



## (5.4.2) Caractéristiques de la tension dans les réseaux publics de distribution

### Norme EN 50160

Henryk Markiewicz & Antoni Klajn

Université de technologie de Vroclaw

Juillet 2004

<b>1</b>	<b><i>Introduction.....</i></b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><i>Définitions de base des paramètres de la tension.....</i></b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><i>Principales exigences de l'EN 50160.....</i></b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><i>Fonctionnement des équipements et exigences de l'EN 50160.....</i></b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b><i>Méthodes de mesure.....</i></b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b><i>Etat des lieux dans différents pays.....</i></b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b><i>Conclusions.....</i></b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b><i>Références et bibliographie.....</i></b>	<b>18</b>

### *European Copper Institute*



L'European Copper Institute est une joint venture Européenne entre les principaux producteurs de cuivre mondiaux et les fabricants Européens de demi-produits. Créé en 1996, l'ECI assure la promotion du cuivre en Europe avec un réseau de 11 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni, en Scandinavie et en Russie. L'ECI poursuit les efforts initialement engagés par le Copper Products Development Association, créé en 1959, et de l'INCRA (International Copper Research Association) créé en 1961.

### *Centre d'Information du Cuivre, Laiton & Alliages et Copper benelux*



Ce sont les organisations professionnelles des producteurs et des transformateurs de cuivre chargées de promouvoir les applications du cuivre et de ses alliages sur les marchés français et du Benelux. Financés par les producteurs de cuivre du monde entier et par les sociétés fabricants de demi-produits, le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux mettent en oeuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de ses mandants : International Copper Association au niveau mondial, European Copper Institute au niveau Européen. Ils ont pour vocation de produire et de diffuser l'information technique relative au cuivre et à ses alliages, de faire connaître les meilleures méthodes de mise en oeuvre des produits dans chacun de leur domaine d'emploi et d'en promouvoir l'utilisation dans les grands secteurs d'application. Le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux sont les coordinateurs respectivement pour la France et le Benelux du programme européen Leonardo relatif à la formation en matière de «Power Quality».

### *Remerciements*

Ce projet a été mis en oeuvre avec le soutien de la Communauté Européenne et l'International Copper Association Ltd.

### *Avertissement*

Le contenu de ce projet ne reflète pas nécessairement la position de la Communauté Européenne. De même, il n'implique aucune responsabilité de la part de la Communauté Européenne. L'European Copper Institute, le Centre d'information du Cuivre et Copper benelux déclinent toutes responsabilités pour toutes conséquences directes ou indirectes ou les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu ou de l'incapacité à utiliser les informations et les données de ce guide.

## 1 Introduction

L'énergie électrique est un produit et, comme tous les produits, doit satisfaire à des exigences de qualité définies. Pour qu'un équipement fonctionne correctement, il est nécessaire que sa tension d'alimentation reste dans une plage définie autour de sa valeur nominale. Une part significative des équipements utilisés aujourd'hui, en particulier les équipements électroniques et informatiques, nécessitent une bonne qualité d'énergie (QE). Cependant, ces mêmes équipements sont également à l'origine de distorsion de la tension distribuée dans l'installation, du fait de leurs caractéristiques non linéaires, c'est-à-dire que le courant consommé par ces équipements n'a pas la même forme sinusoïdale que la tension qui les alimente (voir le fascicule 3.1 du Guide Power Quality [10]). Ainsi, conserver une qualité d'énergie satisfaisante est de la responsabilité commune du fournisseur et de l'utilisateur. Selon la norme EN 50160 [1], le fournisseur est celui qui fournit l'électricité depuis un réseau de distribution public, l'utilisateur ou le client étant l'acquéreur de cette électricité. L'utilisateur est en droit de recevoir du fournisseur une énergie de qualité convenable. En pratique, le niveau de qualité de l'énergie est un compromis entre utilisateur et fournisseur. Lorsque la qualité de l'énergie n'est pas suffisante pour les besoins de l'utilisateur, des mesures d'amélioration de cette qualité seront nécessaires et seront sujet à une analyse coût-bénéfice (voir le fascicule 2.5 du Guide Power Quality [10]). Toutefois, le coût d'une mauvaise qualité d'énergie est généralement supérieur au coût des mesures nécessaires à son amélioration. On estime que les pertes dues à une mauvaise qualité d'énergie coûtent à l'industrie et au commerce européen environ 10 milliards d'€ par an (voir le fascicule 2.1 du Guide Power Quality [10]).

Cependant, l'énergie électrique est un produit très spécifique. Sa possibilité de stockage en quantité significative est très limitée, il est donc nécessaire de la consommer au moment où elle est produite. Les mesures et l'évaluation de la qualité de l'énergie fournie doivent être faites au moment de sa consommation. Les mesures de qualité d'énergie sont complexes, puisque le fournisseur et l'utilisateur, dont les équipements électriques sensibles sont également une source de perturbations, ont des vues différentes.

La norme CEI 038 [2] fait la distinction entre deux différentes tensions dans les réseaux et les installations :

- La tension d'alimentation, qui est la tension entre phases ou entre phase et neutre au point de raccordement au réseau, c'est-à-dire à l'origine de l'installation
- La tension d'utilisation, qui est la tension entre phases ou entre phase et neutre au niveau de la prise ou du bornier de l'équipement électrique.

Le principal document traitant des exigences incombant au fournisseur est la norme EN 50160, qui caractérise les paramètres de la tension de l'énergie électrique dans les réseaux publics de distribution. C'est une norme européenne mais elle est assortie, dans certains pays, d'autres normes supplémentaires comme [3] en Allemagne, ou [4] en Pologne. Plusieurs règles locales, telles que le TAB allemand [3] s'appliquent à l'utilisateur individuel, mais seront uniformisées lors de la libéralisation du marché allemand de l'électricité. Selon la CEI 038, la norme EN 50160 et les règles [3, 4] concernent la tension d'alimentation, c'est-à-dire la tension mesurée au point de raccordement au réseau.

Du point de vue de l'utilisateur, c'est la qualité de l'énergie disponible au niveau des équipements qui importe. Le fonctionnement correct des équipements nécessite de maintenir le niveau d'influence électromagnétique dans l'environnement des équipements en dessous de certaines limites. Un équipement est influencé par les perturbations venant de l'alimentation et par les autres équipements présents dans l'installation, de même qu'il influence lui-même la tension d'alimentation. Ces problèmes sont récapitulés dans la série EN 61000 des normes CEM, dans lesquelles les limites des perturbations conduites sont caractérisées. La sensibilité des équipements à la qualité de la tension d'alimentation, de même que les mesures d'atténuation, sont présentées en section 3 du Guide Power Quality [10] (Harmoniques) et en section 5 (Perturbations de tension).

L'objet de ce fascicule est de présenter de manière détaillée la norme EN 50160 et d'analyser ses exigences en fonction du fonctionnement d'équipements spécifiques. Les méthodes de mesures des paramètres de la tension d'alimentation sont également présentées.

## 2 Définitions de base des paramètres de la tension

Dans la norme EN 50160, plusieurs paramètres de la tension sont définis. Les plus importants sont :

*Tension d'alimentation* – Valeur efficace de la tension présente à un instant donné au point de fourniture et mesurée sur un intervalle de temps donné.

*Tension nominale d'un réseau ( $U_n$ )* – Tension caractérisant ou identifiant un réseau et à laquelle on se réfère pour certaines caractéristiques de fonctionnement.

*Tension d'alimentation déclarée ( $U_c$ )* – Est généralement la tension nominale  $U_n$  du réseau. Si, par suite d'un accord entre le distributeur et le client, la tension d'alimentation appliquée à ses bornes diffère de la tension nominale, alors cette tension correspond à la tension déclarée  $U_c$ .

*Conditions normales d'exploitation* – Conditions permettant de répondre à la demande de la charge, aux manœuvres de réseau et à l'élimination des défauts par les systèmes de protection automatique, en l'absence de conditions exceptionnelles dues à des influences extérieures ou à des événements majeurs.

*Variation de tension* – Augmentation ou diminution de tension provoquée par la variation de la charge totale du réseau de distribution ou d'une partie de ce réseau.

*Papillotements (Flicker)* – Impression d'instabilité de la sensation visuelle due à un stimulus lumineux dont la luminosité ou la répartition spectrale fluctuent dans le temps.

*Sévérité du papillotement* – Intensité de la gêne provoquée par le papillotement définie par la méthode de mesure UIE-CEI du papillotement et évaluée selon les quantités suivantes :

- Sévérité de courte durée ( $P_{st}$ ) mesurée sur une période de dix minutes

- Sévérité de longue durée ( $P_{lr}$ ) calculée à partir d'une séquence de 12 valeurs de  $P_{st}$  sur un intervalle de deux heures, selon la formule suivante :

$$P_{lr} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} \quad (1)$$

*Creux de la tension d'alimentation* – Diminution brutale de la tension d'alimentation à une valeur située entre 90 % et 1 % de la tension déclarée  $U_c$ , suivie du rétablissement de la tension après un court laps de temps. Par convention, un creux de tension dure de 10 ms à 1 minute. La profondeur d'un creux de tension est définie comme étant la différence entre la tension efficace pendant le creux de tension et la tension déclarée. Les variations de tension ne réduisant pas la tension d'alimentation à une valeur inférieure à 90% de la tension déclarée de sont pas considérées comme étant des creux de tension.

*Interruption d'alimentation* – Condition dans laquelle la tension aux points de fourniture est inférieure à 1% de la tension déclarée  $U_c$ . Une interruption d'alimentation peut être classée comme :

- prévue pour permettre l'exécution de travaux programmés sur le réseau de distribution, lorsque les clients en sont informés par avance,
- accidentelle, provoquée par des défauts permanents (interruption longue) ou fugitifs (interruption courte), le plus souvent liée à des événements extérieurs, à des défaillances d'équipements ou des interférences.

*Surtension temporaire à fréquence industrielle* – a une durée relativement longue, généralement sur quelques périodes réseau, et habituellement due à des manœuvres ou des défauts, par exemple une réduction soudaine de la charge, ou élimination de court-circuits.

*Surtensions transitoires* – sont des surtensions courtes, oscillatoires ou non oscillatoires, fortement amorties, d'une durée de quelques millisecondes au maximum, ayant pour origine la foudre ou des manœuvres comme, par exemple, la coupure d'un courant inductif.

*Tension harmonique* – Tension sinusoïdale dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence fondamentale de la tension d'alimentation. Les tensions harmoniques peuvent être évaluées :

- individuellement par leur amplitude relative  $U_h$  rapportée à la tension fondamentale  $U_1$ , où  $h$  est le rang de l'harmonique

Globalement, par le taux global de distorsion harmonique THDu, calculé en utilisant la formule suivante :

$$THD_u = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}{U_1^2}} \quad (2)$$

*Tension interharmonique* – Tension sinusoïdale dont la fréquence se situe entre les fréquences harmoniques, c'est-à-dire dont la fréquence n'est pas un multiple entier de la fréquence fondamentale.

*Déséquilibre de tension* – est l'état dans lequel la valeur efficace des tensions de phases ou les déphasages entre phases consécutives d'un système triphasé ne sont pas égaux.

### 3 Principales exigences de l'EN 50160

L'EN 50160 donne les principaux paramètres de tension, et leurs plages de variation acceptables, au point de raccordement du client au réseau public de distribution en basse tension (BT) et en moyenne tension (MT), dans des conditions normales de fonctionnement. Dans ce contexte, la basse tension correspond à une tension nominale efficace rms entre phases ne dépassant pas 1000 V, et la moyenne tension correspond à une tension nominale efficace entre phases rms comprise entre 1000 V et 35 kV.

La comparaison entre les exigences de l'EN 50160 et celles des normes CEM EN 61000, présentées dans les tableaux 1 et 2, montre des différences significatives pour certains paramètres. Il y a deux raisons majeures pour justifier ces différences :

- Les normes CEM concernent la tension d'utilisation, selon la CEI 038, alors que l'EN 50160 traite de la tension d'alimentation. Les différences entre ces tensions sont dues à la chute de tension dans l'installation et aux perturbations provenant du réseau et des autres équipements présents dans l'installation. C'est pourquoi, dans la plupart des normes de la série EN 61000 le courant consommé est un paramètre important alors que le courant de charge n'est pas traité par l'EN 50160.
- L'EN 50160 indique seulement des limites générales, qui sont techniquement et économiquement possibles au fournisseur de maintenir dans un réseau public de distribution. Lorsque des conditions plus rigoureuses sont nécessaires, un arrangement séparé et détaillé entre le fournisseur et le client doit être négocié. Les mesures pour améliorer la qualité de l'énergie nécessitent des coûts et des matériels supplémentaires et sont traités dans d'autres parties de ce guide.
- L'EN 50160 a des limitations supplémentaires. Elle ne s'applique pas dans des conditions anormales d'exploitation, incluant les cas suivants :
  - o Situations résultant d'une avarie ou d'une condition temporaire d'alimentation,
  - o Dans le cas d'une non conformité de l'installation ou des équipements du client aux normes applicables ou aux règles techniques pour le raccordement des charges,
  - o Dans le cas d'une non conformité de l'installation ou des équipements du client aux normes applicables ou aux règles techniques pour le raccordement au réseau de distribution électrique,

- o Dans des situations exceptionnelles non maîtrisables par le distributeur d'électricité, telles que :
  - conditions climatiques exceptionnelles et autres catastrophes naturelles
  - Faits provenant de tiers
  - Décisions officielles
  - Faits de grève (assujettis aux exigences légales)
  - Cas de force majeure
  - Coupures résultant d'événements extérieurs.

N°	Paramètres	Caractéristiques de la tension d'alimentation selon la norme EN 50160	Caractéristiques de la basse tension selon la norme CEM EN 61000	
			EN 61000-2-2	Autres parties
1	Fréquence	BT, MT : valeur moyenne de la fréquence fondamentale mesurée par période de 10 s ± 1% (49,5 – 50,5 Hz) pendant 99.5% d'une semaine -6%/+4% (47 – 52 Hz) pendant 100% du temps	2%	
2	Variations de la tension fournie	BT, MT : ± 10% pendant 95% d'une semaine, valeurs efficaces moyennée sur 10 minutes (figure 1)		± 10% pendant 15 minutes
3	Variations rapides de la tension	BT : 5% en conditions normales 10% dans certaines circonstances $P_{it} \leq 1$ pendant 95% d'une semaine  MT : 4% en conditions normales 6% dans certaines circonstances $P_{it} \leq 1$ pendant 95% d'une semaine	3% en conditions normales 8% dans certaines circonstances $P_{st} \leq 1$ $P_{it} \leq 0,8$	3% en conditions normales 4% dans certaines circonstances $P_{st} \leq 1,0$ $P_{it} \leq 0,65$ (EN 61000-3-3) 3% (CEI 61000-1-12)
4	Creux de tension	En général : durée < 1s, profondeur < 60% Dans certains endroit, du fait de commutations de charge : BT : 10 – 50%, MT : 10 – 15% (figure 1)	En milieu urbain : 1 à 4 par mois	Jusqu'à 30% pendant 10 ms ; Jusqu'à 60% pendant 100 ms (EN 61000-6-1, 6-2) Jusqu'à 60 % pour 1000 ms (EN 61000-6-2)
5	Coupures brèves de la tension fournie	BT, MT : (jusqu'à 3 minutes) Quelques dizaines à quelques centaines par an Durée de 70% d'entre elles < 1 s		95% de baisse de tension pendant 5 s (EN 61000-6-1, 6-2)
6	Coupures longues de la tension fournie	BT, MT : (plus de 3 minutes) < 10 – 50 par an		
7	Surtensions temporaires sur le réseau entre phase et terre	BT: < 1,5 kV efficace MT : 1,7 $U_c$ (neutre à la terre ou impédant) 2,0 $U_c$ (neutre isolé ou résonnant)		
8	Surtensions transitoires entre phase et terre	BT : généralement < 6kV, Occasionnellement plus importante, temps de montée en ms - $\mu$ s MT : non défini		± 2 kV entre phase et terre ± 1 kV entre phases 1,2/50 (8/20) Tr/Th $\mu$ s (EN 61000-6-1, 6-2)
9	Déséquilibre de la tension fournie	BT, MT : jusqu'à 2% pendant 95% d'une semaine, valeurs efficaces moyennée sur 10 minutes, Jusqu'à 3% dans certaines régions	2%	2% (CEI 61000-2-12)
10	Tensions harmoniques	BT, MT : voir le tableau 2	6%-5 <sup>ème</sup> , 5%-7 <sup>ème</sup> , 3,5%-11 <sup>ème</sup> , 3%-13 <sup>ème</sup> , THD < 8%	5% 3 <sup>ème</sup> , 6% 5 <sup>ème</sup> , 5% 7 <sup>ème</sup> , 1,5% 9 <sup>ème</sup> , 3,5% 11 <sup>ème</sup> , 3% 13 <sup>ème</sup> , 0,3% 15 <sup>ème</sup> , 2% 17 <sup>ème</sup> (EN 61000-3-2)
11	Tensions inter-harmoniques	BT, MT : à l'étude	0,2%	

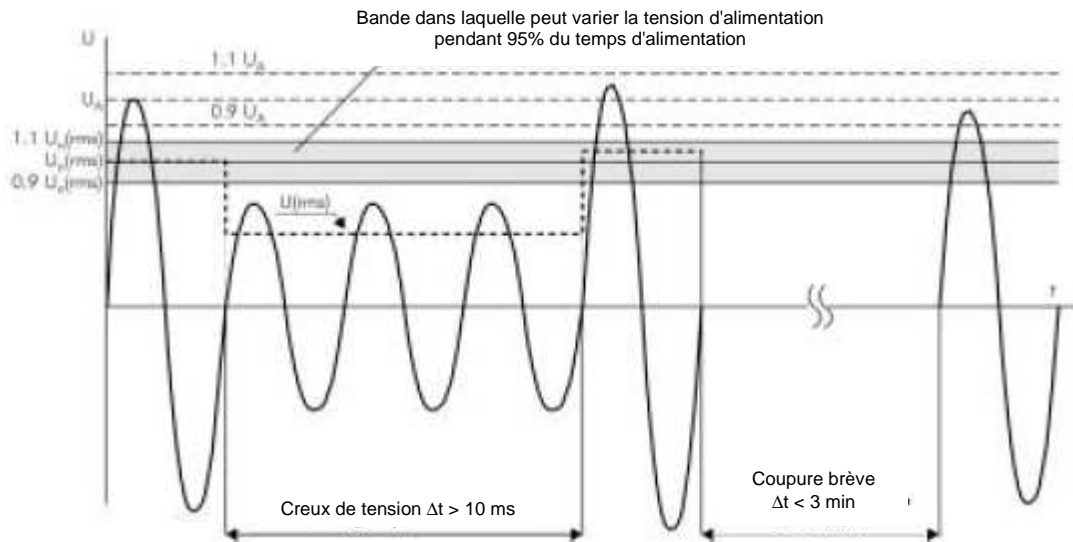
**Tableau 1 - Comparaison des exigences de la tension d'alimentation selon l'EN50160 et les normes CEM EN 61000**

Comme le montre l'analyse des données présentées dans le tableau 1, ces exigences ne sont pas particulièrement contraignantes pour le fournisseur. Les nombreuses situations pour lesquelles la norme ne s'applique pas permettent de justifier la plupart des coupures ou des perturbations de tension qui surviennent en pratique. Ainsi, de nombreux fournisseurs interprètent les exigences de l'EN 50160 comme principalement informatives et n'acceptent aucune responsabilité lorsque les tolérances sont dépassées.

D'un côté, le point de vue des consommateurs est totalement différent. Ils considèrent les tolérances données par l'EN 50160 comme étant des exigences qui doivent être garanties par le fournisseur. Cependant, comme cela est mentionné précédemment, pour la plupart des consommateurs, même la conformité aux exigences de l'EN 50160 ne permet pas de garantir un niveau satisfaisant de la qualité de l'énergie. En pareils cas, le niveau de qualité d'énergie demandé doit être défini dans un contrat séparé entre le fournisseur et le client.

Harmoniques impaires				Harmoniques paires	
Non multiples de 3		multiples de 3			
Ordre $h$	Tension relative %	Ordre $h$	Tension relative %	Ordre $h$	Tension relative %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

**Tableau 2 – Valeurs des tensions harmoniques individuelles aux points de fourniture, jusqu'au rang 25, exprimées en pourcentage de  $U_n$**



**Figure 1 - Illustration d'un creux de tension et d'une coupure brève de tension selon les définitions de l'EN 50160 ;**

**$U_n$  – tension nominale (rms),**

**$U_A$  – amplitude de la tension d'alimentation,**

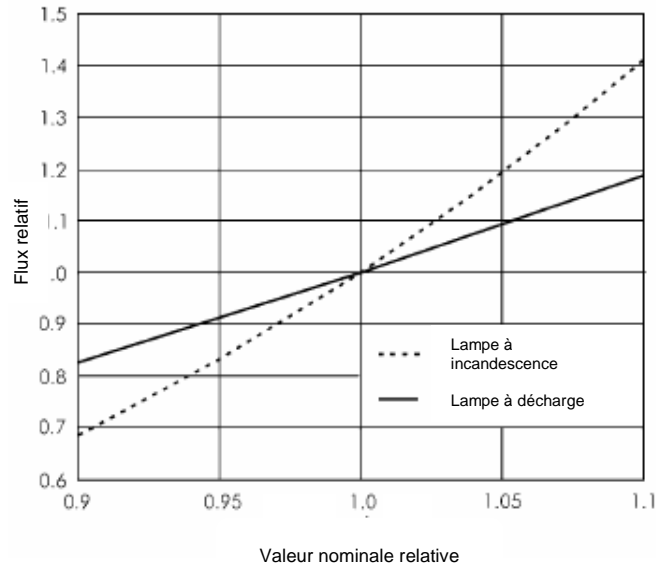
**$U(rms)$  – valeur réelle efficace de la tension d'alimentation (rms)**

#### **4 Fonctionnement des équipements et exigences de l'EN 50160**

Le bon fonctionnement d'un équipement électrique nécessite une tension d'alimentation aussi proche que possible de la tension nominale. Même de relativement faibles écarts à la tension nominale peuvent engendrer un fonctionnement non optimal d'un équipement, par exemple un fonctionnement à mauvais rendement, ou une surconsommation de puissance avec des pertes supplémentaires et une réduction de la durée de vie. Parfois, des écarts prolongés peuvent faire fonctionner l'appareillage de protection, et donc entraîner la coupure de l'alimentation.

Bien sûr, le fonctionnement correct d'un équipement dépend également de plusieurs autres facteurs, tels que l'environnement, le bon choix et la bonne mise en oeuvre.

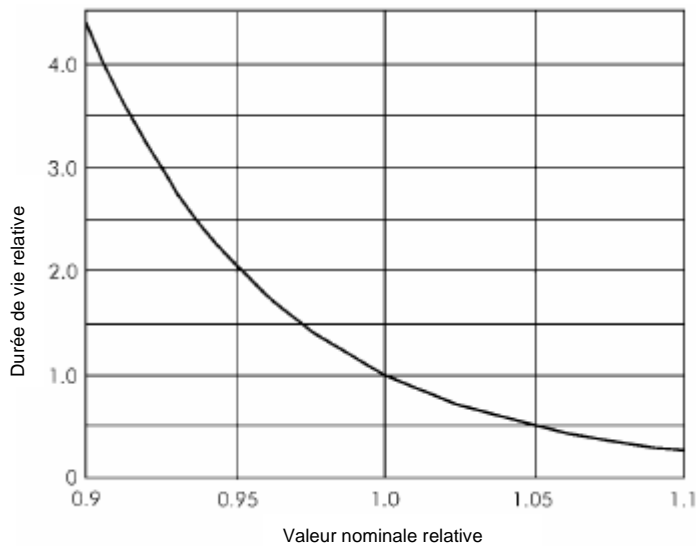
L'étude de l'influence de chaque paramètre de la tension d'alimentation, indépendamment les uns des autres, sur le fonctionnement des équipements est aisée à mener, mais lorsque les facteurs varient simultanément, la situation est bien plus complexe. Dans certains cas, après une analyse détaillée des effets de chaque paramètre de la tension, les résultats peuvent être superposés afin d'estimer l'influence totale de nombreux paramètres. L'influence d'un facteur particulier de la tension sur le fonctionnement d'un équipement est déterminée en fonction des formules mathématiques décrivant le phénomène physique analysé. Deux exemples simples, concernant la lumière et les moteurs, sont présentés ci-dessous.



**Figure 2 – Valeurs relatives du flux lumineux F pour une lampe à incandescence et pour une lampe à décharge en fonction de la tension d'alimentation selon la formule (3)**

Pour **une source de lumière incandescente**, la tension d'alimentation est le facteur le plus significatif du flux lumineux, comme l'illustre la figure 2 et la formule (3). Les variations acceptables de tension selon l'EN 50160 peuvent ainsi causer des changements significatifs du flux. L'EN 50160 permet, par exemple, que la tension d'alimentation varie de  $-10$  à  $+10\%$  de la tension nominale sur une longue période, permettant ainsi à une lampe à incandescence de délivrer respectivement de  $70$  à  $140\%$  de son flux lumineux nominal.

De plus, à  $U_n + 10\%$ , la durée de vie de ces lampes est réduite de  $25\%$  (Figure 3), c'est-à-dire environ  $250$  heures pour une durée de vie typique de  $1000$  heures. (Il est à noter que la durée de vie des lampes à décharge ou fluorescentes dépend grandement du nombre de cycles d'allumage. Les effets des variations de la tension d'alimentation sont faibles). Les valeurs présentées aux figures 2 et 3 sont calculées pour une tension de fonctionnement stable pour une valeur donnée.



**Figure 3 – Valeur relative de durée de vie d'une lampe à incandescence en fonction de la tension d'alimentation selon la formule (4)**

En pratique, la valeur de la tension change en permanence en fonction du fonctionnement et des conditions de charge du réseau, comme l'indique par exemple la figure 4. La description mathématique des paramètres indiqués en figure 2 et 3 est :

$$\frac{F}{F_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^b \quad (3)$$

où :

$F$  = flux lumineux

$U$  = tension d'alimentation

$F_n$  = flux lumineux à la valeur nominale de la tension d'alimentation  $U_n$

$b$  = facteur égal à 3,6 pour une lampe à incandescence et 1,8 pour une lampe à décharge

$$\frac{D}{D_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^{-14} \quad (4)$$

où :

$D$  = durée de vie d'une lampe à incandescence

$D_n$  = durée de vie à la valeur nominale de la tension d'alimentation  $U_n$

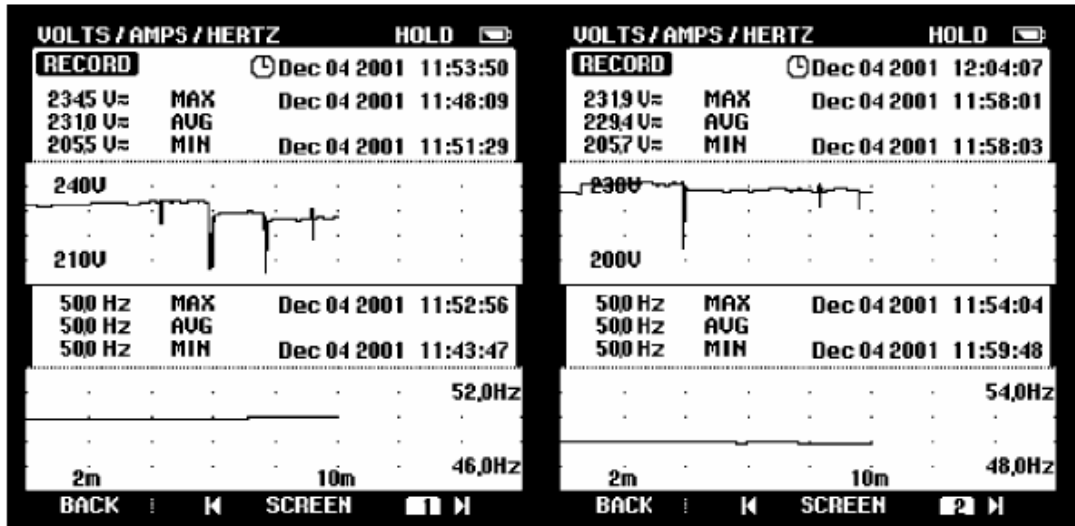


Figure 4 - Exemples de creux de tension (valeur efficace de la tension simple); les oscillogrammes montrent la tension d'alimentation (courbe supérieure) et les variations de fréquence (courbe du bas) au point de raccordement au réseau d'une petite usine

On peut voir que les exigences de l'EN 50160 relatives aux variations de tension ne sont pas très rigoureuses. Même le fait de rester dans les limites de  $\pm 10\%$  de variation de la tension peut provoquer un fonctionnement dégradé des sources lumineuses. En pratique, ces variations doivent être limitées à  $\pm 3$  ou  $4\%$  afin de limiter les conséquences néfastes pour l'éclairage.

Les fluctuations de tension montrées à la figure 4 illustrent l'influence de la tension sur la sévérité du papillotement (Flicker), qui peut être mesuré et calculé par la formule (1). La mesure du papillotement est traitée dans un autre module du Guide.

Pour les **moteurs électriques**, le facteur le plus significatif est la fluctuation du couple, qui dépend du carré de la valeur de la tension d'alimentation. Des problèmes peuvent apparaître durant le démarrage de charges importantes, car le courant d'appel cause une chute de tension supplémentaire dans l'installation (Figure 5). En pratique, pour la majorité des moteurs triphasés, le démarrage se produit généralement à partir de  $85\%$  de la valeur nominale de la tension pour les charges importantes et à partir de  $70\%$  pour les charges faibles. Ainsi, les exigences de fluctuation de tension de l'EN 50160 sont satisfaites. Cependant, le fonctionnement prolongé d'un moteur à une valeur efficace de tension de  $\pm 10\%$  de  $U_n$  peut avoir d'autres conséquences négatives : surcharge et déclenchement des protections thermiques dans le premier cas, ou fonctionnement à puissance excessive et déclenchement du magnétique dans le second cas. Toutes les creux de tension peuvent être à l'origine de déclenchements intempestifs des protections du moteur.

L'influence du courant de charge sur la tension d'alimentation dépend de l'impédance du réseau de distribution. La tension d'utilisation au niveau de l'équipement dépend de l'impédance du réseau de distribution et de l'impédance de l'installation de l'utilisateur. Une illustration de l'influence du courant de charge sur la tension d'alimentation est présentée en figure 6.

Les autres problèmes importants pour les moteurs sont les tensions harmoniques et le déséquilibre de la tension d'alimentation. Le déséquilibre de tension dans un système triphasé crée un couple résistant, proportionnel à la composante inverse de tension. Chaque harmonique de tension produit l'harmonique de courant respective et son propre couple, qui peut être direct ou inverse au couple principal, pour différentes valeurs de glissement. Les harmoniques les plus importants sont ceux des rang 5 et 7. La figure 7 illustre un cas pour lequel le couple du 7ème harmonique peut générer des problèmes au démarrage du moteur, lorsque les courbes du couple caractéristique et du couple frein se croisent.

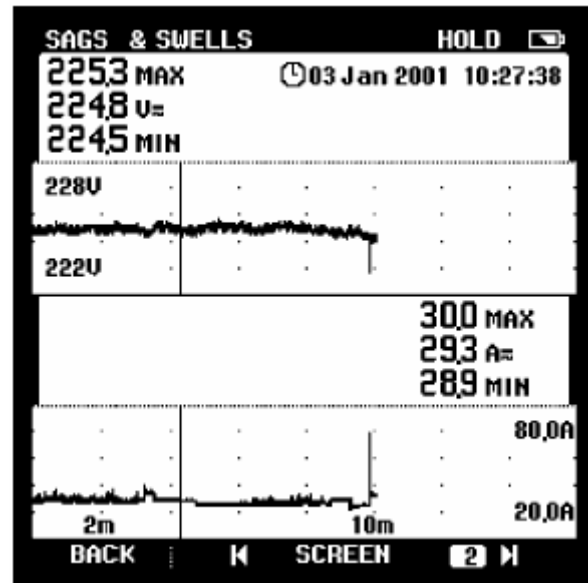


Figure 5 - Exemple de variation de la tension d'alimentation (courbe du haut) au démarrage d'un moteur asynchrone, la courbe du bas étant le courant de charge d'une petite usine ; le pic à la fin de la courbe du courant est le courant d'appel de la charge

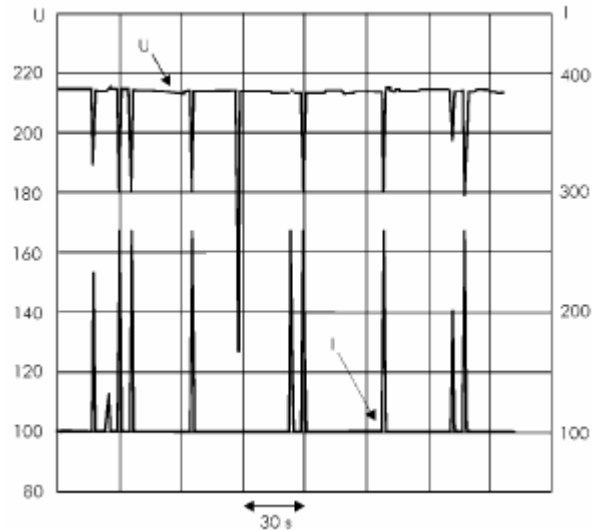
Pour **d'autres équipements électriques** la relation entre la tension d'alimentation et sa puissance ou son rendement peut être significative. Pour la majorité des équipements, les variations de tension dans la plage (0.9 - 1.1)  $U_n$  n'ont pas de conséquences négatives, en particulier pour les systèmes communs de chauffage. Pour les équipements particulièrement sensibles à la tension d'alimentation, une protection adéquate devra être installée.

## 5 Méthodes de mesure

La mesure et l'évaluation de la tension d'alimentation selon l'EN 50160 nécessitent des appareils spéciaux et des méthodes de mesures (voir les fascicules 3.2 et 5.2 du Guide Power Quality [10]). Cette disposition permet la surveillance continue, pendant 7 jours, des paramètres suivants :

- Tension des trois phases
- Fréquence
- Taux global de distorsion harmonique  $THD_U$
- Taux de déséquilibre en tension, qui est un multiple des composantes directe et inverse de la tension

- Variations rapides et lentes de la tension, qui sont définies comme les facteurs de sévérité du papillotement au temps court ( $Pst$ ) et au temps long ( $Pstl$ ) (équation 1).



**Figure 6 - Illustration de l'influence du courant de charge sur les creux de tension dans une installation électrique**

Ce type d'appareil permet également la mesure des creux et des coupures d'énergie, leur fréquence et leur durée. Les paramètres mesurés sont traités et enregistrés toutes les 10 minutes (soit 1008 intervalles pour 7 jours). Pour chaque intervalle, la valeur moyenne de chaque paramètre mesuré est calculée. Après la période d'enregistrement de 7 jours, on établit un graphique de type histogramme ordonné, qui présente la somme des durées d'un niveau de distorsion donné dans la période d'observation (pour la mesure de la fréquence, la durée de chaque période unitaire est de 10 secondes).

Un exemple d'histogramme ordonné est présenté en figure 8. Il montre clairement que les paramètres mesurés de la tension se sont maintenus à un niveau acceptable durant 95 % du temps de test (tableau 1).

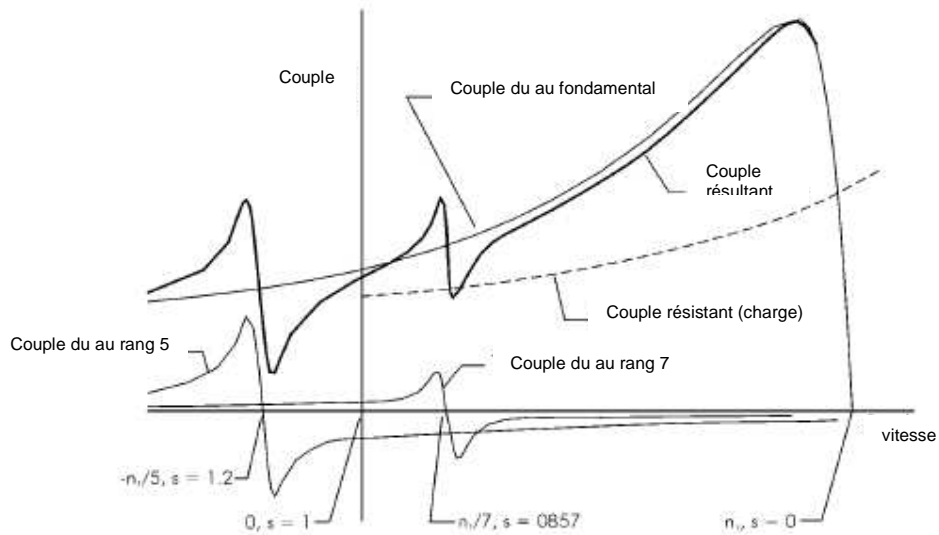


Figure 7 - Influence d'un couple asynchrone induit par les harmoniques sur le couple principal d'un moteur asynchrone

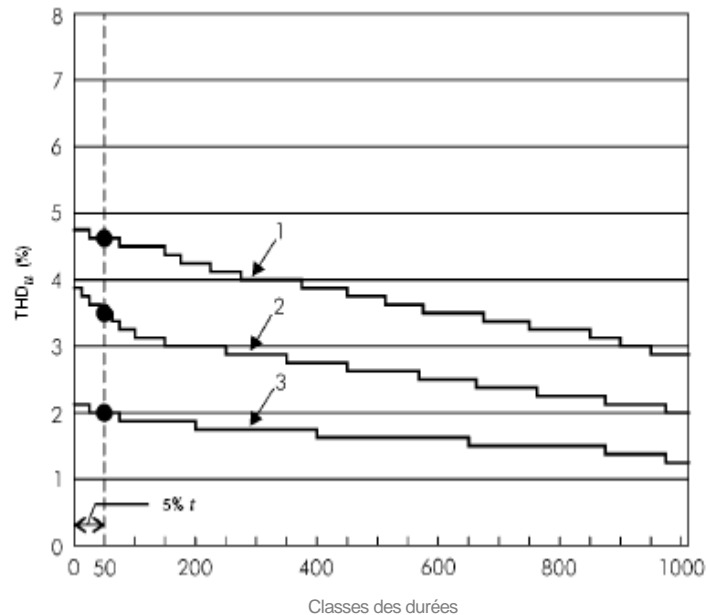


Figure 8 - Exemple d'histogramme ordonné du taux global de distorsion harmonique mesuré au niveau d'une sous-station alimentant des réseaux basse tension industriels (1 et 3) et municipal (2)

## 6 Etat des lieux dans différents pays

Comme il l'est mentionné précédemment, bien que l'EN 50160 donne des limites générales pour les réseaux de distribution publics, plusieurs pays européens ont des règles supplémentaires régissant les conditions d'alimentation. Beaucoup de ces règles nationales couvrent des domaines plus vastes que l'EN 50160, comme la charge harmonique maximale admissible connectée au point de raccordement.

La **norme nationale allemande** VDE 0100 affirme que les caractéristiques de la tension définies dans la DIN EN 50160 reflètent les situations extrêmes dans le réseau et ne sont

pas représentatives des conditions typiques. Dans les réseaux en conception, les recommandations de la VDE 0100 peuvent être suivies. L'une des TABs [3] donne les valeurs maximales (par unité) pour les charges résistives à angle de phase contrôlé (1700 VA monophasé, 3300 VA biphasé et 5000 VA triphasé équilibré) et pour les charges à redressement non contrôlé avec lissage capacitif (300 VA monophasé, 600 VA biphasé et 1000 VA triphasé équilibré). L'équipement standard VDE 0838 (EN 60555) est également défini.

Paramètre de la tension	Limites selon [4]
Fréquence	BT et MT : 50 Hz nominal (49,5 – 50,2)
Amplitude de tension	BT et MT : -10% - +5% de la valeur efficace moyennée sur 15 minutes
Harmoniques	BT : THDU $\leq$ 8%, chaque rang /U1 $\leq$ 5% MT : THDU $\leq$ 5%, chaque rang /U1 $\leq$ 3%
Coupures longues	BT et MT : 60 h/an jusqu'au 31 décembre 2004, 48 h/an après le 1 <sup>er</sup> janvier 2005

**Tableau 3 – recommandations concernant la qualité de la tension d'alimentation dans les réseaux de distribution polonais, selon [4]**

**En Pologne**, les règles de distribution d'énergie électrique établies par le gouvernement [4] donnent les paramètres fondamentaux de la tension d'alimentation (tableau 3) et ne se réfèrent pas à l'EN 50160. En outre, les consommateurs sont divisés en 6 groupes pour qui séparément, les temps totaux de coupure annuel sont définis. Ce document traite également en détail de nombreux aspects économiques du marché de l'énergie, des règles d'accord entre les entreprises de transport et de distribution, etc.

**En Italie**, il existe un document important traitant de la continuité de fourniture de l'alimentation [8]. L'autorité italienne de réglementation pour le gaz et l'électricité (AEEG) a en fait présenté un système uniforme d'indicateurs de continuité de service et a mis en place un système de bonifications et de pénalités afin d'élever progressivement le niveau de continuité et de rattraper les normes européennes. L'autorité a divisé le territoire national en 230 zones géographiques, sous-divisées par zone de densité de population, et a donné des objectifs d'amélioration pour chaque zone sur la base des résultats de l'année précédente. Les services publics qui réussissent à améliorer au-delà du taux requis peuvent récupérer les importants coûts supportés. A contrario, les entreprises doivent payer des pénalités si elles n'atteignent pas les objectifs fixés. Les coupures dues aux forces majeures, ou celles causées par des tierces parties ne sont pas incluses dans le calcul. L'objectif global de performance est d'élever les taux de continuité aux niveaux nationaux de référence basé sur les normes européennes : 30 minutes de coupure au total par utilisateur et par an dans les grandes agglomérations (densité élevée), 45 minutes dans les agglomérations moyennes (densité moyenne) et 60 minutes en milieu rural (faible densité). D'autres pays ont des systèmes similaires imposés par les autorités de régulation.

**Le Royaume-Uni** a un nombre important de documents constituant les règles de distribution. L'un des plus importants est le G5/4 présenté dans un autre chapitre du guide Power Quality [10], qui régit le niveau de charge harmonique au point de raccordement au réseau. Les mesures visant à encourager l'amélioration de la continuité de l'alimentation sont de la responsabilité de l'Office du Marché du Gaz et de l'Electricité (OFGEM).

## 7 Conclusions

Les exigences de l'EN 50160 ne sont pas difficiles à satisfaire pour les fournisseurs d'électricité. Les paramètres de la tension d'alimentation doivent rester dans un intervalle défini (Tableau 1) durant 95% de la période de test, tandis que les écarts possibles durant les 5 derniers % de la période sont plus importants. Par exemple, la valeur moyenne durant 95% du temps doit être entre 90% et 110% de la tension nominale. Cela signifie que, dans un cas extrême, l'utilisateur peut être alimenté en permanence à 90% de la tension nominale, tandis que durant 5% du temps, la tension peut être plus faible. Si, dans une telle situation, les autres paramètres sont également aux valeurs limites permises par la norme, par exemple le niveau de tension harmonique ou le déséquilibre de tension, alors le dysfonctionnement d'un équipement est probable.

Cette norme peut être améliorée. Par exemple, exiger les valeurs moyennes des paramètres de tension mesurés, durant la totalité de la période de test, dans la limite de  $\pm 5\%$  garantirait que la tension d'alimentation ne pourrait pas être maintenue à une valeur limite, haute ou basse, durant une période prolongée.

Le nombre de creux de tension permis (jusqu'à 1000 par an) et le nombre de coupures brèves ou longues sont plutôt élevés du point de vue du client. Les creux de tension de 30 % de la tension nominale d'une durée supérieure à 0,3 seconde peuvent provoquer le déclenchement des protections à manque de tension ou le relâchement des contacteurs moteurs. De ce fait, le nombre réel d'interruptions au niveau de l'utilisation sera plus important que le nombre attendu comme résultant des interruptions de tension au point de raccordement au réseau.

L'EN 50160 peut être interprétée comme étant un compromis entre distributeur et utilisateur. Elle demande que le distributeur fournisse au minimum une alimentation de qualité minimale adéquate. La plupart des distributeurs satisfont d'emblée ces exigences, dans une large mesure, mais sans garantie. Si l'utilisateur a des exigences plus importantes, des mesures d'atténuation peuvent être mises en oeuvre, ou un contrat spécifique pour la fourniture d'une énergie de plus grande qualité doit être négocié. Cependant, l'avantage important de la norme est :

- définition des paramètres de tension importants pour la qualité de l'énergie
- détermination quantitative des valeurs qui sont le point de référence dans l'évaluation de la qualité de l'énergie.

C'est à l'autorité de régulation de fixer un niveau de qualité qui demande les meilleures pratiques au distributeur, sans imposer un niveau trop élevé pour ne pas faire augmenter le prix de l'électricité.

## 8 Références et bibliographie

- [1] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.
- [2] IEC 038, IEC standard voltages, 1999.

- [3] Technische Anschlussbedingungen (Technical requirements of connection), VDEW.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000, w sprawie szczegółowych warunków przyłączania podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energia elektryczna, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dziennik Ustaw Nr 85, poz. 957 (Rules of detailed conditions of connection of consumers to the electrical power network and quality requirements in Poland).
- [5] Baranecki A et al, Poprawa jakości zasilania w sieciach NN i SN. (Improvement of supply quality in LV and MV networks), Elektronizacja 1-2/2001
- [6] Seipp G G, Elektrische Installationstechnik, Berlin – München, Siemens AG, 1993
- [7] DIN VDE 0100-100 (VDE 0100 part 100): 2002-08.
- [8] Decision 128/1999: Definizione di obblighi di registrazione delle interruzioni del servizio di distribuzione dell'energia elettrica e di indicatori di continuità del servizio.
- [9] Decision 144/00: Determinazione dei livelli effettivi base e dei livelli tendenziali di continuità del servizio per ogni ambito territoriale e per ogni anno del periodo 2000-2003 ai sensi dell'articolo 7 della deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 28 dicembre 1999, n. 202/99 e per la determinazione della media nazionale dei livelli tendenziali di continuità del servizio per l'anno 2004, ai sensi dell'articolo 9, comma 9.4, della medesima deliberazione.
- [10] Bibliothèque du guide Power Quality sur [www.leonardo-energy.org/France](http://www.leonardo-energy.org/France).