A classer sous: **7 Matériel**

Charge des câbles par le courant du neutre

Problèmes avec les câbles ronds ou plats? 1

Des câbles ronds à 5 conducteurs sont utilisés dans de nombreux domaines de la technique d'installation. Les câbles plats ont également fait leurs preuves pour les installations par exemple dans des faux plafonds, des faux planchers ou des canaux d'allèges. Seule la section largement répandue de 2,5 mm² est traitée dans cet article. Des incertitudes apparaissent de façon récurrente en ce qui concerne les compatibilités électromagnétiques et techniques de charge. Différents aspects relatifs aux champs parasites, à la capacité de charge en fonction des harmoniques, de même que de la technique d'installation sont présentés.

Martin Arnold/Henrik Lowack

Des harmoniques apparaissent sur les consommateurs non linéaires qui régulent le flux du courant par des valves commandées ou non. Dans le cas le plus simple, de telles valves sont des diodes (valves non commandées) ou principalement la variante commandée, des thyristors (GTO et IGBT). Entre-temps pratiquement tout appareil électronique du domaine des consommateurs monophasés est pourvu d'un bloc-secteur générant beaucoup d'harmoniques.

Charges du conducteur N

Les courants d'harmoniques restreignent indirectement la charge des conducteurs polaires. Etant donné que les courants d'harmoniques de tous les conducteurs polaires impairs divisibles par trois s'additionnent, les courants du conducteur neutre sont d'une importance déterminante pour la charge maximale autorisée. La fraction 150 Hz retient en particulier l'attention.

Une forme de courant très déformée, qui, par rapport à sa valeur efficace, possède une valeur de crête élevée, apparaît en raison de la concentration des consommateurs de même type tels que PC et leurs périphériques.

En conséquence peuvent apparaître des situations où le conducteur neutre est déjà fortement chargé bien que ce ne soit pas encore, et de loin, le cas des conducteurs polaires. Les coupe-circuits séries permettent des courants de conducteurs polaires encore plus élevés. On peut donc croire à une fausse sécurité. En d'autres termes, même lorsque les conducteurs polaires disposent de réserves importantes, aucun autre consommateur monophasé et/ou consommateur générant des harmoniques ne doit être branché.

Lorsque les conducteurs polaires sont exploités à proximité de la pleine charge, ceci peut, dans des circonstances déterminées, conduire à une surcharge du conducteur neutre. Les relations sont expliquées sur deux câbles examinés sur la base des résultats de mesures pratiques. La question centrale était dans ce cas de savoir si une surcharge d'un câble pouvait même survenir en respectant toutes les prescriptions et spécifications. Des essais d'échauffement en fonction du mode de pose n'ont pas été réalisés dans ce cadre. Rappelons à ce sujet que les situations qui sont liées à des facteurs de réduction selon la NIBT doivent être traitées conformément aux prescriptions.

Capacité de charge et puissance efficace

Les harmoniques ont une influence déterminante sur la capacité de charge des lignes. De façon idéale, il ne devrait s'écouler qu'autant de courant que celui correspondant à la puissance efficace. Mais dans la réalité il s'écoule de nombreux autres courants dans la ligne qui la sollicitent exactement comme les fractions efficaces. Ces courants appartenant à la puissance réactive peuvent être attribués à la puissance réactive de la fréquence fondamentale (50 Hz) et de la puissance réactive des harmoniques.

Il serait optimal qu'un réseau soit chargé plus particulièrement par la puissance réactive, cependant il existe des constellations défavorables où les consommateurs ne sont constitués que de PC ou de générateurs harmoniques semblables et annihilent une telle idée. Un immeuble administratif avec des centaines de PC constitue un exemple typique. On considère ci-dessous un exemple basé sur des valeurs de mesure obtenues au cours d'une étude antérieure.

Le spectre de la figure 1 est pris comme base des harmoniques générées. Le niveau des harmoniques (jusqu'à n = 9) est reproduit numériquement dans le tableau 1. Les valeurs sont normalisées sur la fréquence fondamentale. On en déduit les valeurs suivantes:

- Niveau de la valeur efficace totale: $\mathbf{I_{tot}/I_1 = 1,57}$
- Niveau de l'harmonique n = 3: $I_3/I_1 = 0,87$
- Niveau des harmoniques N = 3,9: $I_3 + 9/I_1 = 0,9$

La valeur efficace globale d'un courant de conducteur polaire est, dans l'exemple de calcul qui suit, définie à partir des **16 A** maximum autorisés.

Il en résulte les valeurs concrètes suivantes:

I_{tot} = 16A
Courant total par conducteur polaire

I_1 = 10,2A
Fraction 50Hz par conducteur polaire

I_{OS} = 12,4 A
Fraction d'harmoniques par conducteur polaire

I_{3+9} = 9,2 A
Fraction d'harmoniques n = 3,9 par conducteur polaire

I_N = 27,5 A
Courant du conducteur neutre (constitué par les harmoniques n = 3,9)

n	1	3	5	7	9
Niveau	1	0,87	0,67	0,46	0,24

Tableau 1 *– Niveau des harmoniques jusqu'à n = 9 selon figure 1*

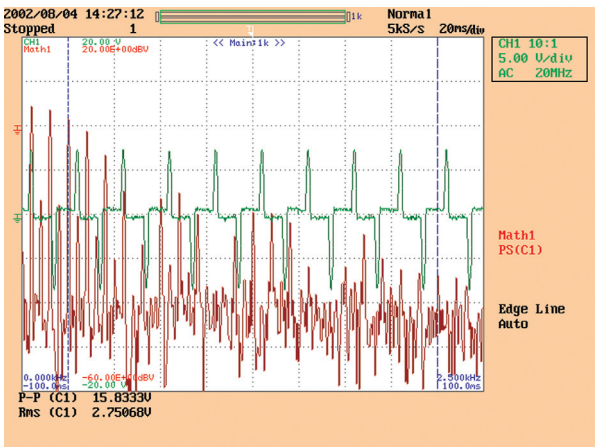

Figure 1 *– Absorption typique du courant de trois PC alimentés en parallèle sans PFC. horizontalement: unité de la trame 250 Hz, verticalement: unité de la trame 10 dBA ($I_{RMS} = 10^{(/20)}$)*

Câble à 5 conducteurs 2,5 mm²	Courant max. autorisé selon le fabricant	Température superficielle du câble à $T_{ambiant}$ = 22,5 °C	Echauffement du câble ΔT	Courant max. compatible extrapolé ΔT = 40 °C
Câble plat	16 A	55,9 °C	33,4 °C	26,3 A
Câble rond TT	16 A	58,3 °C	35,8 °C	25,4 A

Tableau 2 *– Test en laboratoire de câbles à 5 conducteurs. Les 5 conducteurs sont chargés par 24 A. Résultats de mesure dans le cas d'une température finale stationnaire.*
Formule utilisée pour l'extrapolation: $T = 30\ °C + 40\ °K \cdot (I_{IST}/I_{MAX})2$

Le conducteur N conduit à présent 1,7 fois le courant d'un conducteur polaire. La question est de savoir si le conducteur N est ainsi surchargé. L'échauffement du conducteur N par rapport à celui maximum autorisé fournit une réponse. Cet échauffement maximal autorisé est fonction de différents facteurs:
– matériau d'isolation du conducteur
– température ambiante
– géométrie/arrangement des conducteurs
– type de pose
– groupement des câbles
Deux câbles ont été testés en laboratoire pour la section traitée dans cet article. Le type de pose a été choisi de manière que le câble examiné doive céder la chaleur qu'il dégage par l'air (comparable au type de pose E selon NIBT). Lors du test, tous (les cinq) les conducteurs ont été parcourus par un courant de 24 A. On a en conséquence abouti à une situation plus extrême que la charge Worst-Case réaliste. Le tableau 2 fournit des résultats de mesure pour la température finale stationnaire. Un graphique peut être constitué à partir des résultats, lequel représente en résumé les échauffements des câbles et leur capacité de charge de courant (figure 2). La répercussion de la charge des conducteurs polaires sur l'échauffement du conducteur neutre peut également en être déduite.
Etant donné que de façon évidente le courant du conducteur neutre – et pas seulement la section des conducteurs polaires – prescrit la charge maximale des conducteurs polaires, leur charge ne doit pas dépasser une intensité déterminée du courant. Dans les câbles à 5 conducteurs examinés, les intensités de conducteurs polaires sont limitées à 16 A. Les câbles ont donc une réserve d'environ 10 A, si bien que, dans le cas d'une application réaliste, aucune surcharge n'apparaît. S'il intervient un cas extrême dans lequel le conducteur N atteint la limite de charge déterminée ici, la chaleur peut être cédée au conducteur PE non chargé et aux conducteurs polaires plus froids d'au minimum 20°C. Il s'établit en conséquence une température plus basse.
Dans les autres types de câbles, de capacités de charge selon NIBT, les harmoniques du conducteur N doivent être prises en considération (encadré NIBT). Il en résulte alors une capacité de charge limitée des conducteurs polaires et en conséquence du réseau avec la puissance efficace. La capacité de charge est fonction du nombre de consommateurs générant des harmoniques non linéaires et est la plus faible lorsque seuls des consommateurs non linéaires sont raccordés au réseau. Un nombre élevé irréaliste de PC raccordés serait nécessaire pour atteindre la limite de charge du conducteur N, le tableau 3 fournit des points de référence.

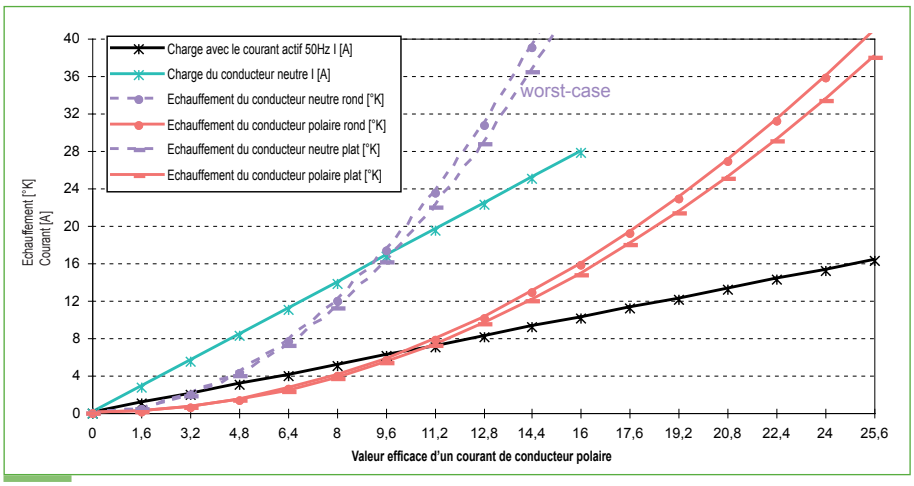

Figure 2 *– Echauffements du câble en relation avec des charges de courant symétriques dans le cas des câbles à 5 conducteurs examinés. Les charges des conducteurs polaires sont également visibles. Le câble plat s'échauffe moins fortement, étant donné qu'il peut rayonner plus de chaleur de par sa surface plus importante.*

Identification/Mesure

Les harmoniques s'étendent jusque dans le domaine kHz et ne peuvent pas être détectées avec un simple instrument de mesure. Le problème principal réside dans le calcul correct de la valeur efficace. Les instruments de mesure basés sur la valeur efficace sinusoïdale indiquent des valeurs erronées dans le cas de signaux déformés. Seuls des instruments de mesure calculant la valeur efficace effective (TRMS) du signal sont utilisables pour les mesures d'harmoniques.
Des oscilloscopes spéciaux peuvent particulièrement bien visualiser les formes des signaux et spectres d'harmoniques, si bien que l'on peut directement en tirer des conclusions.
Dans le cas de l'examen de courants de conducteurs neutres, il faut observer que les valeurs mesurées dépendent du système de mise au neutre. Dans un système TN-S les courants du conducteur neutre ne peuvent prendre que le chemin prescrit du conducteur neutre. Par contre, dans un système TN-C, les courants du conducteur neutre peuvent se répartir selon les structures d'équipotentiel et de mise à la terre supplémentaires à disposition. Ceci a pour conséquence que seule une partie des courants peut être saisie dans le conducteur neutre.

Champs magnétiques des câbles à 5 conducteurs

Les champs magnétiques des câbles ronds et plats se différencient en fonction de leur arrangement géométrique. Les câbles ronds présentent des écartements légèrement plus petits des conducteurs que les câbles plats et sont torsadés. La longueur du pas de câblage est variable. Il existe par exemple des types d'une longueur de 15 cm et d'autres de 50 cm. Ces caractéristiques permettent d'escompter que les câbles ronds ont des champs magnétiques plus faibles. Des simulations peuvent visualiser des champs magnétiques invisibles en modélisant les géométries des câbles et en utilisant les intensités du courant souhaitées.
Différentes mesures et simulations ont été réalisées sur des câbles ronds et plats d'une section de 2,5 mm² dans le cadre d'un essai. Les résultats peuvent être représentés de façon résumée et optimale sur la base de deux graphiques de simulation (figure 3). Dans le domaine proche, apparaissent des intensités de champs magnétiques semblables par lots. Dans le domaine plus éloigné, la torsion réduisant le champ magnétique influe. Les champs magnétiques résultants sont cependant relativement faibles pour les deux types de câbles. Les champs magnétiques basse fréquence jouent dans cet ordre de grandeur et application un rôle plutôt secondaire.

Influences/couplages parasites entre les câbles

La pose combinée de lignes basse tension et d'information nécessite la prise en considération et la connaissance des influences parasites possibles. L'effet parasite provenant des câbles BT doit être considéré en fonction de la fréquence. On peut fondamentalement différencier deux gammes de fréquences très répandues: BT (fréquence du réseau 50 Hz et ses harmoniques) et HF (gamme MHz). Le couplage inductif domine dans la gamme BT. Par contre les conditions sont plus compliquées dans la gamme HF. Dans le cas de sources parasites à faible impédance, les courants qui peuvent provoquer des perturbations synchrones, de même qu'en push-pull occupent le premier plan. Les configurations en boucle sont particulièrement touchées par les perturbations synchrones. Dans le cas de sources de perturbations à haute impédance, les tensions occupent le premier plan, lesquelles suscitent en particulier des perturbations synchrones.

Les contre-mesures doivent être orientées sur les couplages possibles. Le torsadage et le blindage des conducteurs sources constituent les mesures centrales. L'application des deux mesures est évidemment la plus efficace. A ce sujet il faut observer que le torsadage est toujours relatif. C'est la différence qui importe.

Deux exemples tirés de la pratique attestent qu'il peut également être suffisant de n'appliquer que l'une de ces mesures pour écarter efficacement les signaux parasites en push-pull:

- Dans le cas des câbles Ethernet de fréquences utiles jusqu'à environ 100 MHz, le torsadage suffit généralement. Des fractions de signaux parasites couplées peuvent se compenser sur la base de l'alternance systématique de polarité.
- Dans le cas des câbles plats combinés (BT et Bus), seul le blindage réussit. Un blindage spécial multicouche prévient efficacement le couplage parasite par les conducteurs BT tirés en parallèle.

La maîtrise des signaux parasites synchrones est plus compliquée. Dans ce cas les terminaux et leurs connexions à la masse doivent être inclus. Généralement des lignes plus longues, qui doivent être reliées de façon adéquate à un circuit d'équipotentiel, sont concernées. Une procédure préalablement conçue est indispensable. Les mesures ont l'importance correspondante. Le chapitre suivant approfondira certains points.

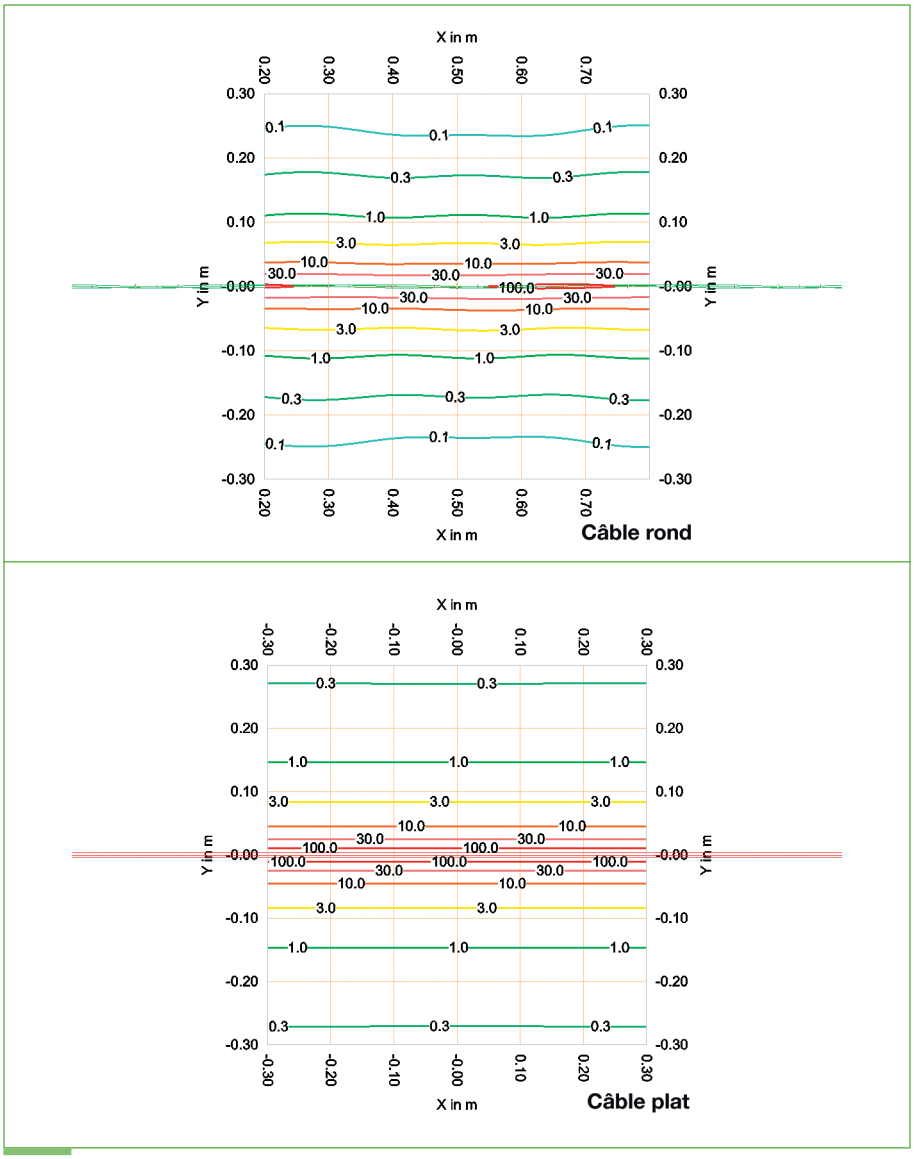

Figure 3 *– Modèles de câbles*
Calculs des répartitions de densité de flux magnétique pour les deux câbles examinés.
Niveau de calcul: 1 cm au-dessus du conducteur suivant, intensité de courant du conducteur polaire: 16 A, courants triphasés et symétriques, courant du conducteur neutre: 0 A, longueur du pas de torsion du câble rond: 50 cm.
Valeurs isométriques en µT

Principes d'installation et recommandations

Les installations à courant fort, mais également à courant faible doivent fondamentalement être conçues selon une structure arborescente. Il faut éviter que des liaisons soient constituées entre les branches et leurs extrémités (pas de surfaces de boucle).

Lors de la pose de câbles basse tension et de données métalliques, qui utilisent le même système de tirage de câbles (tracés horizontaux et verticaux, canaux d'allèges, etc.), ceux-ci doivent être installés selon les spécifications de la norme EN 50174-2 (technique d'information: installation de câblage de communication; planification de l'installation et pratiques d'installation dans les bâtiments). Les principes importants sont spécifiés dans cette norme applicable depuis août 2000. Il s'agit par exemple d'indications pour:

- l'utilisation de canalisations métalliques; des goulottes de câbles perforées et de préférence non perforées conviennent.

Suite en page 20 ▶

Comparaison des valeurs de courant	I (L)	I (N)
18 PC sans PFC (harmoniques élevées)	4,5 A	8 A
36 PC "	9 A	16 A
46 PC "	16 A	28 A
Fusible	16 A	–
Limite de charge des mesures de laboratoire (5 conducteurs chargés)	Câble rond: 25,4 A	Câble plat: 26,3 A

Tableau 3 *– Obtention de la limite de charge du conducteur N avec un nombre élevé irréaliste de PC raccordés.*

Dans quelle proportion un conducteur neutre peut-il être chargé selon la NIBT 2005?

La densité croissante des appareils (ordinateurs, imprimantes, etc.) a pour conséquence que, dans le cas de systèmes à 5 conducteurs, la charge des réseaux par les harmoniques se répercute au détriment du conducteur neutre. Il est mentionné à ce sujet dans la NIBT 2005 nouvellement parue, au chapitre 5.2.3.4, .1-.3:

- *Seuls doivent être pris en considération dans la détermination du nombre des conducteurs chargés d'un circuit ceux qui conduisent le courant de charge. Si une charge symétrique de tous les conducteurs polaires peut être admise dans un circuit électrique, le conducteur neutre correspondant ne doit pas être pris en considération.*
- *Si le conducteur neutre est chargé sans que les conducteurs polaires le soient de façon correspondante, le conducteur neutre doit être pris en considération dans le calcul de la capacité de charge de courant du circuit. De tels courants peuvent par exemple être provoqués par un courant d'harmoniques caractéristique dans des circuits triphasés. Si la part d'harmoniques est supérieure à 10 %, le conducteur neutre doit présenter la même section que les conducteurs polaires.*
- *Les conducteurs qui n'ont qu'une fonction de conducteurs de protection ne sont pas pris en considération. Les conducteurs PEN doivent être traités de la même façon que les conducteurs neutres.*

Des indications complètes sont présentées dans les annexes et explications (A+E) de 5.2.3.4.2 (répercussions des courants harmoniques sur les systèmes triphasés chargés symétriquement).

Extrait de la NIBT 5.2.3.4.2 (A+E):

Si les facteurs de réduction mentionnés dans le tableau (voir ci-dessous) sont appliqués à la capacité de charge d'un câble ou d'un conducteur comportant trois conducteurs chargés, la capacité de charge de courant d'un câble ou d'une ligne s'obtient avec quatre conducteurs chargés, le courant dans le quatrième conducteur résultant des fractions harmoniques. L'échauffement des conducteurs polaires par le courant harmonique est pris en considération dans les facteurs de réduction.

Si dans un conducteur neutre une intensité de courant supérieure à celle d'un conducteur polaire est escomptée, la section nominale du câble de la ligne doit être déterminée sur la base du courant du conducteur neutre.

Si le choix du câble ou de la ligne est basé sur un courant du conducteur neutre qui ne dépasse pas sensiblement le courant du conducteur polaire, il est également nécessaire de réduire la valeur de la capacité de charge indiquée pour les trois conducteurs chargés.

Si le courant du conducteur neutre s'élève à plus de 135 % du courant du conducteur polaire et si le câble ou la ligne a été choisi sur la base du conducteur neutre, les trois conducteurs polaires ne sont pas totalement chargés. La diminution de l'échauffement par le conducteur polaire compense l'échauffement par le conducteur neutre, bien qu'il ne soit pas nécessaire de réduire la valeur de la capacité de charge de courant des trois conducteurs chargés par un facteur de réduction.

Troisième harmonique Fraction du courant des conducteurs (%)	Facteur de réduction	
	Sélection de la section selon le courant du conducteur polaire	Sélection de la section selon le courant du conducteur neutre
0-15	1,0	–
15-33	0.86	–
33-45	–	0,86
>45	–	1,0

Tableau 5.2.3.4.2.1 *– Facteurs de réduction des courants d'harmoniques dans les câbles à 4 et 5 conducteurs. Des exemples de calcul sont mentionnés dans A+E.*

- la séparation des circuits à l'intérieur des tracés ou utilisation de tracés séparés
- l'écartement dans le cas de câbles basse tension posés en parallèle avec des câbles blindés ou non blindés
- le cotirage d'un conducteur de terre séparé dans le cas de tracés non métalliques
- l'équipotentiel.

Si des câbles basse tension (plats ou ronds) croisent des câbles de données, le croisement doit intervenir à angle droit. Les câbles utilisés pour différentes applications (courant fort et faible) ne doivent pas se croiser aux mêmes endroits.

Seuls les éléments de connexion conçus à cet effet doivent être utilisés dans le cas de l'utilisation d'un système de câbles ronds ou plats avec des adaptateurs.

Dans le cas d'un réseau (encore) propre, il est judicieux de prendre des mesures préventives pour ne pas être surpris par les harmoniques et leurs répercussions. D'une part, les projets d'agrandissement futurs doivent être pris en considération et de l'autre, il est utile d'installer des appareils adéquats pour la surveillance.

La qualité et pas seulement le prix avantageux devraient avant tout être déterminants dans l'acquisition de nouveaux appareils. Dans tous les cas un éclaircissement des répercussions du réseau est conseillé. Différents fabricants prennent les problèmes d'harmoniques au sérieux et équipent leurs appareils de modules dits PFC (Power Factor Correction).

Les câbles d'installation à 5 conducteurs sont utilisés sous forme de lignes groupées dans les faux planchers, faux plafonds, etc. Les influences perturbatrices dues aux champs magnétiques basse fréquence sont ici de faible importance. Le type de câbles (ronds ou plats) n'est pas déterminant pour le surcouplage de perturbations haute fréquence. Les mesures des câbles sources (par exemple câbles d'information) sont d'autant plus pertinentes.

Les fusibles prévus (16 A) sont suffisamment bas par rapport à la section de câble considérée de 2,5 mm² pour éviter une surcharge même dans le cas de fractions d'harmoniques élevées des consommateurs raccordés.

Martin Arnold et Henrik Lowack
Arnold Engineering et Beratung
Technique de protection EMP et CEM
Wallisellerstrasse 75
8152 Opfikon
www.arnoldeub.ch