électriques en quatre groupes.

- Le groupe 1 est celui des courants forts.
- Le groupe 2 est peu sensible, peu pollueur et correspond généralement à des liaisons courtes.
- Le groupe 3, celui des liaisons numériques (bus)

est en expansion rapide autant dans le tertiaire que dans l'industrie ; les cheminements multiples entre appareils communicants le destinent à cohabiter avec les liaisons « courants forts ».

- Le groupe 4, celui des liaisons analogiques à haute impédance, cohabite peu avec les autres groupes, du fait de sa sensibilité : les liaisons sont rares et courtes.

Une liaison appartenant à un des groupes « courants faibles » 2 ou 3 peut perturber une liaison plus sensible.



4 groupes distincts :

- Groupe 1
peu sensible mais perturbe les groupes suivants.
- Groupe 2
peu sensible mais perturbe les groupes suivants.
- Groupe 3
sensible aux impulsions, perturbe le groupe suivant.
- Groupe 4
très sensible.

fig. 7 : classification des types de liaisons électriques par ordre de sensibilité croissante.

2 Terre et masses

2.1 Prise de terre

Le premier but d'une prise de terre est la protection des personnes

En effet nous sommes sur Terre ! Et il est essentiel que les parties métalliques accessibles des matériels électriques soient reliés à la terre pour éviter une électrocution par contact indirect en cas de défaut d'isolement. Cette disposition est normative depuis 1923 (NFC 15-100 ; CEI 364). Selon le schéma des liaisons à la terre (S.L.T.), le courant de défaut est plus ou moins élevé et des dispositions sont prises pour que la tension de contact ne dépasse pas la tension conventionnelle de sécurité pendant un temps prohibitif : U_L (50 V en c.a.) (cf. les Cahiers Techniques 172 et 173).

Les parties métalliques accessibles des matériels électriques sont reliées aux conducteurs de protection (PE), eux-mêmes reliés à la prise de terre, l'ensemble constituant l'installation de mise à la terre.

Le second but d'une prise de terre est de minimiser les perturbations de mode commun d'origine externe à l'installation B.T.

Il s'agit par exemple de surtension 50 Hz en cas de claquage de transformateur MT/BT (cf. fig. 8) ou de surtension de foudre (cf. fig. 9). A ce propos, en France, la NFC 13-100 impose des valeurs limites de prises de terre.

La foudre, les défauts MT/BT et la sécurité des personnes imposent une prise de terre peu impédante ($I_{h_{MT}}$ peut atteindre 1000 A et la tension d'isolement des matériels sensibles est de 1500 V !). Ce problème est à gérer surtout en régime du neutre TT.

Bien sûr, il faut éviter les prises de terre multiples, à moins qu'elles soient interconnectées.

La prise de terre peut être un ou plusieurs piquets enfoncés dans le sol ou une boucle à fond de fouille, ou les deux solutions associées.

$$\text{Pour un piquet, } R_p = \frac{\rho}{L}$$

$$\text{Pour la boucle à fond de fouille, } R_{FF} = 2 \frac{\rho}{L}$$

avec L longueur du piquet ou périmètre de la boucle. La prise de terre doit être un conducteur plein en cuivre ou acier inoxydable pour limiter l'oxydation. La résistivité du sol (ρ) est un paramètre important ; il varie avec l'humidité du sol et avec sa nature dans une plage très étendue : 1 à 5000 $\Omega \cdot m$. Il est important de

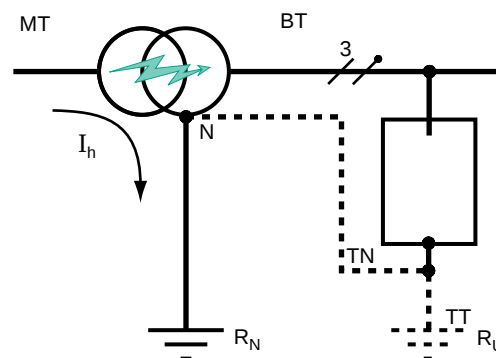


fig. 8 : claquage MT/BT ; le réseau monte en potentiel par rapport à la terre ; $U = R_N \cdot I_h$ d'où risque pour le matériel en schéma TT ou pour les personnes en schéma TN si le bâtiment n'est pas totalement équipotentiel.

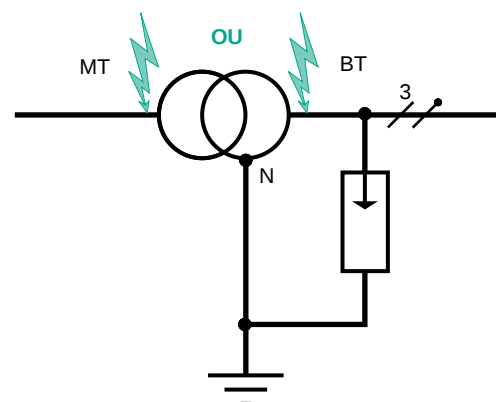


fig. 9 : surtension de foudre ; le réseau subit une surtension impulsionnelle sur tous les conducteurs actifs, d'où risque « C.E.M. » important : nécessité d'utiliser des parafoudres quel que soit le schéma des liaisons à la terre.

mettre de la « bonne » terre en fond de fouille, autour du conducteur de boucle (cf. fig. 10).

L'impédance d'une prise de terre varie peu entre 50 Hz et 500 kHz.

Si le bâtiment est équipé de paratonnerre, les descentes du paratonnerre sont à relier à des prises de terre en patte d'oie. Tous les conducteurs qui risquent d'avoir à véhiculer des courants de foudre devraient être des conducteurs plats, ce qui réduit le coefficient de self-induction et l'effet de peau, et donc fortement la chute de tension linéique (cf. fig. 11).

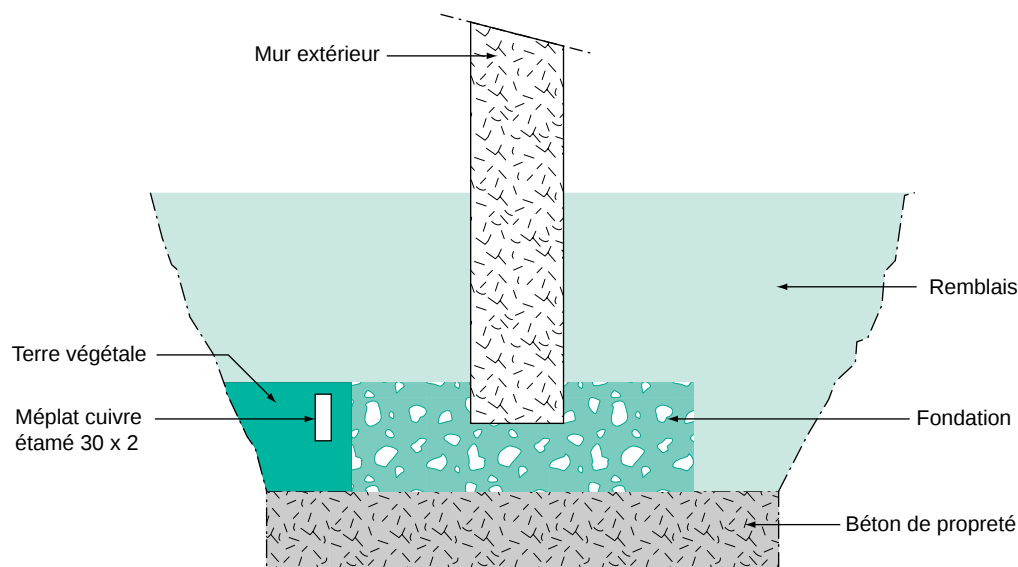


fig. 10 : prise de terre ; réalisation d'une boucle à fond de fouille.

■ La résistance en continu d'un conducteur est $R_C = \rho \ell / s$, soit $R_C = 1,7 \text{ m}\Omega$ pour un conducteur cylindrique en cuivre de section 100 mm^2 et de longueur 10 m . Quand la fréquence augmente, l'effet de peau accroît cette résistance. En effet, les courants HF se concentrent à la périphérie du conducteur sur une profondeur $\delta = (\pi f \mu \sigma)^{-1/2}$ qui diminue avec la fréquence. δ est appelée profondeur de peau.

Pour le cuivre, $\delta_{(50 \text{ Hz})} = 9,3 \text{ mm}$,
 $\delta_{(1 \text{ MHz})} = 65,8 \text{ }\mu\text{m}$,
 $\delta_{(10 \text{ MHz})} = 21 \text{ }\mu\text{m}$.

Par conséquent, la section effective du conducteur décroît. Le rapport entre R_{HF} et R_C est donné dans le cas d'un conducteur cylindrique de rayon r par :

$$\frac{R_{HF}}{R_C} = \frac{1}{4} + \left[\left(\frac{r}{2\delta} \right)^6 + 0,178 \right]^{1/6} \approx 0,25 + \frac{r}{2\delta}$$

Cette formule n'est valable que si le rayon r du conducteur est supérieur à la profondeur de peau δ .

Notre conducteur en cuivre est tel que :

- à 50 Hz : $R_{HF} = R_C = 1,7 \text{ m}\Omega$
- à 1 MHz : $R_{HF} = 43,1 R_C = 73 \text{ m}\Omega$
- à 10 MHz : $R_{HF} = 135 R_C = 230 \text{ m}\Omega$

■ La self-inductance $L(\mu\text{H})$ d'un conducteur de longueur ℓ est :

□ pour un conducteur cylindrique :

$$0,2\ell \left[2,303 \log_{10} \frac{4\ell}{d} - 1 + 100\mu_r \cdot \delta \right]$$

□ pour un conducteur de section rectangulaire :

$$0,2\ell \left[2,303 \log_{10} \frac{2\ell}{w+e} + 0,5 + 0,2235 \frac{w+e}{\ell} \right]$$

ℓ , d (diamètre), δ , w (largeur), e (épaisseur) sont exprimés en mètres.

Dimensions			Inductance	Impédance Z		
d (mm)	w (mm)	e (mm)	L(μH)	à 50 Hz (Ω)	à 1 MHz (Ω)	à 10 MHz (Ω)
11,28			16,2*	0,0068	90	900
	10	10	14,8	0,00635	93	930
	50	2	12,9	0,00575	81	810
	100	1	11,6	0,00535	73	730
	500	0,2	8,4	0,00435	53	530

Self-inductance et impédance d'un conducteur en cuivre de longueur 10 m , de section 100 mm^2 en fonction de sa géométrie.

(*) dans ce tableau la self-inductance du conducteur cylindrique est donnée à 50 Hz . En HF le terme $100 \mu_r \cdot \delta$ devient négligeable et $L \approx 14,35 \text{ }\mu\text{H}$ devient, comme pour le

conducteur de section rectangulaire, indépendante de la fréquence. Enfin, il est à noter qu'en HF, l'impédance $Z = 2\pi \cdot f \cdot L$ devient prépondérante devant la résistance R_{HF} .

fig. 11 : impédance des conducteurs en fonction de leur géométrie et de la fréquence.

Il est essentiel que ces conducteurs soient les plus courts possibles. Prenons en exemple, le cas d'un parafoudre BT prévu pour limiter la tension de mode commun à 1,5 kV. S'il est raccordé entre la phase protégée et la barrette de terre par un conducteur de section circulaire de 1m de long, avec un courant de 5 kA et un front de montée de 8 μ s, celui-ci va développer une tension :

$$\hat{U} \approx L \frac{di}{dt} = 110^{-6} \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} = 625 \text{ V}$$

d'où une surtension totale de 2,1 kV qui est dangereuse car beaucoup d'équipements ont une

tenue à la tension de choc de 1,5 kV. La solution consiste à raccorder l'utilisation directement aux bornes du parafoudre (cf. **fig. 12**).

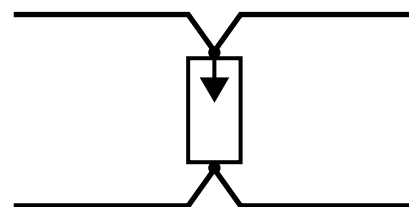


fig. 12 : raccordement optimal d'un parafoudre.

2.2 Masses

Types de masses

Il existe dans un bâtiment différentes masses métalliques. Citons :

- Les carcasses métalliques des récepteurs électriques et équipements électroniques,
- les structures métalliques des bâtiments,
- les canalisations et équipements d'eau, de gaz,
- les masses fonctionnelles des équipements électroniques qui participent à la transmission de signaux (0 volt),
- les masses de type écran et cage de Faraday qui ont pour but de bloquer les champs électromagnétiques.

Comme pour la terre, les circuits de masse ont deux finalités.

Première finalité : la protection des personnes

Il peut exister des potentiels dangereux entre les carcasses métalliques, les canalisations de gaz, d'eau, les structures métalliques des bâtiments. Donc, pour la protection des personnes toutes les masses simultanément accessibles doivent être interconnectées. Le bâtiment doit être rendu équipotentiel. C'est la raison pour laquelle les normes d'installation indiquent que toutes les

masses sus-citées doivent être reliées à la liaison équipotentielle principale quel que soit le schéma de liaison à la terre (cf. **fig. 13**). La mise à la terre des masses des récepteurs forme un réseau équipotentiel de protection en étoile, avec distribution arborescente des conducteurs de protection (PE) puisqu'ils sont dans les mêmes câbles que les conducteurs actifs.

Deuxième finalité : la sûreté de fonctionnement des systèmes électroniques

Ceux-ci sont plus sensibles que les humains aux différences de potentiel et rayonnements électromagnétiques. Ils nécessitent, outre des dispositifs de blocage des perturbations conduites, des plans de masse, des écrans et des cages de Faraday pour bloquer les champs électromagnétiques, et des « circuits » de masse d'équipotentialité, particulièrement lorsqu'il s'agit d'appareils communiquant à l'aide de bus de transmission de données. Dans ce cas l'équipotentialité des masses doit être la meilleure possible dans le bâtiment car les appareils communicants, qu'ils soient dédiés au contrôle-commande ou à l'informatique peuvent être géographiquement éloignés sur un étage, voire situés à des étages différents.

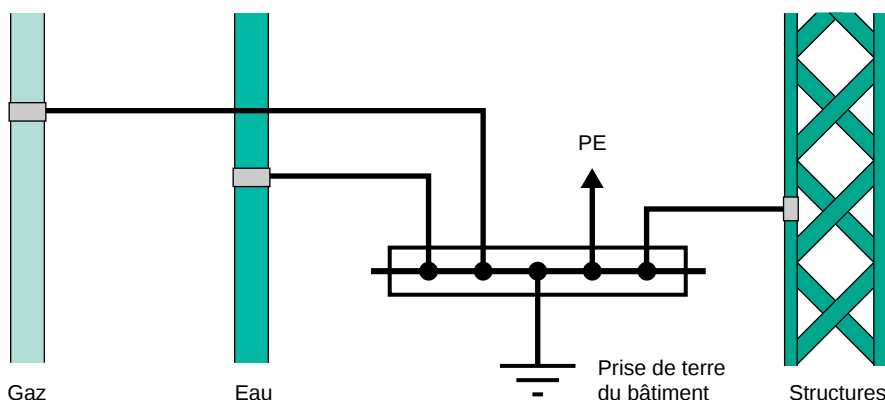


fig. 13 : raccordement de toutes les masses à la liaison équipotentielle principale.

Solution

La solution est un réseau de masse maillé ; ceci pour plusieurs raisons :

■ La lutte contre les champs électromagnétiques de foudre.

La foudre peut frapper directement le bâtiment. Dans ce cas, si un seul conducteur de descente de paratonnerre est utilisé, le courant de foudre va entraîner :

- l'apparition d'un champ magnétique très important dans le bâtiment,
- un champ électrique impulsionnel dû à la tension très élevée développée dans le

conducteur de descente ($v = \ell L \frac{di}{dt}$).

La solution est le maillage vertical : un conducteur de descente tous les 10 m par exemple.

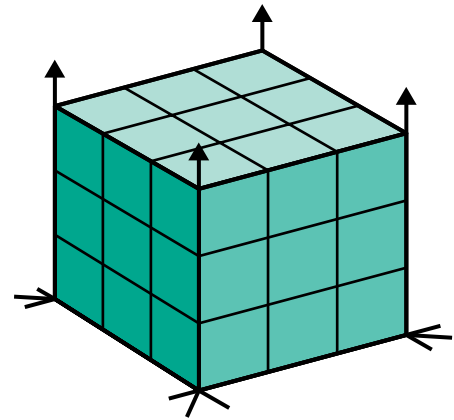
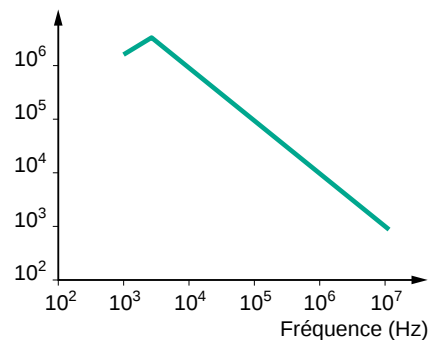


fig. 14 : maillage horizontal et vertical du bâtiment. Il constitue une cage de Faraday.

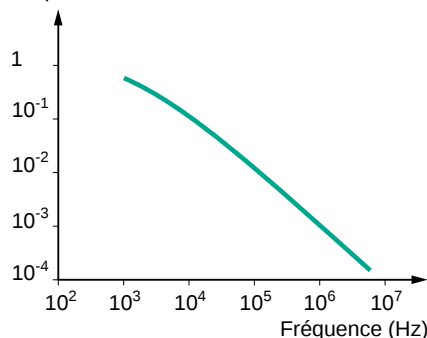
a - Densité spectrale moyenne d'amplitude des champs électromagnétiques des éclairs (courbe de PIERCE)

Amplitude crête du champ ($\mu V/m$) à 10 Km de l'éclair



b - Spectre en fréquence de l'onde de foudre normalisée (1,2 / 50 μs)

Amplitude relative



L'arc en retour est assimilable à une antenne verticale, de plusieurs kilomètres de hauteur, parcourue par un courant crête de plusieurs dizaines de kiloampères. Cette antenne rayonne un champ électrique et un champ magnétique qui décroissent en $1/D$ au-delà d'une distance

$$d = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{c}{2\pi f}$$

$$d = 50 \text{ m à } 1 \text{ MHz.}$$

L'arc en retour est un courant impulsionnel dont le contenu fréquentiel est très riche (large spectre de fréquence) et très variable d'un coup de foudre à un autre. La **figure 15a** représente l'allure du spectre moyen caractéristique des éclairs, obtenu à partir de nombreuses mesures de champ en plusieurs points du monde.

Les normalisateurs de la CEI ont retenu pour les tensions induites sur les réseaux électriques une onde, dite 1,2/50 μs , dont le spectre est donné par la **figure 15b**. Il correspond bien à la courbe de Pierce.

fig. 15 : spectre en fréquence du phénomène électromagnétique « foudre ».

L'avantage est la division des courants donc des champs magnétiques et l'auto-atténuation de ceux-ci à l'intérieur du bâtiment du fait qu'ils s'opposent entre eux.

La foudre peut tomber à proximité du bâtiment. Dans ce cas pour protéger les installations

intérieures du bâtiment il faut constituer une cage de Faraday et donc rajouter au maillage vertical un maillage horizontal (cf. **fig. 14**).

Si l'on considère que le spectre en fréquence de la foudre (cf. **fig. 15**) est essentiellement d'un point de vue énergétique inférieur à 1 MHz et

que la cage est efficace pour un pas de $\lambda/30$, la

$$\text{maille doit \u00eatre } \frac{c}{30f} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^7} = 10 \text{ m.}$$

■ En local, la r\u00e9duction des champs \u00e9lectro-magn\u00e9tiques gr\u00e2ce \u00e0 l'effet de plan de masse.

Si un \u00e9quipement sensible ou un bus de communication est pos\u00e9 sur une surface conductrice, il est moins expos\u00e9 aux champs \u00e9lectromagn\u00e9tiques car celle-ci d\u00e9veloppe un champ qui s'oppose au champ perturbateur.

C'est pour cette raison que les salles informatiques ont un plancher maill\u00e9 et que les câbles courants faibles sont plac\u00e9s sur des chemins de câbles m\u00e9talliques.

■ La minimisation des imp\u00e9dances des circuits de masse entre deux points quelconques.

Un conducteur en cuivre voit son imp\u00e9dance cro\u00eetre avec la fr\u00e9quence du courant qu'il v\u00e9hicule (inductance et effet de peau). Ainsi \u00e0 1 MHz, Z est de l'ordre de 10 Ω par m\u00e8tre. Si le courant perturbateur peut emprunter de multiples trajets, l'\u00e9quipotentialit\u00e9 est fortement am\u00e9lior\u00e9e.

2.3 Maillage entre circuits des masses \u00e9lectriques et autres masses

Nous venons de voir que les circuits de mise \u00e0 la terre d\u00e9di\u00e9s \u00e0 la protection des personnes sont en \u00e9toile (arborescents pour le conducteur de protection) et que pour la s\u00fbret\u00e9 de fonctionnement des syst\u00e8mes \u00e9lectroniques il \u00e9tait n\u00e9cessaire d'avoir un seul circuit de masse maill\u00e9. Th\u00e9oriquement, ces circuits peuvent \u00eatre s\u00e9par\u00e9s dans le b\u00e2timent m\u00eame s'ils sont reli\u00e9s \u00e0 la m\u00eame prise de terre.

M\u00eame si les normes d\u00e9finissent plusieurs types de r\u00e9f\u00e9rences de potentiel (cf. **fig. 16**), dans la pratique, peu d'appareils, de syst\u00e8mes \u00e9lectriques et \u00e9lectroniques font ces distinctions. Par exemple la notion de terre sans bruit est tr\u00e8s contestable et en voie de disparition vu le d\u00e9veloppement des syst\u00e8mes communicants et la multitude d'interconnexions.

En haute fr\u00e9quence, les capacit\u00e9s parasites rendent ces distinctions encore plus illusoires. Il faut donc relier dans les nouveaux b\u00e2timents, le r\u00e9seau \u00e9quipotentiel de protection (masses \u00e9lectriques) et le r\u00e9seau \u00e9quipotentiel fonctionnel (autres masses) r\u00e9alisant ainsi un seul r\u00e9seau de liaisons \u00e9quipotentiell\u00e9es. Ce r\u00e9seau doit

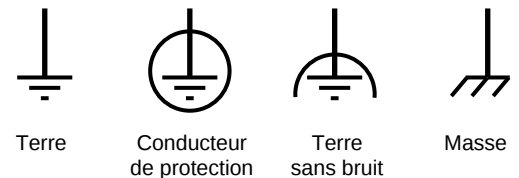


fig. 16 : exemples de symboles de terres et masse selon NF C 03-202.

assurer l'int\u00e9grit\u00e9 des liaisons de protection (PE) ; s\u00e9curit\u00e9 des personnes oblige. Il n'y a pas \u00e0 opposer r\u00e9seaux en \u00e9toile courants forts et r\u00e9seaux maill\u00e9s n\u00e9cessaires pour les courants faibles.

Dans les b\u00e2timents existants, il convient de pratiquer l'interconnexion des masses entre mat\u00e9riels sensibles (s'ils communiquent), am\u00e9liorer la continuit\u00e9 \u00e9lectrique des chemins de câbles et cr\u00e9er si n\u00e9cessaire des plans de masse maill\u00e9s.

3 La CEM des appareils électroniques non communicants

Le terme « non communicant » signifie qu'aucune liaison courant faible n'entre ou ne sort de l'appareil. Le qualificatif "isolé" ne peut être utilisé car cet appareil est alimenté par le secteur, lié à son environnement électrique par des capacités parasites et influencé par les champs électromagnétiques. C'est par exemple un micro-ordinateur (sans son imprimante). Ce cas est en apparence simple, car les constructeurs doivent respecter les normes qui

fixent les limites d'émission et les niveaux d'immunité.

Toutefois, il peut être nécessaire de prendre des précautions particulières lorsque l'environnement électromagnétique est très sévère ou lorsqu'il y a des récepteurs très sensibles à proximité.

Ces précautions sont indispensables vis-à-vis des risques d'auto-perturbation, de présence de champs rayonnés et de perturbations conduites dues aux « courants forts ».

3.1 L'auto-perturbation

Beaucoup d'équipements font aujourd'hui appel à l'électronique de puissance ; citons par exemple les alimentations à découpage dont l'emploi se généralise dans le domestique, le tertiaire et l'industrie.

La **figure 17** donne un schéma d'une alimentation à découpage et montre les perturbations qu'elle génère.

Ces équipements utilisent des transistors de puissance qui commutent à plusieurs dizaines de kHz, voire bien plus pour les faibles puissances, avec des di/dt et des dV/dt impressionnants (quelques centaines d'ampères par microseconde par exemple). La CEM intrinsèque est nécessaire au bon fonctionnement ; elle est généralement gérée à

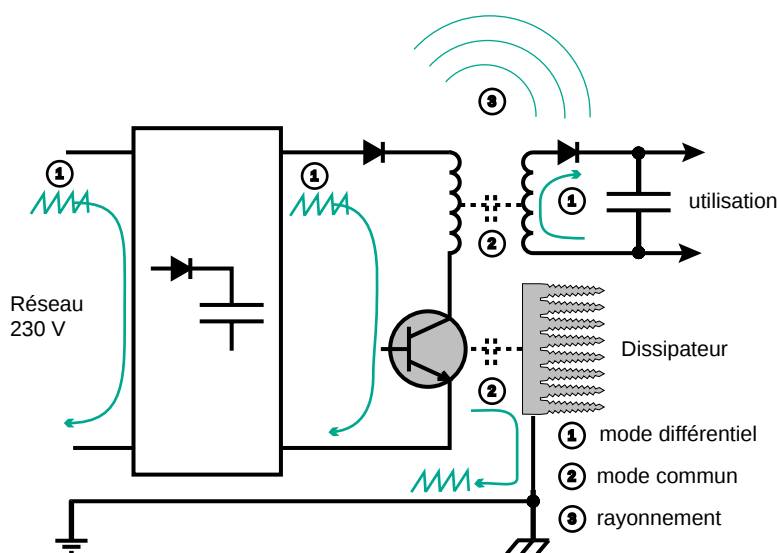


fig. 17 : différentes perturbations produites par une alimentation à découpage.

la conception : routage des cartes (cf. **fig. 18**), limitation des capacités parasites, blindages, filtres HF côté secteur, éloignement des câbles pollueurs etc. et fait l'objet de tests. Malgré cela, il existe des risques de perturbations

dus, notamment, à la mise en œuvre des appareils qui est très souvent différente de celle des essais normatifs ; par exemple liaisons de mise à la masse insuffisantes, trop longues, aptes au couplage par impédance commune, etc.

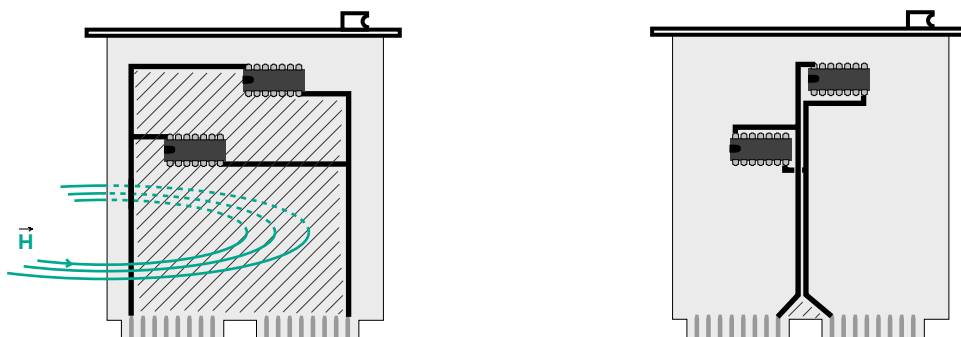


fig. 18 : couplages inductifs dus à la présence de boucles ; le tracé de gauche présente deux grandes boucles pour l'alimentation des deux circuits ; le tracé de droite est préférable.

3.2 L'exposition aux champs rayonnés

Champs électriques

Les champs électriques environnants agissent par effet d'antenne dans l'appareil victime et sur les circuits (50 Hz) qui l'alimentent.

Les parades sont :

- Minimiser les effets d'antenne, par exemple aucun conducteur libre (en l'air) à une extrémité, conducteurs proches des masses.
- L'utilisation de filtres HF sur le câble d'alimentation pour bloquer les perturbations entrantes induites.
- La faradisation avec des ouvertures de dimensions réduites.

Champs magnétiques

L'atténuation procurée par les blindages dépend essentiellement de l'absorption. Elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur de peau (δ) ; celle-ci en ce qui concerne l'acier est de 0,07 mm à 30 kHz, et de 1,7 mm à 50 Hz. Elle est de 10 mm pour le cuivre à 50 Hz ! (l'atténuation est de 8,7 dB pour une épaisseur de métal $e = \delta$).

Ceci montre que les blindages efficaces en basse fréquence sont très difficiles et coûteux à réaliser, de plus certaines ouvertures ou fentes laissent pénétrer l'induction par effet de dipôle magnétique (cf. **fig. 19**).

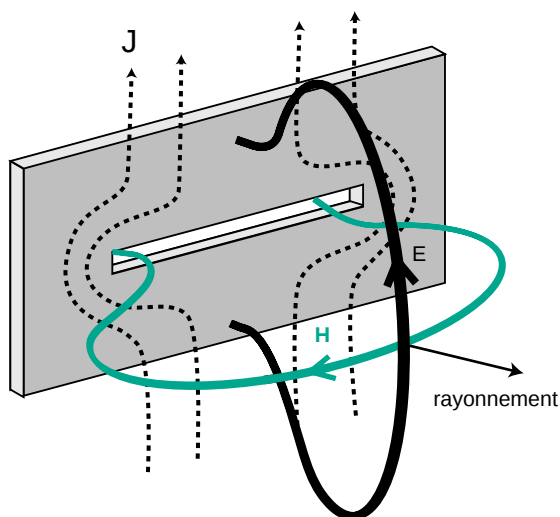


fig. 19 : couplage par fente.

Une ouverture de longueur ℓ dans un écran se comporte comme un dipôle de même longueur (principe de Babinet) et re-rayonne de l'autre côté de l'écran une partie du champ incident. Cette transparence de l'ouverture devient totale quand $\ell \geq \lambda/2$. En dessous de sa fréquence de résonance, c'est-à-dire quand $\ell < \lambda/2$, ce qui est une condition rencontrée dans le cas des phénomènes basse fréquence, une fente peut être assimilée à une inductance qui vaut environ 1 nH/cm. Un courant surfacique J coupé par une telle fente génère entre ses bords une d.d.p. et du champ magnétique passe à travers. Elle rayonne alors un champ électrique E perpendiculaire et un champ magnétique H (il est prépondérant) parallèle à sa longueur.

Le champ magnétique qui pénètre dans l'enveloppe et/ou ceux qui sont générés dans l'armoire par les courants forts, induisent dans les boucles des tensions de mode commun et de mode différentiel.

A noter que les perturbations conduites d'origine magnétique BF qui arrivent par le câble d'alimentation sont très mal atténuées par les filtres classiques, qualifiés de « HF » !

Dans les bâtiments, les champs magnétiques rayonnés sont d'origine diverse, citons la foudre, le flux de fuite des transformateurs, les circuits d'alimentation et d'utilisation des convertisseurs statiques ainsi que les conducteurs de protection en régime du neutre TN-C. Ce cas est illustré par la **figure 20**.

Prenons le cas d'une descente de câble de puissance dans une gaine technique d'un bâtiment. Le régime du neutre est la mise au neutre (TN-C), le conducteur de protection (PE) qui est aussi le conducteur de neutre (N) est parcouru en permanence par le courant de déséquilibre des charges (de neutre) augmenté des courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3. Ces courants harmoniques sont de plus en plus importants du fait de l'utilisation de charges non-linéaires comme les convertisseurs statiques et notamment les alimentations à découpage.

A cause du courant dérivé dans les structures métalliques, la somme vectorielle des courants dans le câble est non nulle.

Ce courant différentiel qui peut être de plusieurs dizaines d'ampères va générer, à une distance d , un champ magnétique $H = I/2\pi d$ perturbateur.

A titre d'exemple un courant de 63 A génère, à 10 m, un champ de 1 A/m qui est suffisant par exemple pour perturber les tubes cathodiques, mais aussi certains composants magnétiques, sachant que les « blindages » HF ne bloquent

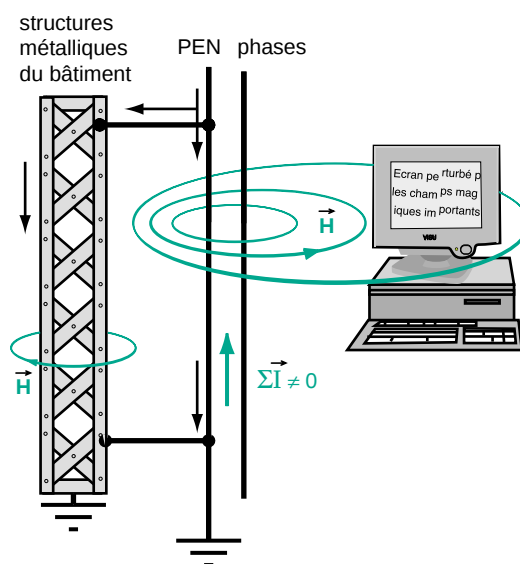


fig. 20 : rayonnement magnétique dû au courant de neutre ou de défaut en schéma TN-C.

pas les champs magnétiques BF. A noter que le champ magnétique développé en cas de défaut d'isolement, toujours en schéma TN, est très important ($I_d = I_{cc}$).

Vis-à-vis des champs magnétiques basse fréquence, les parades sont :

- l'éloignement,
- les câbles de puissance intégrant : phase, neutre et conducteur de protection (les câbles unipolaires sont dans toute la mesure du possible à éviter),
- un bon choix du régime du neutre,
- les chemins de câbles métalliques (plan réducteur),
- l'utilisation d'enveloppes métalliques, de préférence ferromagnétiques.

3.3 Les perturbations conduites

Au delà de 1 MHz, l'impédance des câbles limite rapidement leur niveau ($L = 1 \mu H/m$). Les perturbations gênantes sont donc essentiellement les harmoniques, les surtensions de manœuvre, les tensions et courants de foudre.

■ Les tensions harmoniques sont en général peu gênantes pour les appareils non communicants ; elles peuvent perturber par exemple les redresseurs contrôlés (par décalage du passage à zéro qui sert de référence de phase).

■ Les courants harmoniques peuvent générer par diaphonie inductive des perturbations conduites.

■ Les surtensions de manœuvre et de foudre peuvent entraîner des dysfonctionnements, voire des destructions de composants. La parade consiste en la mise en œuvre de limiteurs de surtensions (parafoudres), voire d'absorbeurs d'onde qui associent filtres, parafoudres, transformateur à écran ; ces derniers atténuent les perturbations HF, mais surtout bloquent les tensions BF de mode commun.

4 La CEM des appareils électroniques communicants

Les systèmes communicants sont plus sensibles aux perturbations que les appareils non communicants, car les liaisons numériques sont à très faible niveau et plus exposées aux perturbations générées par impédance commune et rayonnement. Les signaux numériques sont particulièrement sensibles aux phénomènes transitoires.

Leur susceptibilité est augmentée par la longueur croissante des liaisons et la multiplication des sources de perturbations.

Concernant les perturbations de fréquence inférieure à 1 MHz, les phénomènes à prendre en compte sont encore ici essentiellement le 50 Hz et ses harmoniques, les surtensions de manœuvre et le phénomène foudre.

Les surtensions de manœuvre sont généralement de mode différentiel et doivent être bloquées de préférence à l'émission par l'emploi de limiteurs de surtensions (circuits RC - limiteurs ZnO...). Nous ne traiterons pas ce sujet dans ce Cahier Technique (cf. CT n° 179).

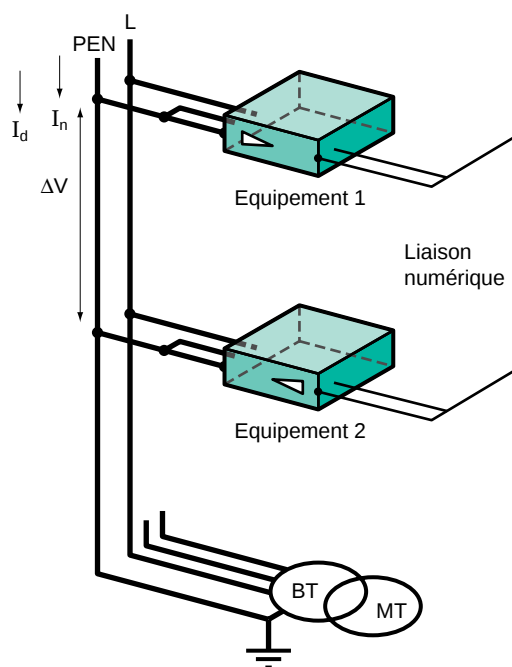


fig. 21 : schéma TN-C ; le courant de neutre développe des différences de potentiels qui perturbent les références de tension des liaisons numériques ; le courant de défaut d'isolement (plusieurs kA) développe un ΔV destructeur.

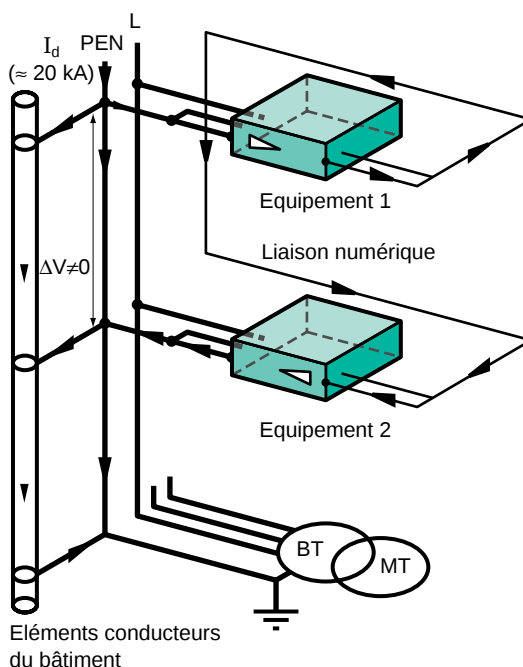


fig. 22 : schéma TN-C avec maillage ; le ΔV permanent (déséquilibre, harmoniques multiples de 3) et temporaire (défaut) est atténué ; mais « courants vagabonds » : risque d'incendie et champs magnétiques perturbateurs, y compris au niveau des câbles de puissance (cf. **fig. 20**).

4.1 Exemple de perturbation par impédance commune

Prenons deux appareils communicants qui font partie d'un système à "intelligence répartie" et qui sont alimentés par le même réseau électrique.

Examinons ce qui se passe lors d'un défaut d'isolement (cf. [fig. 21](#)) :

En absence de maillage en schéma TN-C, le défaut d'isolement entraîne la circulation d'un courant de court-circuit I_d .

La chute de tension ΔV dans le conducteur d'équipotentialité électrique peut dépasser la moitié de la tension simple (section PE < section phase). Cette tension se retrouve entre les masses des deux appareils, ce qui perturbe la communication, voire détruit, en l'absence de protections adaptées, les émetteurs/récepteurs de

la liaison numérique. En effet si le câble courant faible est coaxial, le ΔV va s'appliquer en mode différentiel. Les [figures 22, 23 et 24](#) montrent ce qui se passe en cas de maillage des masses dans les divers schémas de liaison à la terre (au deuxième défaut en schéma IT les risques sont identiques à ceux que présente le TN-S).

A noter que si le maillage de toutes les masses est très important le problème du ΔV n'existe plus en régime TN mais le courant de défaut d'isolement est alors supérieur à l'icc tri (impédance du circuit de retour au neutre très faible).

Que faut-il en conclure pour les bâtiments existants ou nouveaux ne disposant pas d'un maillage des masses suffisant ?

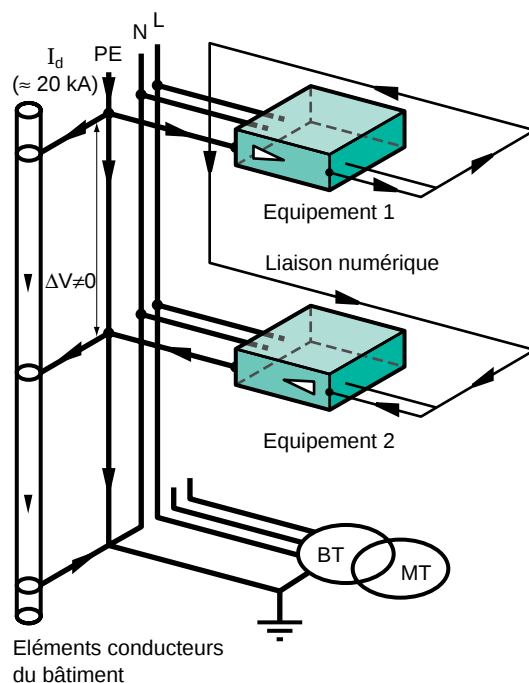


fig. 23 : schéma TN-S, ΔV temporaire ; le courant de défaut dans le câble de protection détruit temporairement l'équipotentialité ; le PE étant relié aux structures, il y a division des courants et des champs magnétiques comme sur la [figure 20](#).

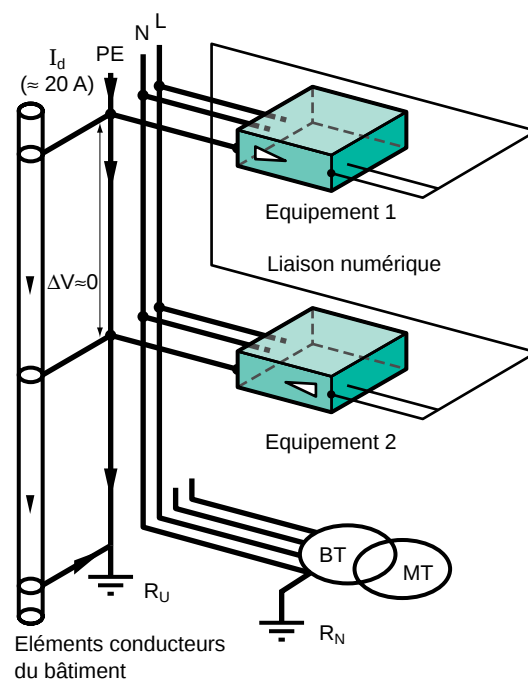


fig. 24 : schéma TT ; le faible courant dans le PE ne perturbe pas l'équipotentialité des références de potentiel des électroniques communicantes (R_{PE} faible devant R_U et R_N , et I_d faible) les champs magnétiques et les ΔV sont 1000 fois plus faibles qu'en TN-C ou TN-S.

■ Éviter les régimes du neutre qui génèrent, en cas de défaut d'isolement, un courant de court-circuit (cf. **fig. 24**).

■ Diviser les courants de défaut en reliant les masses aux structures métalliques du bâtiment en de nombreux points. Le ΔV sera minimisé... mais le rayonnement des câbles

de puissance incluant le PE est à maîtriser (cf. champs rayonnés, dans le chapitre précédent).

■ Utiliser de préférence des liaisons à paire torsadée blindée, le courant circulant dans le blindage ayant un effet limité vu la faible impédance de transfert.

4.2 Exemple de perturbation par rayonnement

Prenons le cas de deux ordinateurs en réseau (cf. **fig. 25a**) 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 25.10^9 A/s ($\hat{I} = 25$ kA ; $t_m = 1$ μ s).

Si la boucle, formée par le réseau 50 Hz et les liaisons numériques (cf. **fig. 25a**) présente une surface de 50 m² 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 ?

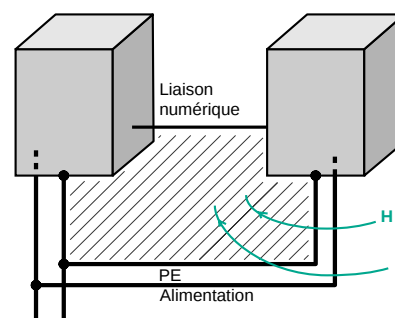
Minimiser la surface des boucles, câbles de puissance, câbles courants faibles ; en effet si la boucle est ouverte une tension dangereuse pour l'électronique est développée et si elle est fermée, le courant induit va (impédance de transfert) perturber le signal, voire détruire les circuits émetteurs-récepteurs. La **figure 25a** montre que la boucle peut être de grande dimension.

Un conducteur d'accompagnement, ou un chemin de câble ou un tube métallique (cf. **fig. 25b**) permet de minimiser la surface de la boucle.

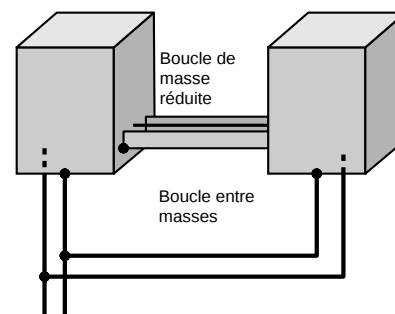
Mais attention, on a ainsi créé une boucle entre masses. La liaison conductrice entre les deux équipements communicants doit donc être de faible impédance pour ne pas développer de tension induite entre les masses des équipements communicants (éviter les queues de cochons)... Il faut noter que si cette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

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

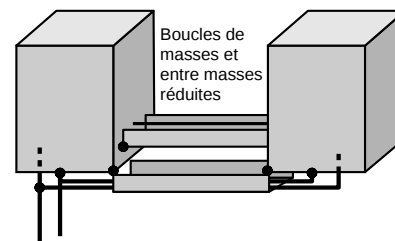


fig. 25 : perturbation d'une liaison numérique par boucle inductive et remède.

courants et/ou un régime du neutre à faible courant de défaut.

Dans tous les cas il est sage d'appliquer la solution de la **figure 25c** dans laquelle la boucle de courant fort/faible est supprimée, ainsi que la boucle entre masses. Trois conducteurs sont en parallèle : les deux chemins de câbles et le conducteur de protection (PE). Les chemins de câbles doivent de préférence être différents, suivre le même trajet, et être proches : cas d'une colonne montante par exemple. Au niveau d'un étage (courants forts d'intensité réduite) les câbles de puissance et de signaux peuvent être sur le même chemin de câbles (cf. **fig. 26**).

La distance entre câbles de puissance et de signaux sur un chemin de câbles métallique dépend de beaucoup de facteurs :

- immunité des appareils communicants,
- aptitude des protocoles de communication à gérer les messages perturbés,
- longueur de parcours commun,
- intensité véhiculée par les câbles électriques,

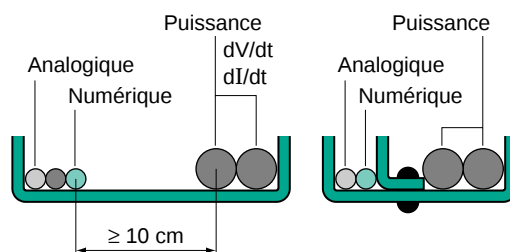


fig. 26 : séparation des conducteurs de natures différentes dans un même chemin de câbles.

- câble intégrant le PE ou conducteurs unipolaires,
- caractéristiques électriques des signaux (niveau électrique, fréquence, impédance...).

Les constructeurs de matériels communicants préconisent une distance minimale, généralement 30 cm, mais seul un expert peut donner une recommandation au cas par cas.

5 Conclusion

Ce cahier technique a montré que divers corps de métiers sont concernés par la coexistence courants forts - courants faibles. Nous n'avons pas traité des logiciels de communication dont les concepteurs doivent prévoir la possible perturbation et tenter d'y faire face. Les électroniciens, les électriciens les automaticiens, les informaticiens doivent coopérer pour la conception et la réalisation des installations. En France, la sous-commission 15D de l'UTE travaille sur le guide correspondant à ce besoin.

Les électroniciens savent qu'il faut préférer les câbles torsadés blindés, qu'il ne faut jamais laisser un conducteur en l'air, qu'il faut plaquer les câbles sur une surface métallique équipotentielle, qu'il faut éviter les queues de cochon, qu'il faut faire très attention au choix et à la mise en œuvre des presse-étoupe. Ils ne savent pas toujours qu'il est hautement souhaitable que les câbles courants faibles suivent les trajets des câbles courants forts ; que les liaisons cuivre entre deux bâtiments sont hasardeuses même si leurs terres respectives sont reliées par un conducteur de 35 mm^2 ($L = 1 \text{ } \mu\text{H/m}$) ; que le maillage des masses s'il est nécessaire peut poser des problèmes (par exemple risque d'incendie en TN-C).

Les électriciens sont perturbés par la différenciation entre les circuits de protection et les circuits de masse. Ils ne comprennent pas

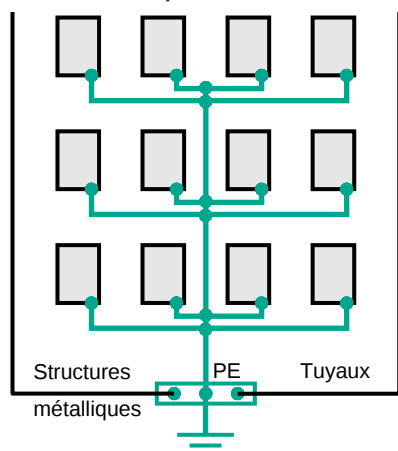
toujours l'importance du maillage total et ne voient pas toujours pourquoi les connexions entre masses, la continuité des chemins de câbles doivent être assurées avec autant de soin.

Il a été montré que les appareils non communicants, s'ils doivent être conçus selon les règles de l'art et respecter les normes d'émission et d'immunité, n'en sont pas moins concernés par les perturbations et les couplages rencontrés dans les installations et dont certains sont parfois mal connus.

Les systèmes communicants, de plus en plus nombreux et étendus, posent réellement le problème de la coexistence entre courants forts et courants faibles dans les bâtiments. Les boucles inductives doivent être évitées ou shuntées par les masses d'accompagnement. La meilleure équipotentialité des masses doit être recherchée tant en BF qu'en HF et ceci aussi bien au niveau d'un étage qu'entre étages : c'est les plans réducteurs et le maillage des masses obligatoire. Dans tous les cas la bonne mise en œuvre des chemins de câbles, goulottes, plinthes métalliques est fondamentale.

La **figure 27** rappelle la vision de l'électricien, celle du spécialiste CEM, et propose une solution minimale et peu coûteuse pour les bâtiments existants.

Sécurité électrique



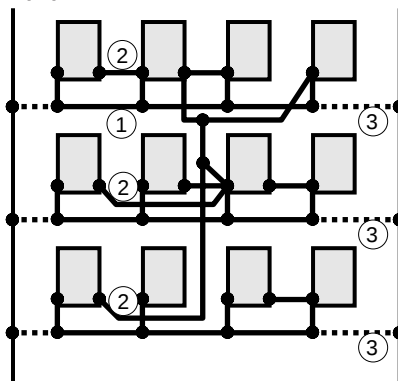
a - Réseau équipotentiel de protection de topologie en bus (entre étages) et en étoile (à chaque étage). Idem distribution électrique

■ Objectif : sécurité des personnes / contact indirect.

■ Attributs :

- pas de boucle entre masses,
- calcul du courant de défaut possible,
- cheminement du courant de défaut contrôlé,
- impédance faible à 50 Hz mais forte en H.F.,
- pas de couplage par impédance commune (sauf en TN au niveau de la colonne montante).

Equipotentialité CEM



- (1) Conducteur d'équipotentialité en ceinture d'étage.
 (2) Blindage ou conducteur d'accompagnement, chemin de câble métallique
 (3) conducteur d'équipotentialité supplémentaire

b - Réseau de masse maillé

■ Objectifs :

- équipotentialité en H.F.,
- faible impédance en B.F. et en H.F.

■ Attributs :

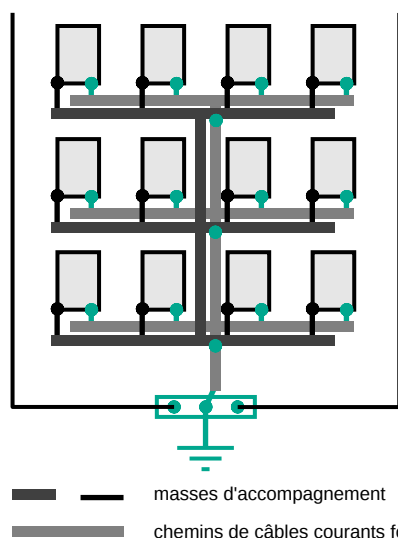
- cheminement aléatoire et multiple des courants de défaut 50Hz et de neutre (TN-C) car masses au PE,
- boucles de masses réduites (H.F.),
- couplage par impédance commune,
- augmentation du courant de défaut en TN.

Nota : pour être efficace, notamment en H.F., le maillage doit être très dense.

Les liaisons de type 3, si elles sont réalisées, créent des boucles entre masses qui vont concerner les appareils situés à des étages différents.

Ainsi, si des liaisons de ce type sont réalisées, il faut alors multiplier les liaisons équipotentielles entre étages pour minimiser la surface des boucles entre masses.

Sécurité et CEM



c - Réseau équipotentiel minimal de protection et de masses. Utilisation optimale des chemins de câbles

■ Objectifs : ceux des figures 22a et 22b.

■ Attributs :

- supprime les boucles courants forts / courants faibles, les boucles de masses et les boucles entre masses,
- équipotentialité H.F.,
- équipotentialité B.F. (si I_d faible),
- pas de courants vagabonds,
- effet de plan réducteur / champs EM.

Nota :

- peut être complété par des plans de masses locaux maillés,
- n'interdit pas les liaisons directes entre deux récepteurs proches (avec conducteur d'accompagnement),
- au niveau des étages, un seul chemin de câbles peut suffire,
- la colonne montante au centre limite les influences extérieures.

■ Au niveau des étages supérieurs, des liaisons de type 3 sont à prévoir si le matériel électrique se trouve à moins d'un mètre des structures métalliques extérieures du bâtiment.

fig. 27 : recherche de l'équipotentialité en BF et HF.

Annexe : bibliographie

Normes

- CEI 1000-4 : sections 2 à 13
- Directive européenne CEM 89/336/CEE
- UTE C 90-490 : recommandations pour le câblage des immeubles intelligents, octobre 1995

Cahiers Techniques Schneider

- Les perturbations électriques en BT,
Cahier Technique n°141, avril 1991 -
R. CALVAS
- La CEM : la compatibilité électromagnétique,
Cahier Technique n°149, août 1996 -
F. VAILLANT
- Perturbations des systèmes électriques et
schémas des liaisons à la terre,
Cahier Technique n°177, septembre 1995 -
R. CALVAS

Ouvrages divers

- La compatibilité électromagnétique,
Editions Schneider 07/96 MD1CEM1F
- Manuel didactique CEM,
Editions Schneider 01/96 ART 62920
- REE avril 96
(Revue de l'électricité et de l'électronique)
- REE novembre 95