



QUALITÉ DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE- Polycopié préparé par Chennoufi Hakim

1 INTRODUCTION

La problématique de la qualité de l'électricité (expression anglo-saxonne "power quality") concerne tous les acteurs en présence, qu'ils soient gestionnaires de réseaux, utilisateurs de ces réseaux (producteurs ou consommateurs d'électricité), ou intervenants divers (fournisseurs d'électricité ou de services, organismes de régulation...).

Parmi tous ces acteurs, le gestionnaire de réseau occupe une position centrale. Sa responsabilité est de mettre en œuvre les moyens permettant de maîtriser la qualité aux interfaces entre le réseau et le monde extérieur (utilisateurs du réseau, réseaux voisins), dans le souci du respect du Règlement Technique et des contrats.

Le besoin de répondre à un ensemble de critères de qualité a toujours été présent dans ce domaine d'utilité publique. Ce besoin est d'autant plus sensible que la fourniture d'énergie par un réseau est caractérisée par un degré de "volatilité" qui est unique en son genre: la quantité d'énergie accumulée dans le réseau électrique stricto sensu correspond à quelques secondes de consommation.

Toutefois, le besoin de qualité a pris une acuité nouvelle dans le contexte de l'Union Européenne, en raison de la volonté de considérer l'électricité comme un "produit" dont le marché est en voie de libéralisation complète. Les réseaux de transport et de distribution deviennent accessibles à tout producteur cherchant à vendre son produit à n'importe quel consommateur, comme cela est pratiqué pour d'autres produits en empruntant le réseau routier. On comprend aisément que la "qualité" d'un produit véhiculé de la sorte doive être soumise à une vérification quantitative plus rigoureuse que les simples "règles de l'art" qui pouvaient suffire antérieurement.

Contrairement à l'électricité d'une pile, l'énergie desservie par un réseau comporte à la fois un produit et des "services associés", notamment l'aptitude à alimenter des charges perturbatrices et des charges sensibles aux perturbations.

1.1 LES PERTURBATIONS ET LA QUALITÉ DE L'ÉLECTRICITÉ

Depuis toujours, le fonctionnement - voire l'intégrité - de certains équipements électriques et électroniques est affecté par des "perturbations". Ces perturbations peuvent pénétrer dans les équipements sensibles par diverses voies :

- l'alimentation électrique : problème général considéré ici,

- les entrées et sorties de signaux, les connexions de terre, couplage inductif ou capacitif, rayonnement...: problèmes plus localisés de compatibilité électromagnétique dans les sites industriels.

L'alimentation électrique consiste en un système triphasé d'ondes de tension qui se caractérise par la fréquence, l'amplitude, la forme d'onde sinusoïdale et la symétrie du système triphasé. Une alimentation parfaite n'existe pas et, dans le langage courant, on dit que les quatre caractéristiques sont affectées de "perturbations", même si ces dernières restent limitées à des niveaux n'impliquant aucun dérangement pour les équipements sensibles.

1.2 QUALITE DE L'ELECTRICITE ET COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE (CEM)

1.2.1 Qualité de l'électricité

Pourquoi utiliser souvent l'expression anglaise "power quality" ? On rencontre nombre de traductions françaises de cette expression mais aucune ne fait vraiment l'unanimité : qualité de l'alimentation, qualité de la tension, qualité du courant, qualité de l'onde, qualité de la fourniture, qualité du produit, qualité de l'énergie électrique, qualité de l'électricité... Il est à remarquer que la traduction littérale "qualité de la puissance" n'est jamais utilisée, sans doute parce que l'expression originale "power quality" n'a pas beaucoup de sens.

Selon l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), on appelle "power quality problem" toute variation dans l'alimentation en puissance électrique, ayant pour conséquence le dysfonctionnement ou l'avarie d'équipements des utilisateurs, telle que : creux de tension, surtension, transitoire, fluctuations de tension, harmoniques, déséquilibre... Cependant, tous ces phénomènes affectent essentiellement la tension qui est fournie à l'utilisateur. Si ce dernier n'utilise pas de charge perturbatrice, le courant sera peut-être déformé, mais uniquement d'une manière qui résulte des caractéristiques de la tension fournie¹. C'est pourquoi on dit parfois que la qualité de l'électricité se réduit à la qualité de la tension ("power quality = voltage quality").

Cependant, l'expression "power quality" s'entend généralement dans une acception plus large : elle recouvre aussi le concept de "continuité de la tension" (ou "fiabilité de l'alimentation"). On ne peut évidemment parler de "qualité de la tension" que lorsque la tension est présente. En cas d'interruption de la tension ("brève" ou "longue" selon que la durée est inférieure ou supérieure à 3 min), c'est d'un problème de continuité de la tension (fiabilité de l'alimentation) qu'il faut parler : l'alimentation est d'autant plus fiable que le nombre annuel d'interruptions est petit et que leur durée moyenne est faible. L'équation correspondant à l'interprétation la plus correcte est donc :

$$\text{Qualité de l'Electricité} = \text{Continuité} + \text{Qualité de la Tension}$$

1.2.2 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Dans cet effort de clarification des concepts, on ne peut passer sous silence l'expression très courante de "Compatibilité Electromagnétique" (CEM). Où se situe la CEM vis-à-vis de la Qualité de l'Electricité ? La CEI (Commission électrotechnique internationale) définit la CEM comme l'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

- dans le cadre de la normalisation, on tend à utiliser CEM au sens large : il s'agit d'assurer la compatibilité par une bonne coordination des niveaux d'immunité des appareils sensibles et des niveaux d'émission des appareils perturbateurs ; cela couvre tous les phénomènes et c'est la philosophie des comités 77 en CEI et 210 en CENELEC (Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique);
- dans le langage courant, on considère le plus souvent que CEM et Qualité de l'Electricité couvrent deux domaines distincts, mettant en œuvre des techniques d'analyse et de compensation différentes, avec certains recouvrements (la Qualité de l'Electricité se soucie des perturbations à basse fréquence, pénétrant par l'alimentation électrique ; la CEM se soucie des perturbations à haute fréquence, ou des perturbations pénétrant par d'autres voies que l'alimentation électrique - les prises de terre, les entrées/sorties de signaux, par couplage inductif ou capacitif, par rayonnement).

La figure 1 et la figure 2 résument l'ensemble des considérations qui précèdent.

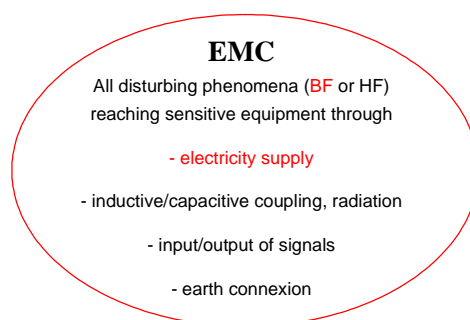


Figure 1 : La compatibilité électromagnétique (CEM) au sens large. La qualité de l'électricité en est un sous-ensemble, qui se limite aux perturbations à basse fréquence (< 9 kHz) touchant les équipements sensibles via l'alimentation électrique.

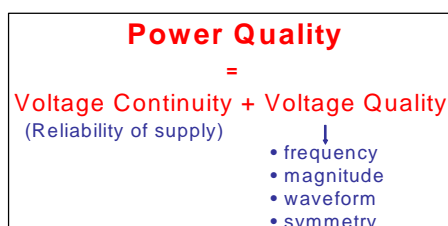


Figure 2 : Les composantes principales de la qualité de l'électricité



Figure 3 : Organismes de normalisation.

2 DEGRADATION DE LA QUALITE DE LA TENSION - LES PHENOMENES PERTURBATEURS

Les perturbations dégradant la qualité de la tension peuvent résulter de :

- défauts dans le réseau électrique ou dans les installations des clients : court-circuit dans un poste, une ligne aérienne, un câble souterrain, etc., ces défauts pouvant résulter de causes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), matérielles (vieillessement d'isolants...) ou humaines (fausses manœuvres, travaux de tiers...);
- installations perturbatrices : fours à arc, soudeuses, variateurs de vitesse et toutes applications de l'électronique de puissance, téléviseurs, éclairage fluorescent, démarrage ou commutation d'appareils, etc.

Nous allons poursuivre avec une description des principaux phénomènes qui peuvent affecter la qualité de la tension.

2.1 FREQUENCES

En ce qui concerne la fréquence, les variations lentes autour de la valeur nominale 50 ou 60 Hz sont généralement faibles. Dans les pays européens, dont les réseaux sont interconnectés, la norme EN 50160 précise 50 Hz \pm 1 % pendant 95 % d'une semaine, et [+ 4 %, - 6 %] en cas de perturbation très importante. La situation peut être différente dans un petit réseau isolé. Certains processus industriels nécessitent un réglage très précis de la vitesse des moteurs et peuvent subir des dysfonctionnements en cas d'alimentation par un groupe de secours improprement conçu.

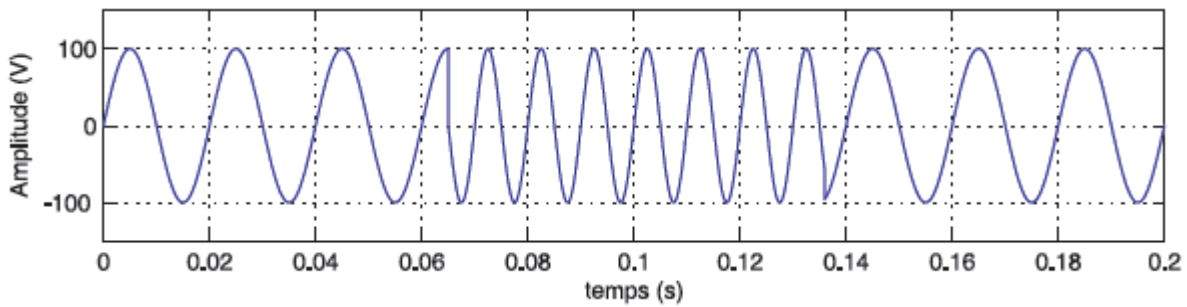


Figure 4 : Variation de la fréquence

2.2 CREUX DE TENSION

Un creux de tension est défini comme une baisse soudaine de 10 % ou plus de la tension nominale (V_n), touchant une ou plusieurs, phases, d'une durée comprise entre 10 ms à 1 minute.

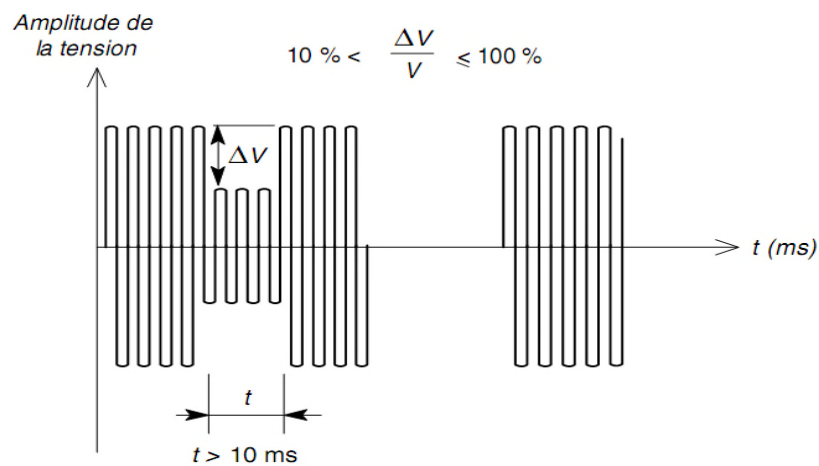


Figure 5 : Un creux de tension est caractérisé par :

- Sa profondeur (ΔV)
- Sa durée (Δt)

Les creux de tension sont dus :

- o Défauts sur l'installation: la mise en service d'appareils appelant un courant élevé au démarrage (gros moteurs).
- o Défauts sur le réseau: défaut d'isolement du matériel, blessure d'un câble souterrain provoquent des courts-circuits qui génèrent des chutes de tension importantes.
- o ils peuvent résulter de phénomènes atmosphériques (foudre, givre, tempête...), de défaillances d'appareils ou d'accidents.

Les creux de tension ont conséquences, qui peuvent être extrêmement coûteuses (temps de redémarrage se chiffrant en heures, voire en jours ; pertes de données informatiques ; dégâts aux produits, voire aux équipements de production...).

La plupart des creux de tension ont une durée de moins d'1 sec et une profondeur inférieure à 60 %.

Les creux de tension sont des perturbations brèves mais fréquentes qui touchent tous les

réseaux électriques et qui ne peuvent être évitées totalement.

Types d'Appareils	Conséquences Néfastes
<i>Eclairage</i>	Moins de luminosité, extension et ré-allumage (lampes à arc)
<i>Systèmes à basse d'électronique de puissance</i>	Arrêt du dispositif
<i>Dispositifs de protection</i>	Fusion fusible BT et ouverture des contacteurs
<i>Moteurs synchrones</i>	Perte de synchronisation, décrochage et arrêt du moteur
<i>Moteurs asynchrones</i>	Ralentissements, décrochage, surintensité.
<i>Conducteur</i>	Échauffement

Tableau 1 : Effet de creux de tension sur quelques équipements électriques

2.3 DESEQUILIBRE

Dans un système triphasé, état dans lequel la valeur efficace des tensions de phases ou les déphasages entre phases ne sont pas égaux.

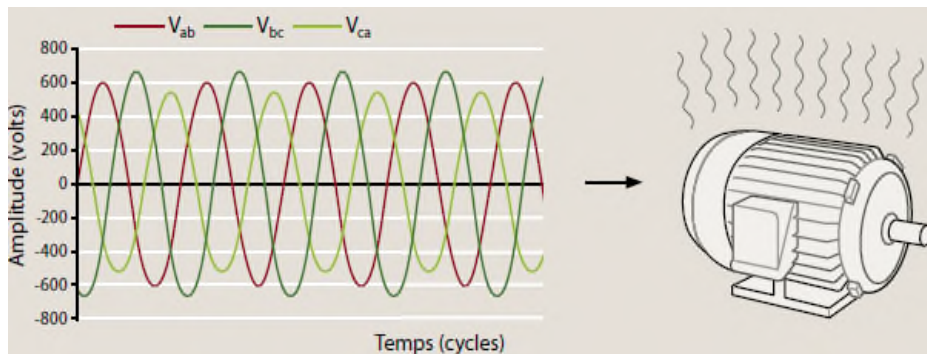


Figure 6 : Déséquilibre de phases

A. Origines (Causes)

Les déséquilibres de tension sont dues notamment à des charges mal équilibré, à des défaut non symétriques :

- Mauvaise répartition des branchements monophasés BT,
- Mauvais équilibrage des phases pour les branchements triphasés,
- Mauvaise répartition de l'éclairage publique,
- Coupure d'un pont BT,
- Fusion fusible BT,
- Mauvais raccordement (mauvais contact).

B. Conséquences

- Mauvais fonctionnement d'un appareil monophasé alimenté par une tension très faible.
- Destruction d'un appareil monophasé alimenté par une tension trop élevée .
- Concernant les dispositifs triphasés d'électronique de puissance, principalement les ponts redresseurs, le fonctionnement en présence de déséquilibre entraîne l'apparition des

harmoniques de rang multiple de 3.

- La conséquence des composantes inverses sur les machines tournantes est la création d'un champ tournant en sens inverse du sens de rotation normal, d'où un couple de freinage parasite et des pertes supplémentaires qui provoquent l'échauffement de la machine.
- Concernant l'effet du déséquilibre homopolaire, il faut signaler le risque d'échauffement du conducteur neutre.

C. Valeurs Typiques

Selon la norme [EN 50160], Pour chaque période d'une semaine, 95% des valeurs efficaces calculées sur 10 min de la tension d'alimentation doit se situer entre 0 et 2 % de la valeur nominale (ou Taux de Déséquilibre).

D. Etapes de Calcul de taux de Déséquilibre

Etape 1 - Mesurer les trois courants électrique :

$$I_C = 600 \text{ A}, I_B = 630 \text{ A}, I_A = 570 \text{ A}.$$

Etape 2 - Calculer le courant moyenne : $I_{\text{moyenne}} = (600+630+570) / 3 = 600 \text{ A}$

Etape 3 - Déterminer le courant qui présente le plus grand écart par rapport I_{moyenne} :

$$\Delta I = 630 \text{ A} - 600 \text{ A} = 30 \text{ A}$$

Etape 4 - Calculer le taux de déséquilibre :

$$\sigma_{\text{déséquilibre}} = (30 \text{ A} \div 600 \text{ A}) \times 100 = 5 \% \text{ (déséquilibre très élevé)}$$

Si le rapport est supérieur à 2 %, il est recommandé d'intervenir pour équilibrer les phases.

E. Solutions (Recommandations)

- Réhabilitations des réseaux basse tension (BT),
- Respect des calibrages des fusibles BT,
- Respect des règles et des procédures de réalisation des branchements BT,
- Montage d'actions de sensibilisation et formation,
- Traitement des réclamations.

2.4 SURTENSIONS

Les surtensions ont trois natures :

- Temporaires à fréquence industrielle,
- De manœuvre,
- D'origine atmosphérique.

2.4.1 Surtension temporaire à fréquence industrielle

C'est une augmentation brutale de la valeur efficace de la tension sur une ou plusieurs phases

(plus de 110 % de la tension nominale) pour une durée de 3 sec à 1 min, elles sont à la même fréquence que celle du réseau (50 Hz à Sonelgaz).

A. Origine :

- Un défaut d'isolement entre phase et terre (neutre isolé),
- Surtension sur une longue ligne à vide (effet Ferranti),
- Surtension par ferrorésonance,
- La surcompensation de l'énergie réactive,
- Exemple: réduction de la charge, ou élimination du court circuit.

2.4.2 Surtension de Manœuvre

Les surtensions de manœuvre découlent d'une modification de la structure du réseau électrique (bouclage des départs HTA).

A. Origine :

Les surtensions provoquées par la manœuvre de circuits capacitifs

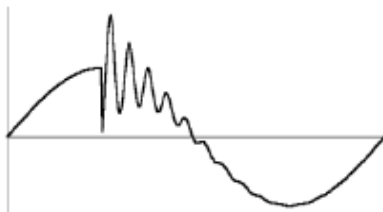


Figure 7 : Oscillation transitoire amortie due à l'enclenchement d'une batterie de condensateur

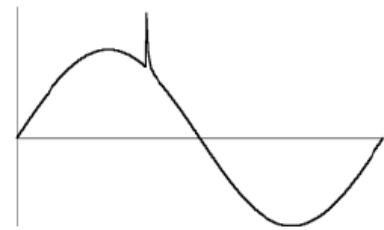


Figure 8 : Surtension transitoire due au déclenchement d'un appareil BT.

2.4.3 Surtension d'origine atmosphérique

Les réseaux de distribution aériens HTA et BT sont les plus affectés par les surtensions et surintensités d'origine atmosphérique (la foudre).

A. Origines :

- Les coups de foudre directs (sur une ligne ou sur une structure),
- Les effets indirects d'un coup de foudre (surtensions induites et montée en potentiel de la terre).

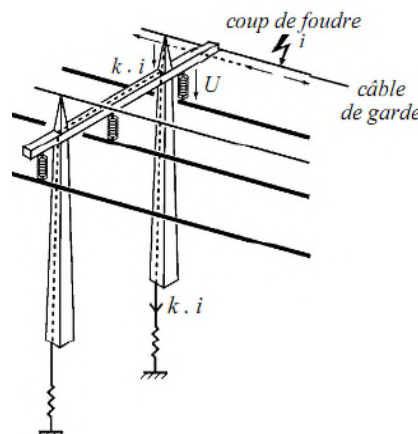


Figure 9 : Surtension d'origine atmosphérique (la foudre).

B. Conséquences

- Claquage diélectrique,
- Coupure longue entraînée par la destruction de matériel,
- Perturbations des circuits de contrôle, commande et de communication ,
- Arrêt ou démarrage incontrôlé des ME.

C. Solutions

1) Parafoudre : Les parafoudres à résistance variable avec éclateur sont les plus répandus dans les installations MT et HT en exploitation depuis quelques années. La tendance actuelle est vers les parafoudres à oxyde de zinc qui possèdent des performances meilleures. En effet leurs forte non linéarité et leur grande résistivité à l'état bloqué ($10^{12} \Omega.Cm$) ont permis de supprimer l'utilisation des éclateurs. Ils sont constitués de modules de longueur optimale et peuvent donc facilement être utilisés avec différentes tensions. Ils sont légers et facilement transportés jusqu'en haut des pylônes.

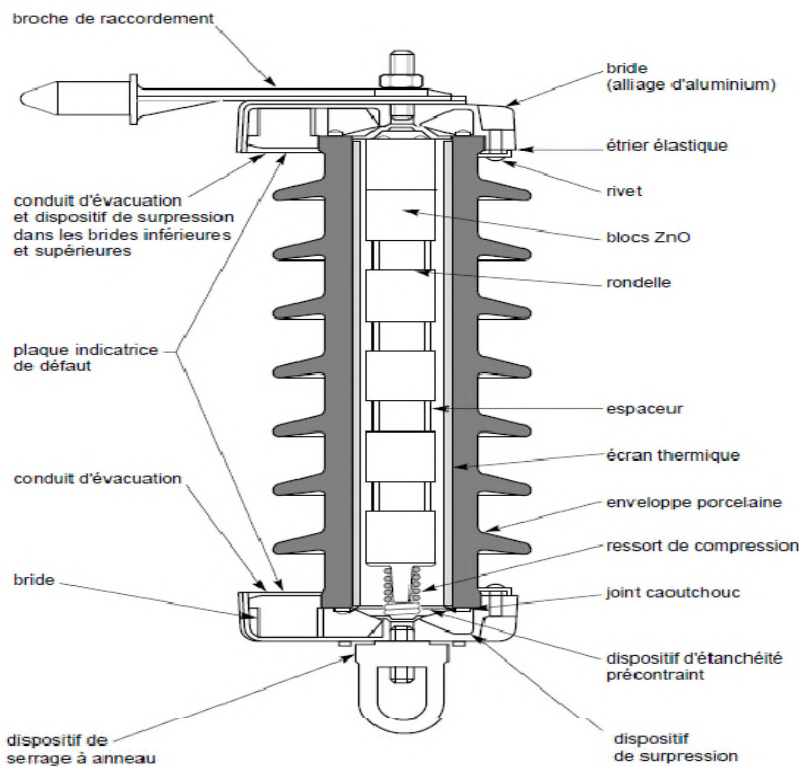


Figure 10 : Parafoudre à oxyde de zinc.

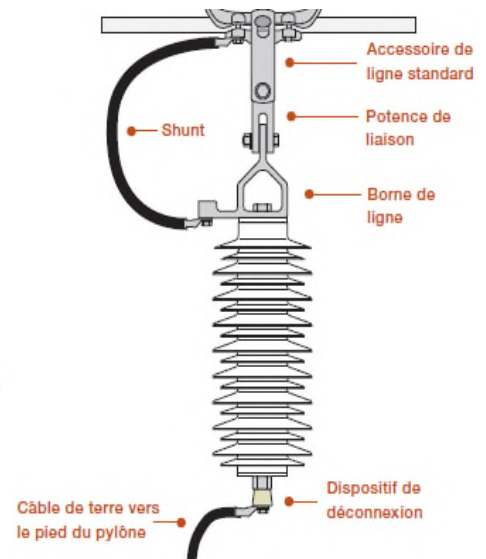


Figure 11 : Connexion du Parafoudre.

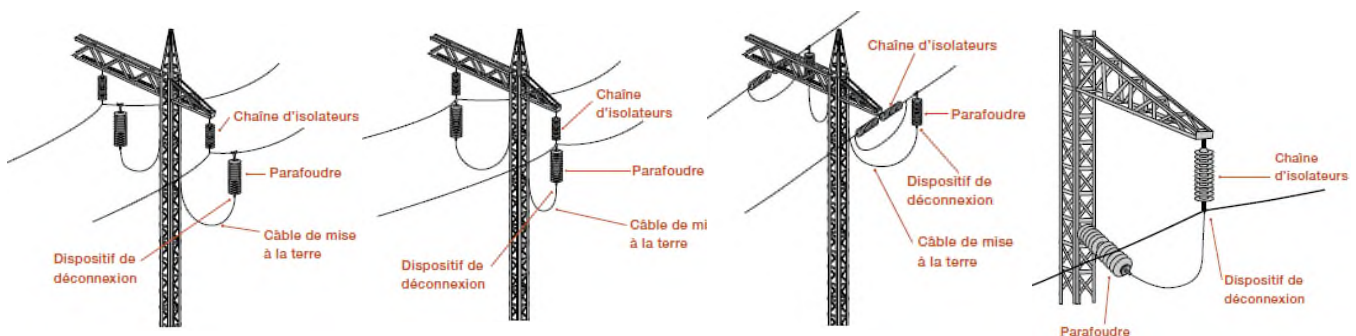


Figure 12 : Quelques possibilités de montage.

2) Éclateurs : Utilisés en MT et HT, ils sont placés sur les points des réseaux particulièrement exposés et à l'entrée des postes MT/ BT. Leur rôle est de constituer un point faible maîtrisé dans l'isolement du réseau, afin qu'un amorçage éventuel se produise systématiquement là. Le premier et le plus ancien des appareils de protection est l'éclateur à pointes. Il était constitué de deux pointes en vis-à-vis, appelées électrodes, dont l'une était reliée au conducteur à protéger et l'autre à la terre.

Les modèles actuels les plus courants sont basés sur ce même principe mais comportent deux «cornes» permettant d'allonger l'arc, de faciliter le rétablissement de qualités diélectriques par désionisation de l'intervalle d'amorçage et d'aboutir, dans certains cas, à l'extinction. Certains ont en plus, entre ces deux électrodes, une tige destinée à éviter le «court-circuitage» intempestif par les oiseaux et leur électrocution. Ce dispositif simple et économique, présente de nombreux inconvénients, aujourd'hui sur les réseaux d'énergie à moyenne et haute tension, l'éclateur est une technologie de protection en voie de disparition et est remplacé par les parafoudres. Parmi les inconvénients majeurs, on peut citer :

- La tension d'amorçage présente une dispersion importante. En effet, elle dépend fortement des conditions atmosphériques ; des variations de plus de 40 % ont pu être observées ;
- Le niveau d'amorçage dépend aussi de l'amplitude de la surtension ;
- L'amorçage de l'éclateur provoque un court-circuit phase terre à fréquence industrielle en raison du maintien de l'arc, celui-ci dure jusqu'à son élimination par les appareils de coupure (ce court circuit s'appelle courant de suite). Cela rend nécessaire l'installation de disjoncteurs shunt ou de dispositifs de réenclenchement rapide sur les disjoncteurs situés en amont. De ce fait, les éclateurs sont inadaptés à la protection d'une installation contre les surtensions de manœuvres.

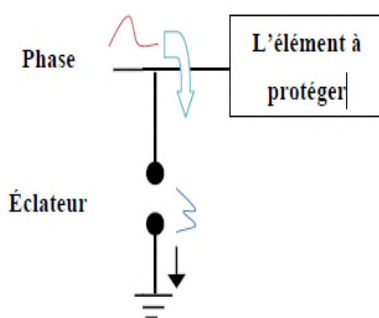


Figure 13 : Schéma d'un éclateur.



Figure 14 : Photo d'un éclateur à air.

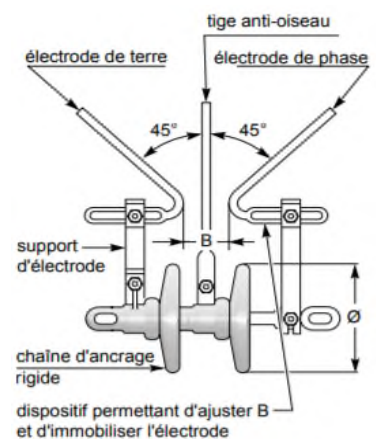


Figure 15 : un éclateur MT avec tige anti-oiseaux exemple : sur les réseaux EDF 24 kV, B ≈ 25 mm.

3) Paratonnerre : Trois types de protection du bâtiment sont utilisés :

a. Le paratonnerre à fil tendu

Ces fils sont tendus au dessus de la structure à protéger. Ils sont utilisés pour protéger des structures particulières : aires de lancement de fusées, applications militaires et protection des lignes aériennes à haute tension.

b. Le paratonnerre à tige simple

Le paratonnerre à tige est une pointe de capture métallique placée au sommet du bâtiment. Il est mis à la terre par un ou plusieurs conducteurs (souvent des bandes de cuivre).

c. Le paratonnerre à cage maillée (cage de Faraday)

La protection par cage maillée consiste en l'installation, en surface d'un bâtiment, d'une cage de Faraday à larges mailles, reliées au sol à des prises de terre. Des tiges de faibles dimensions (0,5 mètre), appelées pointes de choc sont disposées tout autour des mailles des toitures et sur toutes les émergences (cheminées, antennes, etc.)

La taille des mailles ainsi que la distance entre deux descentes sont en fonction du niveau de protection à réaliser comme décrit dans la NF C 17-100.

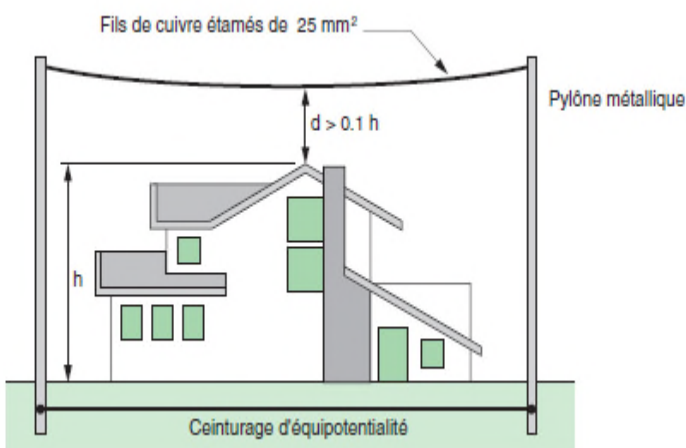


Figure 16 : Exemple de protection contre la foudre par paratonnerre à fils tendus.

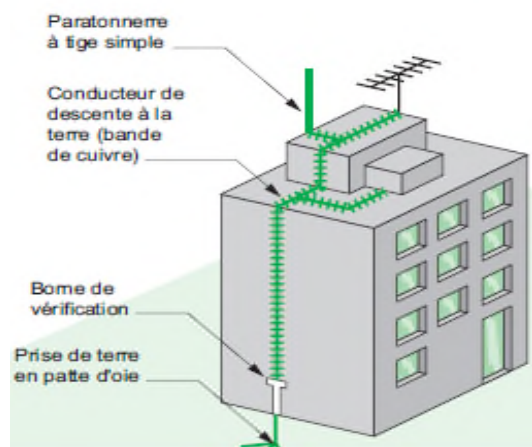
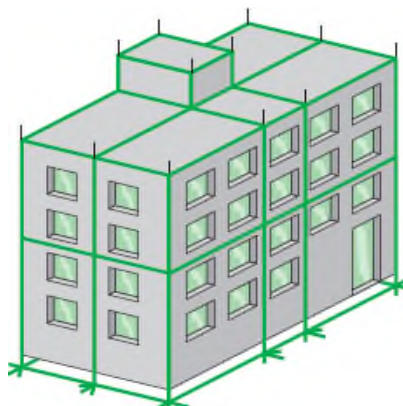


Figure 17 : Protection par un paratonnerre à tige simple.

Figure 18 : Exemple de protection contre la foudre utilisant le principe de la cage maillée (cage de Faraday).



2.5 VARIATION DE TENSION

Les variations de tension peuvent être distinguées en "variations lentes" (baisse de tension provoquée par des lignes sous-dimensionnées ou des surcharges), de "surtensions" (augmentations notables de la valeur efficace de la tension de ligne qui surviennent lorsque les industries n'absorbent pas d'énergie) et de "variations rapides" (baisse provoquée, par exemple, par l'activation d'utilisateurs tels que lampes à décharge, pointeuses, moteurs électriques de grandes dimensions, etc.). Toutes ces conditions ont un impact négatif sur la qualité de l'alimentation).

2.5.1 Variations Lentes de la Tension

Dans le cas des fluctuations lentes de la tension, la valeur efficace de la tension de fourniture (U_f) évolue de quelques pour-cent autour de la tension nominale U_n en BT et contractuelle U_c en HTA, mais reste assez stable à l'échelle de quelques minutes. La valeur efficace de la tension est mesurée en moyenne sur une durée de dix minutes. La tension de fourniture en un point du réseau peut fluctuer, à l'échelle journalière, hebdomadaire ou annuelle, sous l'effet de variations importantes de la charge des réseaux ou des changements des schémas d'exploitation (suite par exemple à des aléas de production ou des avaries). Des dispositifs de réglage de la tension installés dans les postes de transformation du Distributeur contribuent à limiter ces fluctuations.

Dans les conditions normales d'exploitation, en dehors des situations faisant suite à des défauts ou à des interruptions, la norme EN 50-160 fixe les plages suivantes de fluctuations lentes de la tension : des valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes

- Basse Tension (BT) : pour chaque période d'une semaine, 95% des valeurs de U_f doivent se situer dans la plage 230 V (ou 400 V) $\pm 10\%$ et 100% des valeurs de U_f doivent se situer dans la plage 230 V (ou 400 V) -15 %, + 10 %.
- Haute Tension (HTA) : pour chaque période d'une semaine, 95 % des valeurs de U_f doivent se situer dans la plage $U_c \pm 10\%$.

2.5.2 Variations Rapides de la Tension - Surtensions Transitoires

Les surtensions de durée inférieure à 10 ms sont appelées surtensions transitoires. Ces surtensions sont provoquées par des phénomènes d'origine atmosphérique (foudre) ou, plus fréquemment, par le fonctionnement d'équipements électriques (commutations de charges plus ou moins inductives produisant des surtensions transitoires à haute fréquence). Ces phénomènes transitoires peuvent également survenir lors de la commutation de deux thyristors, provoquant entre les deux phases un court-circuit de très courte durée. Le temps de montée peut varier de

moins de quelques microsecondes à plusieurs millisecondes. Ces surtensions en BT sont généralement inférieures à 800 V, mais elles peuvent dépasser 1000 V suite à la fusion d'un fusible.

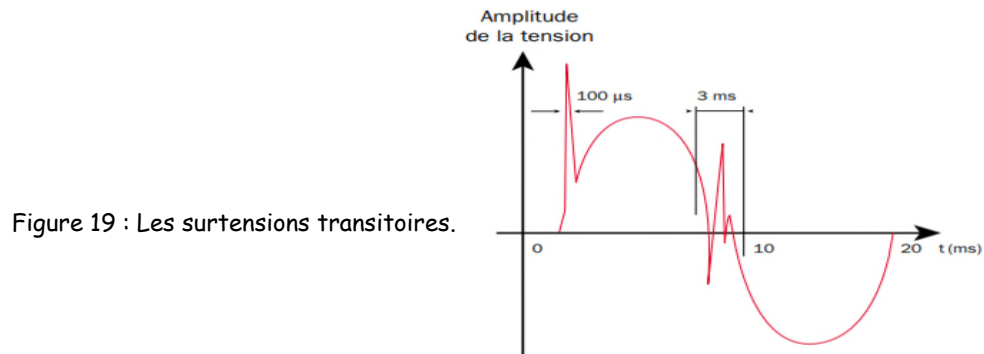


Figure 19 : Les surtensions transitoires.

2.5.3 Flicker ou Fluctuations Rapides de Tension

Alors que la tension se présente normalement sous la forme d'une sinusoïde pure, on peut parfois observer des variations très rapides. Celles-ci provoquent un effet de scintillement ou papillotement de la lumière appelé flicker. Il se caractérise par deux paramètres selon la durée de mesure : le flicker courte durée Pst (intervalle de temps de 10 minutes) et le flicker longue durée Plt (intervalle de temps de 2 heures).

Le flicker est en réalité un calcul statistique, défini par la norme EN IEC 61000-4-15, calcul issu de la mesure des variations rapides de tension. Ces variations rapides de tension sont en général causées par la mise en marche de charges variables comme des fours à arc, des imprimantes laser, des micro-ondes ou des systèmes d'air conditionné.

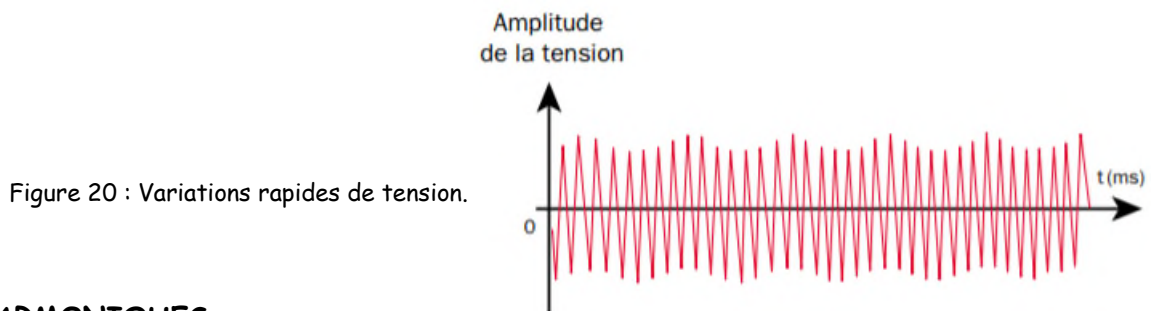


Figure 20 : Variations rapides de tension.

2.6 HARMONIQUES

Dans de nombreux cas, le courant consommé par les charges n'a plus une forme de sinusoïde pure. La distorsion en courant implique une distorsion de la tension dépendant également de l'impédance de source. Les perturbations dites "harmoniques" sont causées par l'introduction sur le réseau de charges non-linéaires comme les équipements intégrant de l'électronique de puissance (variateurs, onduleurs, convertisseurs statiques, gradateurs de lumière, postes de soudure). Plus généralement, tous les matériaux incorporant des redresseurs et des électroniques de découpage déforment les courants et créent des fluctuations de tension sur le réseau de distribution basse tension. C'est la concentration de nombreux "pollueurs" en harmoniques qui génère énormément de perturbations sur le réseau.

Charge linéaire

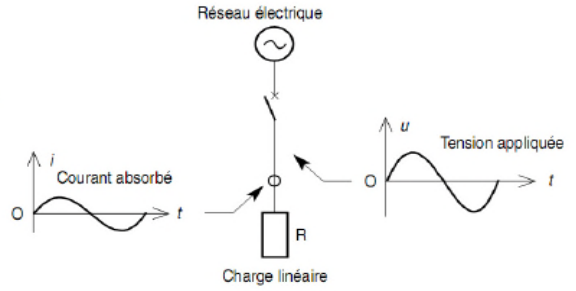
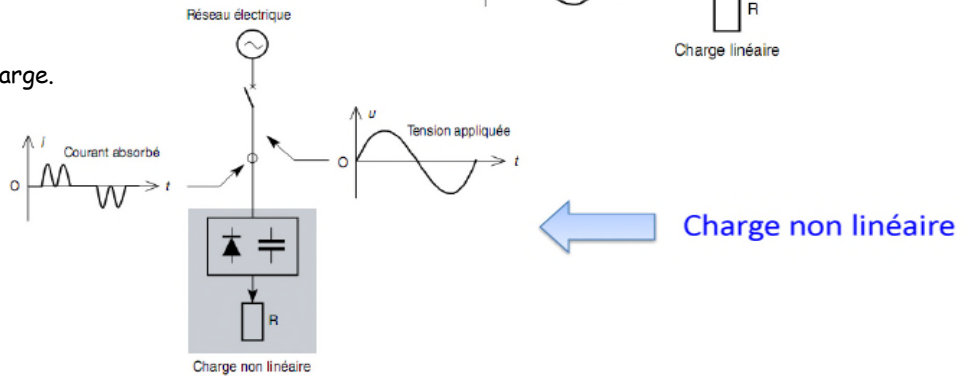


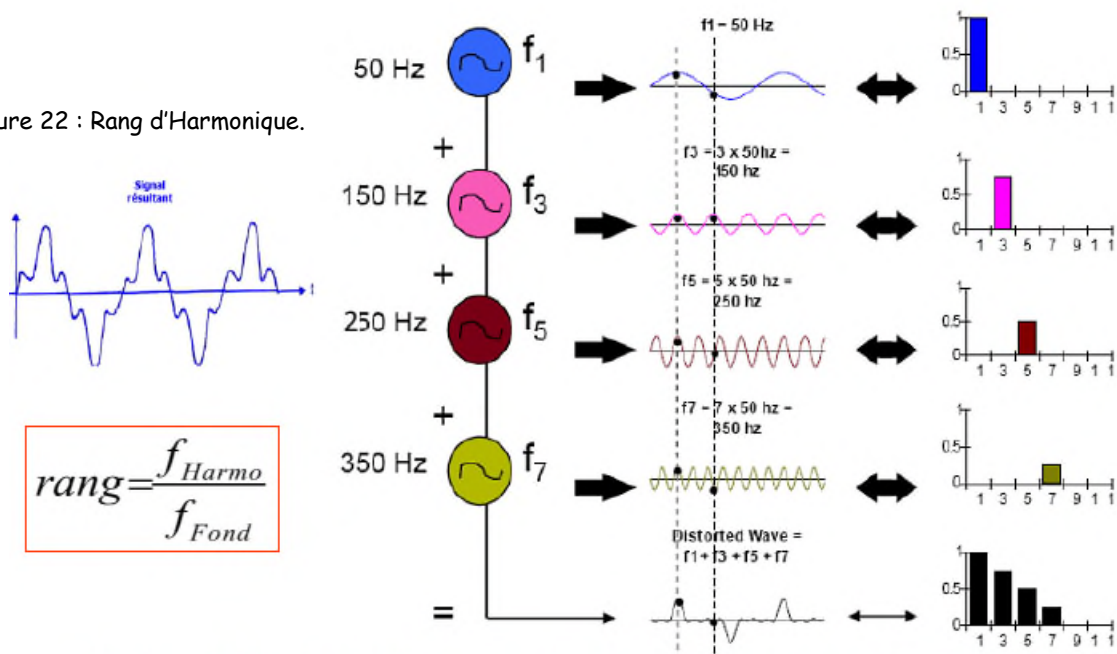
Figure 21 : Effet de la charge.



Charge non linéaire

On appelle harmonique une superposition sur l'onde fondamentale à 50 Hz, d'ondes également sinusoïdales mais de fréquences multiples de celle du fondamental. Afin de mesurer les harmoniques "courant" ou "tension", on utilise la transformée de Fourier permettant de décomposer un signal périodique en une somme de signaux sinusoïdaux multiples de la fréquence fondamentale. Toutes ces harmoniques peuvent être additionnées : la résultante en est le THD (Total Harmonics Distortion). Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 et 2000 Hz, soit de l'harmonique de rang 2 jusqu'à l'harmonique de rang 40. Les niveaux maxima rang par rang sont définis dans les normes CEI 61000-2-2 pour la BT et CEI 61000-2-12 pour la MT.

Figure 22 : Rang d'Harmonique.



Un signal déformé est la somme des signaux sinusoïdaux, d'amplitudes, de fréquences et multiples de la fréquence du signal fondamental.

A suivre

يتبع
