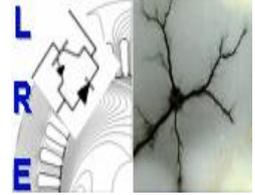


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electrotechnique
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique



Mémoire de Master En Electrotechnique

Présenté par :
LADJEL Loukmane

Intitulé

ETUDE DE LA QUALIMETRIE

Directeur du mémoire :

M.O.Mahmoudi	Professeur	ENP
H.Sahraoui	Docteur	ENP
T.Zebbadji	Docteur	ENP

ENP 2013

ملخص:

لقد تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة نوعية الطاقة الكهربائية ابتداءً بدراسة كل العوامل المؤثرة عليها متتبعين كافة النظم المتفق عليها دولياً التي تحدد بالنسبة إلى كل مشوش العلامات المعرفة لنوعية الطاقة.
الكلمات المفتاحية: نوعية الطاقة الكهربائية, النظم, المشوش

Résumé

Nous avons abordés dans ce travail la notion de la qualité de l'énergie électrique en citant d'abord les différents éléments perturbateurs tout en évoquant les différentes normes qui définit les perturbations de l'énergie électriques ainsi que les indices représentatifs de la qualité de la tension.

Mots Clés : Normes, Qualité d'énergie, Perturbateurs

Abstract:

In this work we have studied the concept of electrical power quality and the phenomena's that's affect it, to do that we explored the different international norms that defines those phenomena's and we studied the different tool to evaluate the energy quality.

Key words: Power Quality, perturbations, norms.

Remerciement

Nous remercions Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné le courage, la force et la volonté de réaliser ce Modeste travail.

*Nous remercions en premier lieu Monsieur **R.TAHMI**, notre promoteur sans qui ce travail n'aurait pas été possible, son aide, son appui moral, et ses qualités humaines nous ont été d'un apport inestimable.*

Dédicaces

*À mes très chers parents
À mon frère et à mes Sœurs,
À toute ma famille,
À tous mes amis,
À tous ceux qui me sont chers,
Je dédie ce mémoire.*

Loukmane

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : LES PERTURBATIONS ELECTRIQUES	
Introduction :.....	2
2. Les perturbations électriques :.....	2
2.1 Les perturbations électriques affectant la forme d'onde :.....	2
2.2 Les perturbations électriques affectant la fréquence :	2
2.3 Les perturbations électriques affectant l'amplitude :.....	2
2.4 Les perturbations électriques affectant la symétrie :.....	2
3 Harmoniques et inter harmoniques.....	3
3.1 Définition :	3
3.2 Origines :.....	3
3.2.1 Harmoniques :.....	3
3.2.1.1 Systèmes d'électricité:	3
3.2.1.2 Charges industrielles :	3
3.2.2 Interharmoniques :	3
3.3 Effets Des Harmoniques :.....	4
3.3.1 Effets instantanés :.....	4
3.3.2 Effets à long terme :	4
3.3.3 Inter harmoniques :	4
4 Fluctuations de tensions et Flicker	5
4.1 Définitions :.....	5
4.2 Origines :.....	5
4.3 Effets :.....	5
5 Creux de tension et coupures brèves	5
5.1 Définitions :.....	5
5.1.1 Creux de tension :	5
5.1.2 Coupure de tension :.....	6
5.2 Origines :.....	6
5.3 Effets :	7
6 Surtensions.....	7
6.1 Définitions :.....	7
6.2 Origines	7
6.2.1 Surtensions à fréquences industrielles :.....	7
6.2.1.1 Défauts d'isolement :	7
6.2.1.2 La Ferrorésonance :	8
6.2.2 Les surtensions de manœuvre :.....	8
6.2.3 Les surtensions atmosphériques :.....	8
6.3 Effets.....	8
7 Déséquilibre	9
7.1 Définitions	9

7.2 Origines	9
7.3 Effets.....	10
8 Conclusion.....	10
CHAPITRE II : LES INDICES REPRESENTATIFS DE LA QUALITE DE TENSION	
1 Introduction :.....	11
2 Harmoniques.....	11
2.1 Les indices représentatifs de la qualité de la tension :.....	11
2.2 Comparaison d'indices existant :.....	12
2.3 Indices pour les niveaux de planifications :.....	14
2.3 Indices pour la caractéristique de la tension :.....	14
2.3.1 Indices de site :.....	14
2.3.2 Indices de système :.....	14
2.4 Catégorisation et échantillonnage de site :.....	14
2.5 Considération sur la surveillance des harmoniques :.....	14
3 Flickers	14
3.1 Indices existants.....	15
3.2 Comparaison des indices de flicker :.....	16
3.3 Indices pour les niveaux de planification :.....	17
3.4 Indices pour la caractéristique de la tension :.....	18
3.4.1 Indices de site :.....	18
3.4.2 Indices de système :.....	18
3.5 Considération pour la surveillance du Flicker :.....	18
4 Déséquilibre	18
4.1 Indices existants :.....	18
4.2 Comparaison des indices de déséquilibre :.....	20
4.3 Indices pour les niveaux de planification :.....	20
4.3.1 Indices de site :.....	21
4.3.2 Indices de système :.....	21
4.4 Considération sur les indices du déséquilibre :.....	21
5 Creux de tension	22
5 .1 Indices existants :.....	22
5.1.1 Indices du creux de tension individuels :.....	22
5.1.2 Autres caractéristiques :.....	22
5.2 Méthodes de relevé de creux tension pour un site ou pour un système :.....	22
5.2.1 Indice SARFI :.....	22
5.2.2 Table Amplitude-Durée :.....	23
5.2.3 Diagramme de zones de performances/Sensibilité aux creux :.....	24
5.3 Comparaison entre les indices de creux :.....	25

5.3.1 Indice SARFI :.....	25
Avantages :.....	25
Inconvénients :.....	25
5.3.2 Table UNIPEDE :	25
Avantage :	25
Inconvénient :	25
5.3.3 Table selon CEI 1000-2-8, [15] :	25
Avantage :	25
Inconvénient :	26
5.3.4 Table selon NRS 048-2, 2003, [19] :.....	26
Avantage :	26
Inconvénient :	26
5.4 Evènements singuliers(E.S) :.....	26
5.5 Indices de site.....	26
5.6 Indices de système	27
5.7 Agrégation du temps	27
CHAPITRE III : SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES ET NORMATIVES DES INDICES DE QUALITÉ DE LA TENSION	
1 Introduction	28
2 Application des objectifs de qualité	28
2.1 Conditions normales :	28
2.2 Surveillances	28
3 Harmoniques.....	28
3.1 Objectives de qualités existants :	28
3.2 Comparaison entre les objectives de qualités existants :	29
3.3 Objectives pour les niveaux de planification :	29
3.4 Objectives pour les caractéristiques de la tension :	29
4 Flicker.....	30
4.1 Objectives de qualités existants.....	30
4.2 Objectives pour les niveaux de planifications :	30
4.3 Evaluation des coefficients de transfert Flicker:	31
4.4 Objectives pour les caractéristiques de la tension :	31
5 Déséquilibre	31
5.1 Objectives de qualités existantes :.....	31
5.2 Objectives pour les niveaux de planification :	32
5.3 Objectives pour la caractéristique de la tension :	33
6 Creux de tension	33
6.1 Objectives de qualités existants :	33

Table de Matières

6.1.1 Normes ou guides internationaux :	33
6.1.2 Normes ou guides nationaux :	33
6.2 Indices de site et de système :	34
7 Conclusion :	34
CONCLUSION GENERALE.....	36
BIBLIOGRAPHIE.....	37

Liste des Figures

<i>Figure 1.1: Harmoniques</i>	3
<i>Figure 1.2 : Fluctuation de la tension et Flicker</i>	5
<i>Figure 1.3 : creux de tension et coupure brève</i>	6
<i>Figure 1.5 : Déséquilibre de Tension</i>	9

<i>Tableau 1.1 : Effets des harmoniques</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2.1: Indices d'harmoniques de tension selon les publications CEI.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 2.2: Comparaison des indices d'harmonique entre différentes Normes & Guides....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 2.3:Indices de flicker prescrit par la CEI</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 2.4:comparaison des indices de flicker entre différents Normes et Guides.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 2.5:Indices de déséquilibre de la tension selon la CEI et la CIGRE</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 2.6:Comparaison des indices de déséquilibre entre différentes Normes & Guides ..</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 2.7 : Résumé des indices de site recommandés dans la littérature pour les perturbations en régime permanente</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 2.8:Table des densités comme recommandées par l'UNIPÉDE.</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 2.9: Présentation des résultats selon la norme CEI 61000-2-8.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau2.10: Présentation de résultats basée sur la CEI 61000-4-11 selon IEEE.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 2.11: Méthode de rapportage de creux selon NRS-048-2 : 2003 [19].</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 3.1: Valeurs indicatives de niveaux de planification de tensions harmoniques (en % de la tension nominale) en HT et THT selon la CEI 61000-3-6, [13].</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 3.2: Valeurs harmoniques recommandées pour les caractéristiques de la tension en MT - HT - THT.</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 3.3 : Objectifs relatifs au flicker.</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 3.4 : Valeurs recommandées pour les niveaux de planification du Flicker en MT-HT-THT.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 3.5 : Comparaison entre les objectifs de déséquilibre de tension.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 3.6: Valeurs indicatives du déséquilibre de tension recommandées pour les niveaux de planification (en MT - HT - THT).....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 3.7 : Valeurs du déséquilibre de tension recommandées pour les caractéristiques de la tension (en MT - HT - THT).</i>	<i>33</i>

Introduction Générale :

Ces dernières années ont vu l'augmentation de la consommation d'énergie électrique, des charges non linéaires ainsi que la généralisation de l'électronique de puissance dans les équipements industriels. De plus en plus sophistiqués, leur installation et leur utilisation ne s'accompagnent pas systématiquement d'une maîtrise parfaite et d'une qualité optimale de la consommation de l'énergie électrique. Plus sensibles aux perturbations d'origine électrique, et souvent même perturbateurs ce développement croissant des processus industriels les rend de plus en plus sensibles à la qualité de l'alimentation en énergie électrique. Utilisateurs et distributeurs doivent être très vigilants face aux imperfections de la tension dont ils devront mesurer les incidences financières.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit justement dans l'étude de la qualité de l'énergie électrique en présentant d'abord les différentes perturbations électriques qu'affectent les réseaux électriques, les différents indices représentatifs de la qualité de la tension, finissent par un bilan comporte les spécifications techniques et normatives des indices de la qualité de la tension.

1.Introduction :

Les préoccupations et l'intérêt pour les problèmes de la qualité de l'énergie se font de plus en plus vifs. Ceci est lié à l'accroissement des charges non linéaires qui contribuent à modifier les caractéristiques des signaux de tension et de courant, Les compagnies d'électricité doivent fournir à leurs clients une tension ayant une fréquence constante égale à la fréquence fondamentale, 50Hz en Algérie, et ayant une amplitude constante.

Flicker, creux de tension, harmoniques, variations de fréquence, surtensions... constituent un ensemble de paramètres à surveiller pour analyser la qualité du réseau électrique.

La qualimétrie offre des outils de collecte et d'analyse simplifiée pour aider les industriels à diagnostiquer leurs dysfonctionnements électriques ainsi elle contribue à une optimisation de la consommation tout en apportant des éléments pour réduire la facture énergétique, [1].

2. Les perturbations électriques :

L'électricité fournie aux utilisateurs est, dans certains cas, perturbée ou momentanément interrompue. On parle dès lors de dégradation de la **qualité de la tension**.

L'onde électrique subit tout au long de son cheminement vers l'utilisateur des agressions qui altèrent les caractéristiques physiques de l'onde : la constance de la fréquence et de l'amplitude, la pureté de la forme sinusoïdale de l'onde et sa symétrie.

La variation de ces caractéristiques a de multiples origines et de périlleuses conséquences. S'il est coutume d'en blâmer seul le gestionnaire du réseau de transport, les faits sont présent tout autres .La dégradation de la qualité de la tension est due à des modifications de charge du réseau, à des perturbations produites par certains équipements et à l'apparition de défauts principalement attribuables à des causes externes.

La tension électrique fournie aux consommateurs présente, dans le cas idéal, des alternances régulières selon une sinusoïde parfaite d'amplitude et de fréquence constantes.

En pratique, les réseaux électriques sont le plus souvent le siège de phénomènes perturbateurs qui affectent, différemment, les caractéristiques de la tension. On peut, en se basant sur ces caractéristiques, classifier les perturbations électriques en quatre grandes familles :

2.1 Les perturbations électriques affectant la forme d'onde :

Cette onde n'est plus sinusoïdale et peut être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des harmoniques.

2.2 Les perturbations électriques affectant la fréquence :

Ces perturbations sont rares et ne sont observées que lors de circonstances exceptionnelles par exemple lors de certains défauts de grande ampleur au niveau de la production ou du transport.

2.3 Les perturbations électriques affectant l'amplitude :

Ces sont des perturbations qui affectent la tension sous forme d'un dépassement de l'ordre de $\pm 10\%$ de la tension nominale. Elles se manifestent sous forme de creux, de surtension ou de coupures brèves de tension.

2.4 Les perturbations électriques affectant la symétrie :

Dans un système triphasé, l'alimentation de charges monophasées entraîne des dispersions sur les amplitudes.

Nous traiterons dans les paragraphes qui suivent les perturbations électriques les plus communément rencontrées à savoir : harmoniques et inter-harmoniques, flicker, creux de tension, surtension et le déséquilibre.

3 Harmoniques et inter harmoniques

3.1 Définition :

Les harmoniques sont des tensions ou des courants sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence pour laquelle le réseau est construit (50 Hz), fig.1.1 Dans certains cas particuliers, des fréquences non multiples de la fréquence contractuelles apparaissent dans le réseau, c'est les interharmoniques.

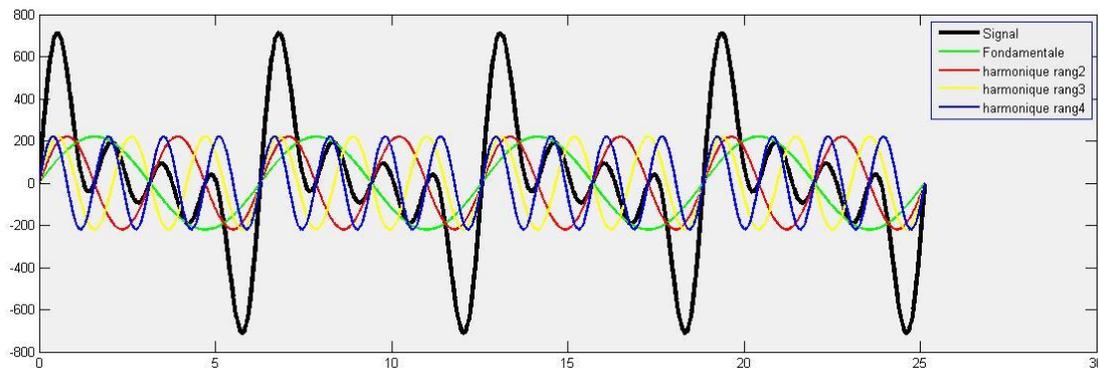


Figure 1.1: Harmoniques

3.2 Origines :

3.2.1 Harmoniques :

Produites en générales par des charges non-linéaire. Les courants harmoniques produits par les différentes sources, s'ajoutent vectoriellement, provoquant des chutes de tension harmonique sur les impédances du réseau.

Les tensions/courants harmoniques sont produits en majorités par les charges domestiques et industrielles qui provoquent la plus grande proportion des courants harmoniques avec des niveaux de distorsion relativement élevés.

3.2.1.1 Systèmes d'électricité:

Ces sont les appareils utilisés par les fournisseurs de l'électricité, en particulier les alternateurs, les transformateurs et plus récemment, sur une échelle qui s'accroît, des appareils comme les compensateurs statiques et les convertisseurs statiques.

3.2.1.2 Charges industrielles :

Les convertisseurs de puissance peuvent être des sources de niveaux notables de distorsion harmonique, on trouve, les fours à induction, les fours à arc, etc.

Les redresseurs sont actuellement les plus gênants par leur importance en nombre ou en puissance. Les hacheurs et les cyclo-convertisseurs absorbent des courants non sinusoïdaux comportant des harmoniques et des interharmoniques.

La présence d'harmoniques non caractéristiques est due aux imprécisions des valeurs des angles d'allumage, au déséquilibre des tensions d'alimentation et à toute cause susceptible d'affecter l'équilibre du pont.

3.2.2 Interharmoniques :

Les interharmoniques sont émises par des charges non linéaires. La plus grande majorité est générée par les convertisseurs de fréquences statiques tels que les variateurs de vitesse pour les moteurs asynchrones.

Les fours à arc sont également une grande source de courants interharmoniques. De simples machines tournantes peuvent aussi générer des courants interharmoniques basse fréquence en présence d'une charge fluctuante, mais, par rapport aux perturbations générées par les des convertisseurs, leur amplitude est peu importante, [2].

3.3 Effets Des Harmoniques :

Les effets nuisibles des harmoniques sur les appareils sont instantanés ou à long terme.

3.3.1 Effets instantanés :

Ces effets concernent les défauts, les mauvais fonctionnements ou la diminution des performances subis par des dispositifs, dus au déplacement du passage par zéro de l'onde de tension. Les dispositifs de régulation, les appareils électroniques et les calculateurs y sont particulièrement sensibles.

De grandes amplitudes harmoniques peuvent provoquer un mauvais fonctionnement des récepteurs de télécommande centralisée et des relais de protection.

3.3.2 Effets à long terme :

Les effets à long terme sont essentiellement de nature thermique. Les pertes Supplémentaires et les sur échauffements qui apparaissent dans les condensateurs, les machines tournantes, et les transformateurs peuvent diminuer la durée de vie de ces appareils et parfois même les endommager.

Le tableau suivant résume l'effet des harmoniques sur les principaux appareils :

Matériels	Les effets
Machines synchrones	Echauffements.
Transformateurs	Pertes supplémentaires.
Machines asynchrones	Echauffement supplémentaire, notamment dans les cages doubles ou à encoches profondes. Couples pulsatoires.
Câbles	Pertes ohmiques et diélectriques supplémentaires
Ordinateurs	Troubles fonctionnels
Electronique industrielle, Ponts redresseurs	Troubles liés à la forme d'onde
Régulateurs volt-métriques de transformateurs	Mesure de tension faussée.
Relais de télécommande	Déclenchement intempestif.
Compteur d'énergie à induction	Dégradation de la classe de précision
Condensateur de puissance	Echauffement, Vieillesse rapide.

Tableau 1.1 : Effets des harmoniques

La plupart des effets gênants des harmoniques sont dus aux harmoniques de tension, mais les courants harmoniques peuvent également provoquer des effets directs comme la perturbation du réseau téléphonique.

3.3.3 Inter harmoniques :

Les interharmoniques peuvent perturber les récepteurs de télécommande sur des

fréquences discrètes : cas des moteurs asynchrones et des fours à arc. Un phénomène de flicker peut aussi apparaître, [3].

4 Fluctuations de tensions et Flicker

4.1 Définitions :

Le flicker consiste en des variations de tension de courte durée, résultant de commutations, de court-circuit ou de modifications de la charge. L'amplitude admissible du flicker ne dépasse pas normalement le domaine défini par la CEI 61000-4-38 (jusqu'à $\pm 10\%$).

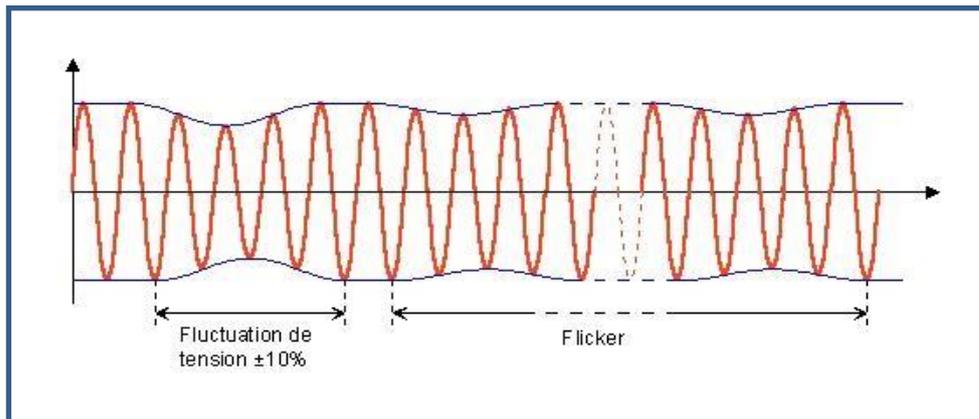


Figure 1.2 : Fluctuation de la tension et Flicker

4.2 Origines :

Les principales sources de fluctuations de tension sont des charges industrielles telles que :

- Machine à souder à résistance ;
- Soudeuse à l'arc.
- Laminaires ;
- Les gros moteurs à charge variable (ex treuils de mine);
- Fours à arc ;
- Mise en (ou hors) service de batteries de condensateurs.

L'utilisation de ce type de charge est plus répandue dans les industries métallurgiques, telles que, les aciéries et les fonderies.

4.3 Effets :

Comme les fluctuations de tension ont une amplitude qui n'excède pas, généralement, $\pm 10\%$, la plupart des appareils ne sont pas affectés par ce type de perturbation. Le principal désagrément que l'on peut attribuer est le *flicker*. L'inconfort physiologique qui résulte de ce phénomène dépend de l'amplitude des fluctuations, de leurs composantes fréquentielles, du taux de répétition et de la durée de la perturbation, [4].

5 Creux de tension et coupures brèves

5.1 Définitions :

5.1.1 Creux de tension :

Un creux de tension est défini comme une diminution brutale de la tension pendant un très faible intervalle de temps. Un creux de tension peut affecter une seule phase, deux phases ou les trois phases simultanément.

Un creux de tension est caractérisé par :

- ✓ Son amplitude : l'amplitude d'un creux de tension est la valeur de la tension durant le creux;
- ✓ Sa profondeur : la profondeur d'un creux de tension Δu est la différence entre la valeur efficace de l'amplitude du creux et celle de la tension de référence;
- ✓ Sa durée : la durée d'un creux de tension Δt est l'intervalle de temps précité. La tension nominale est considérée comme une tension de référence pour les réseaux basse tension. Pour les réseaux hauts et moyenne tension, une tension de référence dite glissante, égale à la tension avant la perturbation, est utilisée.

On prend, de manière générale, comme tension de référence, la tension contractuelle u_c que le distributeur s'engage à fournir. Sa valeur est fixée en fonction des conditions du contrat de fourniture. De ce fait elle peut être égale ou différente de la tension nominale. Le rapport de la profondeur d'un creux de tension à la tension de référence est compris entre 90% et 1% selon les normes CEI 61000-2-1 et EN 50160. La durée d'un creux de tension est comprise entre 10 ms et 1s, [5].

5.1.2 Coupure de tension :

Les coupures de tension sont un cas particulier des creux de tension où la profondeur du creux est supérieure à 99% selon les normes CEI et CENELEC ;

Les coupures de tension se caractérisent selon leur durée. Deux types de coupures peuvent être distingués :

- ✓ Coupures brèves de durée inférieure à 180 ms selon CENELEC et à 60 ms selon la CEI et IEEE;
- ✓ Coupures longues de durée supérieure à 180 ms selon CENELEC et à 60 ms selon la CEI et IEEE, [10].

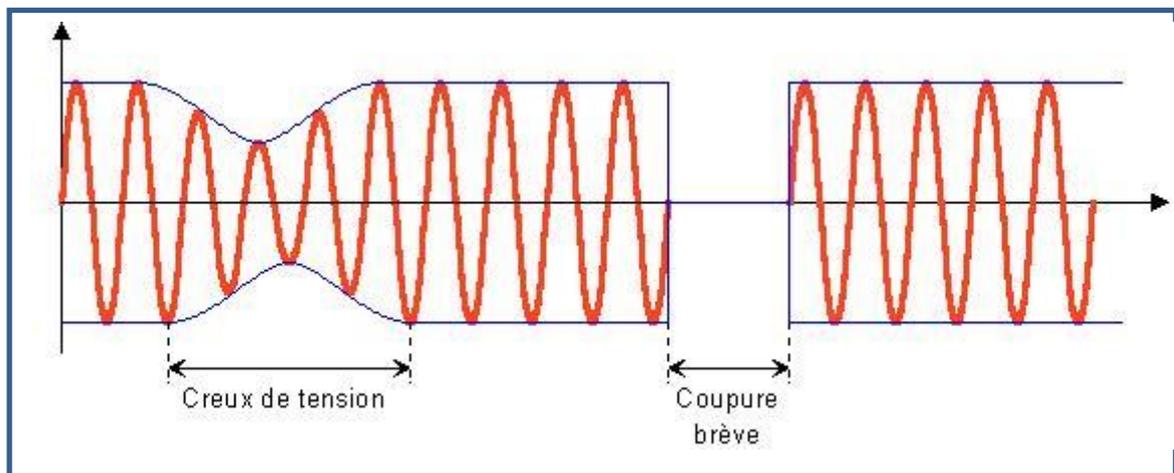


Figure 2.3 : creux de tension et coupure brève

5.2 Origines :

Un creux de tension peut être produit par des manœuvres de coupure des organes du réseau mettant en jeu des courants de forte intensité. Les coupures sont souvent causées par :

- ✓ Le fonctionnement de protection (ainsi que le réenclencheur) consécutif à l'apparition de défauts dans le réseau ou chez les clients;
- ✓ Les permutations de transformateurs ou de lignes ;
- ✓ La commutation de charges de puissance importante par rapport à la puissance de court-circuit telles que: moteurs asynchrones, fours à arc, machines à souder,

chaudières...etc.

5.3 Effets :

Les creux de tension et coupures brèves peuvent perturber les installations raccordées aux réseaux de transport et provoquer les dysfonctionnements suivants :

- ✓ fonctionnement anormal de régulateur de commande;
- ✓ variation de vitesse ou arrêt de moteurs asynchrones;
- ✓ retombée de contacteurs ;
- ✓ pertes de synchronisme d'alternateur et de moteur synchrone;
- ✓ défauts de commutation pour les ponts à thyristors fonctionnant en onduleur. [6]

6 Surtensions

6.1 Définitions :

Les surtensions sont des perturbations qui affectent l'amplitude de la tension. Ce sont des tensions qui, en se superposant à la tension nominale mènent à des valeurs crête, qui dépassent explicitement les limites habituellement admises par les normes techniques.

On distingue, selon leurs durées, trois types de surtensions :

- ✓ surtension permanente de forme sinusoïdale (à fréquence industrielle), de longue durée (supérieure à 1 heure),
- ✓ surtension temporaire de forme sinusoïdale (autour de la fréquence industrielle), de durée relativement longue (comprise entre 1,5 fois la période industrielle et 1 heure),
- ✓ surtension transitoire de forme oscillatoire ou non et généralement vite amortie, de courte durée (inférieure à la période industrielle) ; cette catégorie regroupe les surtensions à front lent (type choc de manœuvre), à front rapide (type choc de foudre), à front très rapide.

Les surtensions se caractérisent par :

- ✓ le coefficient de surtension ;
- ✓ rapport de l'amplitude crête de la tension atteinte à la valeur efficace de la tension;
- ✓ leur durée ;
- ✓ leur forme d'onde.

Bien qu'étant variée et aléatoire, l'estimation de ces paramètres peut se faire par une approche statistique.

La sensibilité des réseaux électriques aux surtensions est tributaire de leurs topologies, du niveau de tension, le type de matériel et du mode d'exploitation.

6.2 Origines

Les surtensions ont trois natures :

- ✓ Temporaires à fréquence industrielle.
- ✓ De manœuvre.
- ✓ D'origine atmosphérique (transitoire).

6.2.1 Surtensions à fréquences industrielles :

Ce sont des surtensions de fréquence égale à celle du réseau. Elles ont pour origine les causes suivantes.

6.2.1.1 Défauts d'isolement :

Un défaut d'isolement (consécutif à la blessure d'un câble souterrain, mise à la terre d'un condensateur aérien par des branchages, défaut dans un équipement) est susceptible de

provoquer une surtension sur un réseau triphasé seulement lorsque le neutre est isolé. Lors de défaut entre phase et terre, la phase en question sera directement mise en service au potentiel de la terre tandis que la tension des phases saines par rapport à la terre atteint la tension composée.

6.2.1.2 La Ferrorésonance :

La Ferrorésonance est un phénomène oscillatoire non linéaire rare et dangereux lié à la présence simultanée d'un condensateur et d'une inductance saturable (le cas d'un transformateur par exemple).

Les surtensions sont consécutives à des résonances particulières apparaissant lors de manœuvre d'ouverture ou de fermeture d'appareil dont les pôles sont séparés ou à fonctionnement non simultanés.

6.2.2 Les surtensions de manœuvre :

Ces surtensions se manifestent sous la forme d'ondes à hautes fréquences et à amortissement rapide de type aperiodique ou oscillatoire.

Elles prennent le plus souvent naissance dans les réseaux subissant des modifications rapides de structure telle que l'ouverture d'appareillage de protection ou la fermeture et l'ouverture d'appareils de commande. On distingue :

- ✓ surtension de commutation en charge normale (résistive);
- ✓ les surtensions provoquées par l'établissement et l'interruption de petits courants inductifs;
- ✓ les surtensions provoquées par la manœuvre de circuits capacitifs.

6.2.3 Les surtensions atmosphériques :

Les réseaux aériens sont les plus affectés par les surtensions et surintensités d'origine atmosphérique. La foudre est un phénomène naturel qui apparaît en cas d'orage. On distingue les coups de foudre directs (sur une ligne ou sur une structure) et les effets indirects d'un coup de foudre (surtensions induites et montées en potentiel de la terre), [7].

6.3 Effets

Les effets des surtensions sont très divers et varient selon le temps d'application, la répétitivité, l'amplitude, le mode, la raideur du front de montée et la fréquence de l'onde de tension.

- ✓ Un claquage peut provoquer la destruction ou la dégradation d'équipement. Ceci peut conduire à des coupures longues et par la suite à des pertes de facturation du distributeur et de production pour les industriels ;
- ✓ Des surtensions non destructrices mais répétitives induisent un vieillissement prématuré du matériel;
- ✓ Des perturbations des circuits de contrôle - commande et de communication à courants faibles ;
- ✓ Des dégradations importantes des lignes et des équipements sont causées par les surtensions de manœuvres répétitives et les chocs de foudre;
- ✓ Des surtensions de manœuvre de transformateurs ou de machines sont susceptibles de créer des contraintes particulièrement fortes sur les premières spires de ces machines;
- ✓ Les surtensions de manœuvre et de foudre ont des effets de destruction diélectriques de matériel et de dysfonctionnement de systèmes;

La propagation des ondes de chocs de foudre sur une ligne ou une structure métallique

gènèrent des surtensions susceptibles de créer un amorçage d'isolateurs, [8].

7 Déséquilibre

7.1 Définitions

Le phénomène de déséquilibre de tension est la situation où les trois tensions du système triphasé ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas décalées normalement les unes par rapport aux autres de 120° .

Le taux de déséquilibre est habituellement défini, en utilisant la méthode des composantes symétriques, par le rapport du module de la composante inverse à celui de la composante directe. Les tensions inverses d'un réseau résultent de la circulation des courants inverses produits par des charges déséquilibrées. La formule suivante peut être utilisée:

$$\Delta U_i = \max(V_i - V_{moy}) / V_{moy}$$

Avec V_i = tension maximale de la phase i

$$V_{moy} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3$$

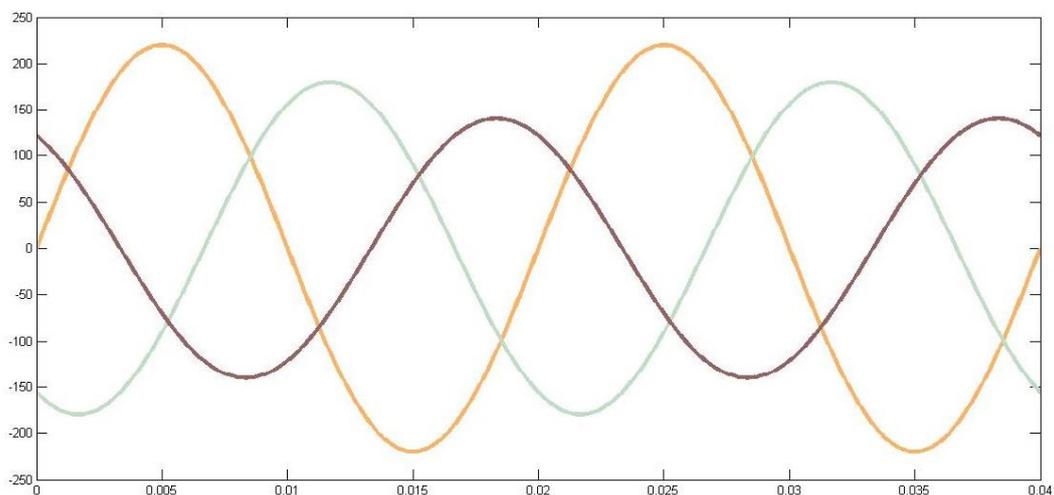


Figure 3.5 : Déséquilibre de Tension

Le taux de déséquilibre produit par une charge monophasée raccordée entre deux phases est pratiquement égal au rapport de la puissance de la charge à la puissance de court-circuit du réseau, [9].

7.2 Origines

La symétrie de la tension dépend fortement de la nature des récepteurs. Les réseaux électriques généralement triphasés alimentent des récepteurs triphasés mais aussi beaucoup de récepteurs monophasés. Les courants véhiculés ne seront pas identiques sur les trois phases. Ces courants déséquilibrés provoquent, par leur circulation dans les impédances du réseau, un déséquilibre de tension.

Les récepteurs monophasés les plus rencontrés sont des équipements BT mais des déséquilibres peuvent aussi provenir de niveaux de tension plus élevée. Dans les réseaux de transport, des charges monophasées peuvent être raccordées soit entre phases soit entre phase et neutre. L'asymétrie des impédances des lignes du réseau est une cause permanente de déséquilibre de tension. On y ajoute la présence de défauts monophasés ou biphasés qui provoquent des déséquilibres de tension qui persistent jusqu'au fonctionnement des protections.

La propagation des tensions inverses d'un réseau à un réseau de niveau de tension supérieure

se fait avec une forte atténuation. Si la propagation se fait d'un réseau vers un réseau de niveau de tension inférieur, l'atténuation dépend de la présence de machines tournantes triphasées qui ont un effet rééquilibrant. [9]

7.3 Effets

Le principal effet du déséquilibre étant l'échauffement des enroulements des machines tournantes, le cas le plus grave du déséquilibre est la coupure d'une phase, circonstance qui peut rapidement conduire à la destruction de la machine.

Les redresseurs polyphasés pour lesquels chacune des tensions d'alimentation participe à la sortie continue sont aussi sensibles à une alimentation déséquilibrée. Celle-ci provoque une ondulation inopportune de la tension continue et des harmoniques non caractéristiques du réseau.

8 Conclusion

La qualité de l'énergie électrique est définie comme son aptitude à assurer une alimentation continue et satisfaisante des appareils qui l'utilisent.

La continuité de l'alimentation est pressentie par le client comme un facteur décisif de la qualité de l'énergie. Elle est estimée par le nombre de coupures longues affectant l'alimentation par unité de temps. La continuité de l'alimentation dépend de la conception des réseaux publics et industriels. Elle est tributaire des choix techniques et des investissements mis en œuvre pour assurer l'alimentation d'un point ou d'une zone donnée. Elle est le plus souvent perçue comme un compromis « technico - commercial ».

La qualité de la tension, quant à elle est étroitement liée à l'absence de perturbations et au maintien de l'amplitude et de la fréquence dans des valeurs prédéfinies.

La qualité de l'énergie électrique est un thème stratégique pour les fournisseurs d'électricité, les entreprises industrielles et les constructeurs d'équipements électriques, essentiellement pour les raisons suivantes:

- ✓ la réduction des coûts liés à la perte de continuité de service,
- ✓ la généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et/ou eux même générateurs de perturbations.

La détérioration de la qualité de la tension est un fait auquel sont exposés tous les exploitants du domaine électrique. Qu'ils soient gestionnaires du réseau transport, distributeurs, consommateurs ou fabricants, tous se partagent la responsabilité de préserver la qualité de l'alimentation.

Plusieurs précautions peuvent être prises pour améliorer la qualité de la tension mais elles s'inscrivent toutes sous la logique d'atténuer les effets des perturbations et n'ont pas d'y mettre terme, ceci revient en majeure partie à la nature aléatoire et intempestive de certaines perturbations telles les creux de tension, les coupures et les surtensions mais aussi à l'impossibilité de se passer de l'utilisation d'appareils qualifiés de perturbateurs comme les fours à arc électrique, les machines tournantes et les dispositifs d'électronique de puissance dont l'industrie dépend amèrement.

Il est de plus raisonnable de se pencher sur l'éventualité de limiter l'émission et la circulation des perturbations dans le réseau électrique. Une telle démarche permettra aussi de spécifier la responsabilité de chaque partie dans la dégradation de la qualité de la tension.

1 Introduction :

L'adoption d'un ensemble commun d'indices de la qualité de la tension, recommandés internationalement permettra au distributeur d'électricité de mesurer et d'enregistrer les niveaux de qualité d'une manière cohérente et harmonisée.

Pour les perturbations du régime stable, tel que les harmoniques, le flicker et le déséquilibre de tension, on peut distinguer deux catégories d'indices en fonction de leur utilisation, [10].

- ✓ Indices pour la planification : objectifs interne de qualité que le distributeur fixe pour sauvegarder la qualité de la tension que desservent ses réseaux ;
- ✓ Indices pour les caractéristiques de la tension : pour communication extérieure des performances du système électrique.

Pour évaluer les caractéristiques de la tension, on peut aussi distinguer deux niveaux d'indices:

- ✓ Indices de site : Les performances au niveau d'un site spécifique;
- ✓ Indices de système : Les performances d'un système électrique.

De tels indices peuvent être définis comme étant « les caractéristiques de la tension » qui s'appliquent aux réseaux électriques. Les normes existantes couvrent la basse et moyenne tension. Les systèmes de haute et très haute tension (HT-THT) sont couverts par les recommandations des rapports techniques de référence (CIGRE/CIREN ([11], [12] et CEI ([13], [14], [15], [16] et [17]) . On tient compte des types d'indices de qualité suivants :

- ✓ les niveaux de planifications : on peut les considérer comme les objectifs internes de qualité.
- ✓ les caractéristiques de la tension : on peut les considérer comme des objectifs externes de qualité.
- ✓ les niveaux de compatibilité : ce sont des valeurs de références permettant de coordonner l'émission et l'immunité des équipements afin de garantir la compatibilité électromagnétique dans l'ensemble du système électrique.

2 Harmoniques

2.1 Les indices représentatifs de la qualité de la tension :

L'obtention des indices d'harmoniques consiste en plusieurs étapes :

- ✓ obtenir le spectre de la tension sur un intervalle de temps donné.
- ✓ obtenir l'indice du site à partir des spectres sur une période donnée.
- ✓ obtenir un indice système à partir des indices des sites.

Dans la littérature technique on trouve plusieurs méthodes d'obtention du spectre mais la méthode utilisée presque exclusivement dans la surveillance de la qualité de la tension est la transformée de Fourier. Les normes internationales CEI 61000-4-7 et 61000-4-30 définissent le processus de mesure. La méthode procède comme suit:

- ✓ obtenir le spectre sur un intervalle de temps (fenêtre temporelle) à 1cycle ($f = 50\text{Hz}$), l'intervalle doit être synchronisée sur la fréquence du réseau durant les mesures.
- ✓ les spectres (en valeurs efficaces) sont moyennés sur un intervalle de 3sec et les valeurs ainsi obtenues sont considérées comme ($U_{h,vs}$) de très courte durée « very short time »
- ✓ les valeurs 3sec sont moyennées sur un intervalle de temps de «10mn» et les valeurs ainsi obtenues sont considérées comme indices de courte durée «short time indices»

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

- ✓ Les valeurs « 3sec » et « 1mn » sont estimées sur une période d'une journée ou une semaine fonction de l'indice recommandé.

2.2 Comparaison d'indices existant :

La comparaison des indices d'harmoniques entre respectivement les publications CEI et les différentes normes nationales ou régionale et guides sont résumés sur les tableaux 2 et 3. Il montre que la norme de référence pour effectuer les mesures d'harmoniques est la CEI 61000-4-7, [15].

Pratiquement, l'indice le plus en commun pour la tension harmonique est celui qu'on nomme « short time » ou valeur de $U_{h,sh}$ 10mn, il est essentiellement utilisé pour les caractéristiques de la tension et les niveaux d'harmoniques à comparer avec les objectifs de la qualité, c'est généralement la valeur correspondant à la probabilité 95% des statistiques hebdomadaires (valeur non dépassée pendant 95% du temps). En ce qui concerne les niveaux planifiés, les indices sont définis avec plus de détails dans le rapport technique CEI 61000-3-6, [13].

Indices de tension harmonique		Normes internationales ou Guide	
Norme / Document		CEI 61000-3-6 2008 [13]	CEI 61000-4-30 2003
Statut		Rapport technique	Norme internationale
Objet		Niveaux de planification indicatifs pour les limites d'émission	Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation
Indices/Evaluation	Très courte durée (3-s)	$U_{h,vs}$ 99% quotidienne	$U_{h,vs}$ (X% comme convenu)
	Courte durée (10mn)	$U_{h,sh}$ 95%. hebdomadaire	$U_{h,vs}$ 95% hebdomadaire ou (X% comme convenu)
	Autres	-	Nombre ou % de valeur dépassant les valeurs contractuelles
Période pour l'évaluation statistique		Une semaine minimum	Au moins une semaine ou plus comme convenu
Méthode de mesure		CEI 61000-4-7 [19].	CEI 61000-4-7 [15].
Remarques		Couvre de la MT à la THT	Propose des indices comme guide pour les applications contractuelles

Tableau 2.1: Indices d'harmoniques de tension selon les publications CEI.

D'autres normes et guide recommandent aussi des indices similaires à ceux mentionnés ci-dessus :

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

2.3 Indices pour les niveaux de planifications :

La comparaison des niveaux réels d'harmoniques est recommandé, en utilisant la norme de base, la CEI 61000-4-30 [18]. La période minimale d'évaluation doit être une semaine. Les indices sont :

- ✓ La plus grande valeur hebdomadaire de probabilité 99% de $U_{h,vs}$ [Valeur efficace des composants harmoniques individuelles sur des périodes « très courtes » (3 s)] ne doit pas dépasser le niveau de planification multiplié par le facteur $K_{h,vs}$;
- ✓ La valeur journalière de probabilité 95% de $U_{h,sh}$ [Valeur efficace « rms » des composants harmoniques individuelles sur des périodes « courtes » (10 min)].

Le concept du marquage cependant comme introduit dans la norme CEI 61000-4-30 ne peut que marquer les données contenant des transitoires s'ils causent le dépassement de la tension efficace hors sa gamme normale.

2.3 Indices pour la caractéristique de la tension :

2.3.1 Indices de site :

Pour des raisons pratiques, telles que, permettre une comparaison facile des caractéristiques de la tension BT - MT et HT - THT ; et aussi pour avoir des méthodes de surveillances communes il est recommandé d'utiliser les indices de site pour les caractéristiques de la tension des réseaux HT - THT comme définit dans la norme EN 50160 pour les réseaux BT - MT, d'où :

- ✓ Le pourcentage 95% hebdomadaire de la valeur d' $U_{h,sh}$ (Composantes individuelles d'harmoniques de tension et THD).

2.3.2 Indices de système :

L'indice de système représente la valeur de l'indice de site n'étant pas dépassé dans la majorité (90%, 95% ou 99%) des sites surveillés du système. Le pourcentage de site est établi par accord entre le gestionnaire du réseau et la commission de régulation, [11].

2.4 Catégorisation et échantillonnage de site :

Les indices système doivent être basés sur une large et représentative sélection de sites surveillés. Une couverture complète peut vraiment être obtenue uniquement si 100% de tous les sites sont surveillés. Cependant en reconnaissant les facteurs primaires d'influence et en considérant la catégorisation des sites il doit être possible d'installer des équipements de mesure de manière ciblée permettant d'extrapoler le résultat d'évaluation à l'ensemble des sites que comporte le réseau de transport.

2.5 Considération sur la surveillance des harmoniques :

La mesure précise de la distorsion harmonique requiert un instrument muni d'un transformateur à large bande passante. Spécialement en HT et THT ce qui est difficile à réaliser avec les transformateurs disponibles sur le marché. Les transformateurs montrent des fréquences de résonances aussi basses que 600 Hz (12^{ème} harmonique pour $f = 50$ Hz). Ce qui peut affecter sérieusement les résultats car les harmoniques doivent être considérés jusqu'au rang 40, [26]. Pour cette raison, seules les mesures d'harmoniques utilisant les transformateurs de potentiel magnétiques sont rapportées dans les campagnes de mesures rencontrées dans la littérature technique.

3 Flickers

Afin de standardiser l'évaluation du Flicker un équipement a été développé : **Le**

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

flickermètre.

L'algorithme du flickermètre comme défini dans la norme CEI 61000-4-15 [18] (flickermètre, spécifications fonctionnelles et de conception) donne en sortie deux indices :

- ✓ Le P_{st} sévérité du flicker de courte durée - « short time » - 10 minutes.
- ✓ Le P_{lt} sévérité du flicker de longue durée - « long time » - 2 - heures. Calculé à partir des valeurs P_{st} .

Les indices de sévérité du Flicker (P_{st} et P_{lt}) sont exprimés en per unit du seuil d'irritabilité du Flicker qui est le niveau considéré irritable par les innombrables personnes ayant participés au test.

3.1 Indices existants

La publication CEI 61000-3-7 [14] : se réfère à la CEI 61000-4-15 [18] pour les mesures. La période minimale des mesures doit être une semaine.

Pour le Flicker les indices doivent être :

- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 95% du P_{st} .
- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 99% du P_{st} .
- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 95% du P_{lt} .

La norme CEI 61000-4-30 aussi se réfère à la norme CEI 61000-4-15 [18] pour la mesure du Flicker (classe A).

Certaines perturbations telles que les creux de tension, les surtensions et les coupures sont susceptibles de provoquer un effet similaire à celui du flicker, et par conséquent, une mesure des indices P_{st} et P_{lt} . Ces valeurs mesurées seront par la suite supprimées des statistiques.

Un des indices P_{st} ou P_{lt} peut être considéré. La période d'évaluation minimale doit être une semaine.

Dans la CENELEC EN 50160, l'indice à utiliser est la valeur hebdomadaire du P_{lt} à 95% de l'intervalle de temps. Plusieurs gestionnaires de réseaux dans le monde l'utilisent en HT - THT.

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

3.2 Comparaison des indices de flicker :

Indices de Flicker		Publications CEI	
Norme / Document		CEI 61000-3-7 2008 [14]	CEI 61000-4-30 2008
Statut		Rapport technique	Norme internationale
Objet		Niveaux de planification indicatifs pour les limites d'émission	Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation
indices/Evaluation	Courte durée (10min)	P_{st} 95% où 99% hebdomadaire	P_{st} 99% hebdomadaire (X% comme convenu)
	Longue durée (2 heures)	P_{lt} 95% hebdomadaire	P_{lt} 95% hebdomadaire (X% comme convenu)
	Autres	-	Nombre ou % de valeur dépassant les valeurs contractuelles
Période pour l'évaluation statistique		Une semaine minimum	Au moins une semaine ou plus comme convenu
Méthode de mesure		CEI 61000-4-15 [21]	CEI 61000-4-15 [18]
Remarques		Couvre de la MT à la THT	Propose des indices comme guide pour les applications contractuelles.

Tableau 2.3:Indices de flicker prescrit par la CEI

Relation entre P_{st} et P_{lt} :

Selon le CIGRE, sur la base des valeurs mesurées pour 37 sites de la BT à la THT situés à proximité d'un four à arc, la relation suivante est vérifiée :

$$P_{st} = 0,84 P_{lt}$$

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

Indice de Flicker	Norme / Document	Statut	Régions d'application	Objet	Indices / Evaluation			Période pour l'évaluation statistique	Méthode de mesure	Remarque							
					Cour--te durée (10 min)	Long--ue durée (2 heures)	Aut--res										
Normes nationales ou régionale & Guides	H.-Q. Voltage Characteristics [21]	document	Québec, Canada	Caractéristiques de la tension d'alimentation	95% hebdomadaire	P _{st}	Une semaine	CEI 61000-4-15 [10]	S'applique en BT-MT & HT-THT								
										ER P28 [31]	Norme nationale	Grande Bretagne	Niveaux de planification pour contrôler les émissions	P _{st}	Suffisant pour enregistrer le cycle complet de fonctionnement	CEI 868	Publié en 1989
NRS048-2 2003 [19]	Norme nationale	Pays d'Afrique du Sud	Standard minimum utilisé par la commission de régulation	P _{st}	95% hebdomadaire	Une semaine minimum	CEI 61000-4-15 [10]	S'applique en BT et MT									
EN50160 2007 [16]	Norme européenne	31 pays européens	Caractéristiques de la tension d'alimentation fournie par les réseaux publics de distribution	P _{st}	P _{st} 95% hebdomadaire	Une semaine	CEI 61000-4-15 [21]	S'applique en BT et MT									

Tableau 2.4: comparaison des indices de flicker entre différents Normes et Guides

3.3 Indices pour les niveaux de planification :

Il est recommandé que les valeurs P_{st} doivent être suffisantes pour évaluer les niveaux de planification afin de pouvoir contrôler les émissions à court terme. Les indices suivants peuvent être utilisés :

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 95% du P_{st} .
- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 99% du P_{st} .
- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 95% du P_{lt} .

3.4 Indices pour la caractéristique de la tension :

3.4.1 Indices de site :

Comme pour les harmoniques il est recommandé de retenir pour les caractéristiques de la tension des réseaux HT et THT les mêmes indices de sites pour définis par l'EN 50160 pour les réseaux BT et MT.

3.4.2 Indices de système :

Pour les indices de système de Flicker, une limitation courante est que, dans plusieurs réseaux électriques, les mesures du Flicker souvent conduites qu'au niveau de quelques sites situés à proximité des charges fluctuantes. En conclusion un indice de système pour le Flicker ne doit pas être recommandé pour des applications générales, [18].

3.5 Considération pour la surveillance du Flicker :

La durée de la période de mesure est importante, elle doit être d'au moins une semaine, les considérations spécifiques suivantes auront un impact sur l'évaluation du flicker, [11] :

- ✓ les changements dans le réseau qui engendrent des changements significatifs dans le niveau d'incident au point de mesure (Point de Couplage Commun du client perturbateur);
- ✓ la composition de la charge du four à arc ;
- ✓ taille de la charge du four à arc;
- ✓ l'effet de la foudre sur les creux de tension et en conséquence des fluctuations sévères de tension;
- ✓ effets à long terme tel que la fermeture temporaire de certaines industries alimentées par le même jeu de barre;
- ✓ mauvais fonctionnement ou défaillance possible des compensateurs de Flicker tels que les SVC(s).
- ✓ variations des niveaux d'émission de Flicker d'une charge selon son processus de fonctionnement.

La période d'évaluation devrait être suffisamment longue pour la prise en compte de ces variations.

4 Déséquilibre

4.1 Indices existants :

On ne tient compte que du fondamental. Toutes les composantes harmoniques doivent être éliminées en utilisant l'algorithme de la DFT (Transformée de Fourier Discrète). A partir des intervalles à 10 cycles, à 3sec, à 10 minutes. L'ensemble des mesures ainsi que la procédure d'évaluation est définit en détail dans la CEI 610004-30. Le rapport technique CEI 61000 - 3 - 13 [7] propose les indices suivants pour une période de mesure minimale d'une semaine :

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

Indices de déséquilibre en Tension		Publication CEI		Travaux CIGRE
Norme/Document		CEI 61000-3-13 2008 [18]	CEI 61000-4-30 2003	CIGRE 1992 203 [13]
Statut		Rapport technique	Norme Internationale	Rapport technique
Régions d'applications		Niveaux de planification indicatifs pour les niveaux d'émission	Méthode de mesure de la qualité de la tension	Evaluation de la qualité de la tension en relation avec les harmoniques, le flicker et le déséquilibre
Indices/ Evaluations	Très courte durée (3sec)	$U_{neg,vs}$ 99% journalier		$U_{neg,vs}$ 95% journalier
	Courte durée (10 min)	$U_{neg,sh}$ 95% hebdomadaire	$U_{neg,sh}$ 95% hebdomadaire(ou comme convenue)	$U_{neg,sh}$ max hebdomadaire (laissé à l'étude)
	Longues durée (2 heures)		$U_{neg,lt}$ 95% hebdomadaire	
Période pour l'évaluation statique		Au moins une semaine	Au moins semaine ou comme convenue	Minimum de quelques jours y compris le weekend
Remarque		Couvre de la MT à la THT	Proposition d'indices comme guide pour les applications contractuelles	Proposition d'indices comme guide pour les applications contractuelles

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

Tableau 2.5: Indices de déséquilibre de la tension selon la CEI et la CIGRE

4.2 Comparaison des indices de déséquilibre :

Indice de Déséquilibre	Norme / Document	Statut	Régions d'application	Objet	Indices / Evaluation			Période pour l'évaluation statique	Méthode de mesure	Remarque
					Très court durée (3 s)	Courte durée (10 min)	Longue durée (2 heures)			
Normes nationales ou régionale & Guides	H.-Q. Voltage Characteristics [21]	Document	Québec, Canada	Caractéristiques de la tension d'alimentation			95% hebdomadaire	Une semaine	CEI 61000-4-15 [10]	S'applique en BT- MT & HT-THT
	ER P28 [20]	Norme nationale	Grande Bretagne	Niveaux de planification pour contrôler les émissions	Valeur maximale de la séquence négative mesurée sur une			Suffisant pour représenter la machine rotative (peut	CEI 868	S'applique en 132 Kv et en dessous
	Contrat Emeraude EDF-A.2 [29]	Contrat de fourniture	France	Caractéristiques de la tension d'alimentation	$U_{neg,sh}$ Aucune autre spécification			Au moins une semaine ou plus	CEI 61000-4-15 [21]	HTA : 1 à 50 kV HTB : > 50 kV
	NRS048-2 2003 [30]	Norme nationale	Pays d'Afrique du Sud	Standard minimum utilisé par la commission de régulation	$U_{neg,sh}$ 95% quotidien			Une semaine minimum	CEI 61000-4-15 [10]	S'applique en BT et MT
	EN50160 2007 [27]	Norme européenne	31 pays européens	Caractéristiques de la tension d'alimentation fournie par les réseaux publics de distribution	$U_{neg,sh}$ 95% hebdomadaire			Une semaine maximum	CEI 61000-4-15 [10]	S'applique en BT et MT

Tableau 2.6: Comparaison des indices de déséquilibre entre différentes Normes & Guides

4.3 Indices pour les niveaux de planification :

Il est préconisé de comparer le niveau réel du déséquilibre de tension provenant de toutes

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

les charges déséquilibrées avec le niveau de planification, en utilisant les deux indices suivants :

- ✓ La valeur journalière de probabilité 99% de $U_{neg, vs}$ [Valeur efficace du facteur de déséquilibre de la tension sur des périodes très courtes 3-sec]
- ✓ La valeur hebdomadaire de probabilité 95% d' $U_{neg, sh}$ [Valeur efficace du facteur de déséquilibre de la tension sur des périodes courtes 10-mn].

La norme de base à utiliser est la CEI 61000-4-30 . La période minimale d'évaluation doit être une semaine.

4.3.1 Indices de site :

Pour les systèmes électriques HT et THT il est recommandé d'utiliser, pour les caractéristiques de la tension, les indices de site définis par la norme EN 50160 [15]:

- ✓ La valeur hebdomadaire de pourcentage 95% d' $U_{neg, sh}$ (facteur de déséquilibre de tension - composante inverse - sur des périodes de 10-mn)

4.3.2 Indices de système :

L'indice de système recommandé est la valeur de l'indice de site non dépassée pour un pourcentage élevé (90, 95 et 99%) de sites.

4.4 Considération sur les indices du déséquilibre :

Il est à souligner que des imprécisions de mesures sont dues au déséquilibre des charges secondaires ainsi qu'aux imprécisions dans d'autres parties de la chaîne de mesure. La précision globale du système de mesure se trouve limitée dans le cas du déséquilibre de tension à cause du grand impact des plus petites erreurs sur les résultats.

Type de perturbation	Harmonique		flicker		Déséquilibre de tension	
Catégorie d'indices	Niveau de planification	Caractéristiques de la tension	Niveau de planification	Caractéristiques de la tension	Niveau de planification	Caractéristiques de la tension
Indices de site Recommandés	Journalier 95% de $U_{h, vs}$	Hebdomadaire 99% de $U_{h, sh}$	Hebdomadaire 95% de Pst	Hebdomadaire 95% de Pit	Journalier 99% de $U_{neg, vs}$	Hebdomadaire 95% de $U_{neg, sh}$
	Hebdomadaire 99% de $U_{h, sh}$		Hebdomadaire 99% de Pst		Hebdomadaire 95% de $U_{neg, sh}$	
	Hebdomadaire 99% de $U_{h, vs}$		Hebdomadaire 95% de Pit		Hebdomadaire 99% de $U_{neg, vs}$	

Tableau 2.7 : Résumé des indices de site recommandés dans la littérature pour les perturbations en régime permanente .

5 Creux de tension

5.1 Indices existants :

5.1.1 Indices du creux de tension individuels :

La définition et la méthode de mesure caractérisant un creux de tension sont fournies par la norme CEI 61000-4-30 (en terme d'amplitude et de durée).

Pour la mesure d'un creux de tension la norme CEI 61000-4-30 stipule que « la base de la mesure d'un creux de tension et de surtensions à fréquence industrielle doit être $U_{rms} (1/2)$ sur chaque voie de mesure : $U_{rms} (1/2)$ est la valeur efficace de la tension mesurée sur un cycle et rafraîchie chaque demi cycle » [Classe A de mesure seulement]

Un creux de tension est caractérisé par une paire de données, soit la tension résiduelle et la durée ou la profondeur et la durée:

- ✓ La tension résiduelle est la plus petite valeur $U_{rms} (1/2)$ mesurée sur n'importe quelle voie durant le creux.
- ✓ La profondeur est la différence entre la tension de référence et la tension résiduelle. Elle est généralement exprimée en % de la tension nominale ou déclarée.
- ✓ La durée du creux de tension est la différence dans le temps entre le début et la fin du creux de tension.

5.1.2 Autres caractéristiques :

Le choix du seuil d'un creux de tension est essentiel pour estimer la durée de l'événement. Les événements sont considérés comme creux de tension uniquement quand la tension efficace chute en dessous du seuil. L'utilisateur doit déclarer la tension de référence utilisée.

Les enveloppes des creux de tension peuvent ne pas être rectangulaires, par conséquent, pour un creux de tension donné, la durée mesurée est dépendante de la valeur sélectionnée pour le seuil du creux.

Un nombre d'autres caractéristiques pour les creux de tension sont mentionnées dans la norme CEI 61000-4-30. L'utilisation de caractéristiques des indices additionnels peut donner plus d'informations sur l'origine du creux, le système électrique et sur l'effet du creux sur les équipements.

Le document technique CEI 61000-2-8 [15] se réfère aussi à la norme CEI 61000-4-30 pour les mesures mais introduit un nombre de recommandations additionnelles pour le calcul des indices de creux de tension. Les valeurs recommandées sont 90% et 91%, respectivement, pour le début et la fin du creux, et 10% pour le seuil de coupure. Les creux impliquant plus d'une phase doivent être désignés comme un événement individuel s'ils s'empêtrent dans le temps.

5.2 Méthodes de relevé de creux tension pour un site ou pour un système :

Différentes méthodes pour relever les creux de tension sont utilisées habituellement ou sont recommandées. Le présent document indique et compare les avantages et les inconvénients entre chacune d'elles :

5.2.1 Indice SARFI :

SARFI « System Average RMS variation Frequency Index » est l'indice de creux

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

le plus recommandé.

Le terme « RMS variation » est utilisé dans la littérature US pour indiquer tous les événements dans lesquels la tension efficace (rms) dévie de manière significative (typiquement vu comme plus de 10%) à partir de sa valeur nominale. Ceci inclus les creux de tension, les surtensions et les coupures longues.

L'indice SARFI x (où X est un nombre entier entre 0 et 100%) donne le nombre d'événements par année avec une durée comprise entre 0,5 cycle et 1 minute et une tension résiduelle inférieur à $X\%$. D'où SARFI₇₀ donne le nombre d'événements avec une tension résiduelle inférieur à 70%.

5.2.2 Table Amplitude-Durée :

Les performances d'un site de même que ceux d'un système sont souvent décrites en forme de tables de creux de tension.

Différents formats de table sont discutés dans la norme IEEE 493, [19] mais seulement celle dite table de densité est d'un usage commun. Les colonnes de la table représentent les gammes de durée de creux de tension. Les lignes représentent la tension résiduelle.

La table de creux de tension recommandée par l'Unipede groupe DISDIP est donnée dans le tableau 11 suivant. Cette table est aussi incluse dans la publication CEI 61000-2-8 et dans l'IEEE P1564 draft 5, [20].

	20 - 100 ms	100 - 150 ms	0,5 - 1 s	1 - 3 s	3 - 20 s	20 - 60 s	60 - 80 s	> 180 s
85 - 90 %								
70 - 85 %								
40 - 70 %								
10 - 40 %								
< 10 %								

Tableau 2.8: Table des densités comme recommandées par l'UNIPEDE.

Le rapport technique CEI 61000-2-8 [15] conclu que les creux de tension doivent être classés par leur profondeurs et leurs durées en concordance avec la table ci - dessous. Les creux de tension impliquant plus d'une phase doivent être désignés comme un événement singulier s'ils se chevauchent dans le temps. Cette table est aussi incluse dans l'IEEE P1564 draft 5.

	1 cycle - 0.1 s	0,1 - 0,25s	0,25	0,5 - 1s	1 - 3 s	3 - 20s	20 - 60s	60 - 180s
80 - 90%								
70 - 80%								
60 - 70%								
50 - 60%								
40 - 50%								
30 - 40%								
20 - 30%								
10 - 20%								
< 10								

Tableau 2.9: Présentation des résultats selon la norme CEI 61000-2-8

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

La CEI 61000-4-11 [20] prescrit un nombre de durées et de tension résiduelles pour le test d'équipements. Ces valeurs sont utilisées dans l'IEEE P1564 draft 5, [20] pour la définition de table de creux de tension.

Tension résiduelle	Durée du sag de tension				
	< 1 cycle	1 cycle - 200 ms	0,2 - 0,5 s	0,5 - 5 s	5 s - 5min
70 - 80 %					
40 - 70%					
10 - 40%					
< 10%					

Tableau2.10: Présentation de résultats basée sur la CEI 61000-4-11 selon IEEE

5.2.3 Diagramme de zones de performances/Sensibilité aux creux :

Les gestionnaires de réseaux Sud-Africain ESCOM a développé des approches pour définir les zones spécifiques sur un plan amplitudes/durée en vue d'élaborer un guide généralisé sur les zones où les creux peuvent apparaître, et les zones où les clients raccordés peuvent être affectés par ces creux. Le but de ces zones généralisées est de réduire le nombre d'indices devant être rapportés et gérés, basé sur le groupement le plus approprié d'évènements de creux [21].

Tension résiduelle U	Durée t		
	20 < t < 150 (ms)	150 < t < 600 (ms)	0.6 < t < 3 (s)
90 > U > 85	Y	Y	
85 > U > 80		Y	Z1
80 > U > 70		S	
70 > U > 60	X1		Z2
60 > U > 40	X2		
40 > U > 0	T		

Tableau 2.11: Méthode de rapportage de creux selon NRS-048-2 : 2003 [19].

- ✓ La zone grise type Y reflète les creux pouvant apparaître fréquemment sur des réseaux HT et MT, contre quoi les clients doivent protéger leurs installations.
- ✓ Les zones type X (X1 et X2) reflètent le temps normal d'élimination de défauts par les dispositifs de protection en HT, d'où un nombre significatif d'évènements sont prévus d'apparaître dans cette zone. Les clients ayant des équipements sensibles doivent se prémunir de protection contre au moins les creux de la zone de type X1 qui sont plus fréquent. La zone de type T reflète les incidents qui ne sont pas prévus d'apparaître régulièrement.
- ✓ Les creux de type S peuvent apparaître là où les protections à minimum d'impédance sont utilisées ou bien là où le recouvrement de la tension est retardé.
- ✓ Les creux de type Z reflètent le fonctionnement problématique des protections (particulièrement les évènements de type Z2).

La méthode de rapportage des creux utilise un seuil de tension résiduelle à 70% et un seuil en durée de 600 ms. Basée sur des mesures entre phases, cette zone (Z) définit les creux qui n'apparaissent pas souvent, particulièrement sur les réseaux HT.

5.3 Comparaison entre les indices de creux :

5.3.1 Indice SARFI :

Avantages :

- ✓ Le nombre réduit d'indices facilite la comparaison entre différents sites, différents systèmes ainsi que les variations d'année en année.
- ✓ La simplicité de cette méthode a fait qu'elle est devenue largement utilisée.
- ✓ L'indice ne dépend que du nombre total d'évènements. Quand les indices sont utilisés pour quantifier les performances du système électrique il y'aura un véritable motif pour réduire le nombre de défauts. Ceci a aussi un effet positif sur la fiabilité (nombre d'interruptions).

Inconvénients :

- ✓ Les indices ne sont pas appropriés pour la plupart des équipements.
- ✓ Toute l'information sur la durée est perdue. Quand les indices sont utilisés pour quantifier les performances du système, il n'y a pas d'incitation à réduire le temps d'élimination des défauts.
- ✓ cette méthode est moins appropriée comme indice de système que comme indice de site. La méthode peut être ajustée pour couvrir un pourcentage de 95% de valeurs ce qui la compliquerait d'avantage.

5.3.2 Table UNPEDE :

Avantage :

- ✓ Le nombre d'indices est limité mais il suffisamment détaillé pour une comparaison avec les performances du système.
- ✓ Les tables de creux de tension sont faciles à comprendre, ce qui favorise leur large utilisation. Ce choix spécifique de gamme d'amplitudes et de durée est généralement utilisé.
- ✓ Le même format peut être utilisé pour la moyenne, 50%, 95% et la valeur maximale.
- ✓ La table couvre les creux de très courte durée aux interruptions longues, aucun évènement n'est caché par un autre.
- ✓ Il est théoriquement possible d'inclure l'aspect non rectangulaire des creux de tension. Ceci, cependant, nécessite la redéfinition de la durée du creux.

Inconvénient :

- ✓ Le choix de valeurs pour la durée n'est pas adéquat comparés aux valeurs typiques apparaissant en pratique ;
- ✓ La durée s'étendant entre 1 second et 3 minutes ne contient presque jamais de creux. Dans la plupart des cas ces colonnes peuvent être fusionnées en une ou deux colonnes ;
- ✓ Pour des but de comparaison entre site et système la table n'est pas pratique.

5.3.3 Table selon CEI 1000-2-8, [15] :

Avantage :

- ✓ Elle est recommandée dans un rapport technique international [15], [20].

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

- ✓ Elle a tous les avantages d'une table de creux de tension.
- ✓ La gamme 100 - 500 ms a été dédoublée.

Inconvénient :

- ✓ La subdivision de la tension résiduelle en 9 gammes mènera à plusieurs cellules vides. Cette table a 72 cellules contre 35 dans la table UNIPÉDE.
- ✓ A des fins de comparaison de site et système la table est probablement très détaillée.

5.3.4 Table selon NRS 048-2, 2003, [19] :

Avantage :

- ✓ Un nombre relativement petit d'indices. Les valeurs des cellules X, S, T et Z permettant aux gestionnaires de réseaux le reportage des performances en creux.
- ✓ Elle a tous les avantages d'une table de creux de tension;
- ✓ Il y'a une relation direct avec les propriétés du système (menant au groupement typique des événements) et les propriétés d'immunité d'équipement.

Inconvénient :

- ✓ La table n'est pas généralement utilisée;
- ✓ La table se termine à 3s.

5.4 Evènements singuliers(E.S) :

Les indices des ES sont utilisés pour le diagnostic et le traitement de défauts. Le calcul des indices ES est un pas intermédiaire dans le calcul des indices de sites. Les indices ES recommandés sont la tension résiduelle et la durée de chaque événement de creux de tension. Il est recommandé de mesurer la tension dans les trois phases. CEI 61000-4-30.

5.5 Indices de site

Les indices de site sont utilisés pour l'évaluation de la compatibilité entre les équipements sensibles et le réseau électrique et peuvent aider dans le choix de la méthode de réduction des creux de tension.

Les indices de site sont calculés à partir des indices d'ES, i. e. la tension résiduelle et la durée obtenue pour tous les événements de creux de tension au niveau d'un site et durant une certaine période de temps. Pour les localités à forte variation saisonnière dans la fréquence d'évènement, une période de surveillance de trois à cinq années est recommandée pour incorporer les variations annuelles dans les effets saisonniers.

Les indices de site peuvent être présentés de différentes façons, parmi lesquelles :

- ✓ Comme table de creux de tension en accord avec les recommandations de l'UNIPÉDE - DISDIP ou les recommandations dans la CEI 61000-2-8, [15].
- ✓ Comme carte de contour en accord avec l'IEEE 1346, [22].
- ✓ Comme nombre d'évènements en dessous d'une certaine tension résiduelle (les indices SARFI comme dans l'IEEE Std 1564 draft 5) [20].
- ✓ Dans toute autre façon plus appropriée pour une application et site spécifiques.
- ✓ Les indices sites recommandés sont la tension résiduelle en pourcent et la durée en millisecondes.
- ✓ Pour l'évaluation de la compatibilité entre les équipements du réseau, un niveau élevé

Chapitre II: Les indices représentatifs de la qualité de la tension

de détails, concernant les conditions de mesure ainsi que les spécifications de l'équipement utilisé, est recommandé.

- ✓ Dans de nombreux cas, on a recours à une agrégation de temps pour éviter de compter deux fois des événements rapprochés dans le temps.
- ✓ La disponibilité du dispositif de surveillance doit être considérée dans le calcul des fréquences d'évènements pour les indices de site.

5.6 Indices de système

On peut considérer comme indice de système de creux de tension la valeur d'indice de site n'étant pas dépassée dans un pourcentage élevé de sites.

Il est recommandé pour les indices système issus de la surveillance des réseaux HT et THT, que les mesures de creux de tension utilisent la tension entre phases car elles donnent statistiquement une image qui est proche de celle vue par les équipements des utilisateurs que celle donnée par les mesures phase – neutre, [21].

5.7 Agrégation du temps

Plusieurs publications mentionnent l'agrégation de temps comme une méthode possible pour empêcher le double comptage d'évènement. Le raisonnement est que deux creux de tension identiques qui se produisent dans une fenêtre temporelle de courte durée n'auront pas souvent un impact double de chaque événement individuel. L'équipement va soit déclencher au premier événement ou ne pas du tout déclencher. Les discussions sur le choix d'agrégation de la fenêtre temporelle restent ouvertes [12]. Une des méthodes possibles est la suivantes : la tension résiduelle de l'évènement agrégé est la plus petite des valeurs des creux individuels ; la durée de l'évènement agrégé est la plus longue des durées des creux individuels. Quand les événements sont proches les uns des autres dans le temps. La durée de l'évènement agrégé est la somme des deux creux individuels, [12].

1 Introduction

La définition d'objectifs de qualité diffère de celle des indices. Les niveaux de qualité ne sont pas absolus mais dépendent du coût que les clients sont disposés de payer. L'optimisation de la performance de la qualité de la tension du système électrique est un des rôles du distributeur. Le rôle du régulateur est d'assurer que ceci est effectué de manière économique pour l'ensemble du système électrique (réseau et charges raccordées).

2 Application des objectifs de qualité

2.1 Conditions normales :

Les conditions normales d'exploitation du système électrique comprennent classiquement toutes les variations de production, les variations de charge, toutes les situations de compensation d'énergie réactive, les coupures ou arrangements programmés pour des travaux d'entretien ou de construction, et les contraintes normales sous lesquelles le système est conçu pour fonctionner.

2.2 Surveillances

Il doit être noté qu'il n'est pas réaliste ni économique pour un gestionnaire de réseau de surveiller en permanence à toutes les interfaces. [12] Même si les objectifs de qualité sont dépassés dans de tels cas.

La surveillance de la qualité de la tension comme telle ne reflète que la situation au niveau d'un site ou système électrique comme ensemble ; Cependant elle ne renseigne pas sur la part de responsabilité d'une partie donnée (production, transport, distribution, utilisateurs, etc....) sur la dégradation de la qualité de la tension. Quoique des indices de qualité de la tension définis soient mesurés à un point de connexion spécifique sur un réseau de transport ou de distribution, les niveaux mesurés sont influencés par des perturbations qui ont pour origines d'autres parties de ce système électrique auquel ce point est interconnecté [12]

Malgré l'obligation pour un gestionnaire de réseau de fournir une tension avec un niveau donné de qualité, il reste encore techniquement difficile et coûteux de déterminer les responsabilités spécifiques en cas de non-conformité aux limites d'émission. Il n'est pas souvent évident de déterminer la part de responsabilité d'une partie donnée du niveau total de perturbation. Un tel diagnostic implique une surveillance intensive et coordonnée des courants et tensions à différents points du système électrique ; qui inévitablement ne peut être accomplie que par des Campagnes de durées limitées. Ce problème est susceptible de limiter pour un temps l'application pratique des pénalités qui peuvent être imposées par le gestionnaire du réseau en cas de non-conformité aux objectifs de qualité de la tension pour les harmoniques, le Flicker ou le déséquilibre. Plus de recherches sont certainement nécessaires avant que des méthodes de mesure largement acceptées, peuvent expliquer les responsabilités spécifiques des multiples sources perturbatrices [12].

3 Harmoniques

3.1 Objectives de qualités existants :

Le rapport technique CEI 61000-3-6 [13] : définit les niveaux de planification mais ne donne pas des valeurs indicatives car les niveaux de planification sont des objectifs internes de qualité qui diffèrent d'un cas à un autre en fonction de la structure du réseau et

des circonstances.

Rangs impairs non multiples de 3		Rangs impairs multiples de 3		Rangs pairs	
Rang h	Tension harmonique %	Rang h	Tension harmonique %	Rang h	Tension harmonique %
5	2	3	2	2	1,5
7	2	9	1	4	1
11	1,5	15	0,3	6	0,5
13	1,5	21	0,2	8	0,4
17 < h < 49	1,9(17/h) - 0,2	21 < h < 45	0,2	10 < h < 50	1,9(10/h) + 0,16
THD	3 %				

Tableau 3.1: Valeurs indicatives de niveaux de planification de tensions harmoniques (en % de la tension nominale) en HT et THT selon la CEI 61000-3-6, [13].

NB : Par référence aux effets à court - terme (< 3 sec) des harmoniques, les niveaux de planification pour les composantes harmoniques individuelles doivent être multipliés par un facteur $K_{h,vs}$ pour assurer la compatibilité, [16] où :

$$K_{(h,vs)} = 1.3 + 0.7/(45(h - 5))$$

3.2 Comparaison entre les objectives de qualités existants :

Les objectifs de qualité dans les réseaux de transport électriques à Haute et Très Haute tension ne sont pas directement liés à l'immunité des équipements des usagers car ces derniers ne sont pas directement connectés en HT ou THT. En effet, les niveaux indicatifs donnés dans la CEI 61000-3-6, [16] pour la HT et la THT sont bien inférieurs aux niveaux pouvant causer des perturbations immédiates sur les équipements. Les limites aux perturbations sur les réseaux de transport visent à coordonner entre les niveaux de perturbations des différentes parties et étages du réseau électrique. Par conséquent, les objectifs de qualité de la tension en HT et THT diffèrent d'un cas à un autre et dépendent de la configuration du réseau, des caractéristiques de transfert entre les différents niveaux de tension (atténuation ou amplification), le niveau de perturbation présent dans le réseau, ... etc. Ceci correspond à la définition des niveaux de planification.

3.3 Objectives pour les niveaux de planification :

Les niveaux de planification sont donnés dans la CEI 61000 - 3 - 6 [13] et reproduit dans le tableau 3.1

3.4 Objectives pour les caractéristiques de la tension :

Les caractéristiques de tension recommandées en HT - THT sont tout d'abord basées sur les résultats de mesure collectés par les CIGRE/CIREN, [12].

Le tableau 16 montre les objectifs recommandés en ce qui concerne les caractéristiques des harmoniques de tension en HT - THT :

Rang harmonique (h)	Tension harmonique MT (%)	Tension harmonique HT - THT (%)
3	5	2,5
5	6	3,0
7	5	2,5
11	3,5	1-7
13	3	1-7
17	2	1,2
19	1,5	1,2
23	1,5	0,8
25	1,5	0,8
THD	8	4

Tableau 3.2: Valeurs harmoniques recommandées pour les caractéristiques de la tension en MT - HT - THT.

4 Flicker

4.1 Objectives de qualités existants

Le tableau 3.4 résume les objectifs ayant rapport avec le Flicker.

Objectifs de Flicker		Document technique de référence
Norme / Document		CEI 61000-3-7 2008 [6]
Statut		Rapport technique
Objet		Niveaux de planification indicatifs pour les limites d'émission
Objectifs en HT et THT	Pst	0,8
	Plt	0,6
Remarques		Couvre de la MT à la THT

Tableau 3.3 : Objectifs relatifs au flicker.

4.2 Objectives pour les niveaux de planifications :

Les objectifs concernant les niveaux de planification sont semblables à ceux déjà indiqués dans la CEI 61000-3-7 [17]. Il est aussi recommandé de pondérer les niveaux de planification en HT et THT en tenant compte du coefficient de transfert entre THT, HT, MT et BT si des appareils d'éclairage sensibles au Flicker sont branchés.

	Niveaux de planification	
	MT	HT - THT
Pst	0,9	0,8

Tableau 3.4 : Valeurs recommandées pour les niveaux de planification du Flicker en MT-HT-THT

4.3 Evaluation des coefficients de transfert Flicker:

Le coefficient de transfert du Flicker entre deux points A et B est défini comme étant le rapport entre les valeurs du Pst, mesurées simultanément aux deux points.

$$T \text{ Pst }_{ab} = \text{Pst (B)} / \text{Pst (A)}$$

Ce concept est utile en pratique, dans la procédure d'évaluation des limites d'émission pour les charges fluctuantes dans les réseaux électriques MT et HT.

- ✓ Durant l'évaluation des limites pour les charges fluctuantes en HT, l'attribution possible de niveaux d'émission élevés en HT doit être basée sur une bonne connaissance du coefficient de transfert du réseau HT amont vers les réseaux de distribution BT.
- ✓ Durant l'évaluation des limites pour les charges fluctuantes MT, on considère habituellement que le niveau de Flicker dans le réseau MT résulte de la combinaison du Flicker provenant du réseau HT amont et du Flicker résultant de toutes les charges fluctuantes connectées au réseau MT. Le coefficient de transfert de la HT vers la MT doit être connu.

A partir de diverses campagnes de mesures, il apparaît que le Flicker produit en THT ou HT est parfois atténué d'une façon significative dans les réseaux MT ou BT. Cette réduction est due essentiellement à la présence de charges tournantes dans ces réseaux, [12].

4.4 Objectives pour les caractéristiques de la tension :

Comme pour les niveaux de planification, les caractéristiques de la tension pour le Flicker en HT - THT peuvent être obtenues en divisant la valeur du Flicker en BT donnée par la EN 50160 [27] par le coefficient de transfert entre la THT, HT, MT et BT. Les indications données dans les sections précédentes s'appliquent aussi pour l'évaluation du facteur de transfert du Flicker. L'objectif recommandé est :

La valeur du flicker en BT donnée par l'EN 50160, [13] est $P_h < 1$ pendant 95% de temps pour chaque période de mesure d'une semaine.

5 Déséquilibre

5.1 Objectives de qualités existantes :

Documents techniques de référence	Directive 22 : 2006 [17]	Directive	Principes généraux de	/Evaluation			Remarques
				Très courte durée (3-s)	Courte durée (10-mm)	Longue durée (2-heures)	
CIGRE 1992 Document 36-203 [13]	Rapport technique	Evaluation de la qualité de la tension en relation avec les harmoniques, le Flicker et le déséquilibre	1%	1%	-	Couvre de la BT jusqu'à la THT	
CEI 61000-4-30 2003 [22]	Norme internationale	Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation	n/a	n/a	n/a	Il peut attendre Jusque 3%	
CEI 61000-3-13 2008 [18]	Rapport technique	Niveaux de planification indicatifs pour les limites d'émission	-	-	-	1,4 en HT 0,8 en THT	
Norme / Document	Statut	Objet					

Tableau 3.5 : Comparaison entre les objectifs de déséquilibre de tension.

- ❖ Quelques objectifs de déséquilibre de tension en usage dans certains pays :
 - ✓ BELGIQUE : Limite de planification pour la haute tension = 1%
 - ✓ BRESIL : Déséquilibre de tension doit être inférieur à 2%
 - ✓ ITALIE : Limite de planification en HT = 1%
 - ✓ Allemagne : Selon VDEW 1992, le niveau de planification pour le déséquilibre de tension est 2%
 - ✓ USA : Selon ANSI C84.1 et NEMA MG1, un déséquilibre de tension dépassant 1%, La déconnexion des moteurs est nécessaire.

5.2 Objectives pour les niveaux de planification :

En HT et THT, les objectifs varient de 1% à 2%.

Considérant les pratiques courantes dans plusieurs pays ainsi que les résultats de mesures [12], Il est recommandé de retenir les objectifs suivants pour les niveaux de planification

Niveau de tension	Niveau de planification Uneg (%)
MT	1,8%
HT	1,4%
THT	0,8%

Tableau 3.6: Valeurs indicatives du déséquilibre de tension recommandées pour les niveaux de planification (en MT - HT - THT).

5.3 Objectives pour la caractéristique de la tension :

Considérant la norme existante EN 50160 pour la MT et les résultats de mesures pour le HT - THT [1] les objectifs du déséquilibre pour les caractéristiques de la tension appliqués à la

valeur hebdomadaire de probabilité 95% d' $U_{neg,sh}$.

Niveau de tension	Caractéristiques de la tension U_{neg} (%)
MT	2% voir note
HT	2%
THT	1,5%
Note : Dans certaines régions, des déséquilibres de l'ordre de 3% peuvent se produire dans le cas d'alimentation de façon prédominante de charges monophasées.	

Tableau 3.7 : Valeurs du déséquilibre de tension recommandées pour les caractéristiques de la tension (en MT - HT - THT).

6 Creux de tension

6.1 Objectives de qualités existants :

6.1.1 Normes ou guides internationaux :

Des objectifs appropriés de creux de tension ne figurent pas encore dans les normes internationales qui spécifient l'environnement pour les réseaux d'énergie électriques [12]. Les raisons principales pour expliquer cette situation sont le manque d'informations en rapport avec les creux de tension et la large différence entre les topologies des réseaux ainsi que les environnements d'exploitation.

6.1.2 Normes ou guides nationaux :

Dans la directive 22[16] les creux de tension auxquels les installations des utilisateurs du réseau de transport de l'électricité peuvent être soumises sont les suivants :

- Creux de tension de 100% pendant 200 ms pour le niveau 60 et 90 kV.
- Creux de tension de 100% pendant 120 ms pour le niveau de tension 220 et 400 kV.

Dans la norme Européenne EN50160 [23] les objectifs sont les mêmes pour la BT et la MT. Un creux de tension est défini comme un événement avec une tension résiduelle entre 90% et 1% de la tension et une durée entre 0,5 cycle et une minute. Les objectifs sont donnés en termes généraux. Elle prescrit que sous des conditions normales d'exploitation le nombre de creux de tension prévisible dans l'année peut varier de quelques dizaines jusqu'à 1000. La majorité des creux de tension ont une durée inférieure à 1 seconde et une tension résiduelle

au-dessus de 40%. Cependant des creux de tension plus sévères (des tensions résiduelles inférieures, des durées plus longues) peuvent apparaître fréquemment.

Dans certaines zones les creux de tension avec une tension résiduelle entre 90% et 85% de la tension déclarée peuvent apparaître très fréquemment comme conséquence du déclenchement de charges dans les installations des clients.

Une des raisons pour le manque d'objectifs est la difficulté de définir des indices appropriés de site et de système. L'interprétation des valeurs dans l'EN50160 reste un point de discussion et plusieurs gestionnaires de réseaux utilisent le document comme référence pour la qualité de la tension dans leurs propres réseaux HT - THT.

6.2 Indices de site et de système :

Pour les creux de tension, il n'est pas possible de donner des objectifs pour les indices concernant les sites à cause des différences très importantes entre les nombres de creux de tension à prévoir sur des sites différents. Une comparaison d'une année sur l'autre des valeurs d'indices de site peut servir, pour un site donné, à voir les tendances de qualité de la tension sur ce site particulier, bien que les tendances puissent être marquées par des variations statiques ou par des variations climatiques d'une année sur l'autre. La comparaison entre des sites différents n'est pas recommander [24].

7 Conclusion :

Pour les perturbations en régime permanent, tels que les harmoniques, le Flicker et le déséquilibre de tension, deux catégories d'indices peuvent être distinguées étant donnée leur utilisation [12].

- ✓ Indices pour les niveaux de planification : objectifs internes de qualité ;
- ✓ Indices pour les caractéristiques de la tension : pour communication externe des performances du système.

Pour relever les caractéristiques de tension, deux niveaux d'indices peuvent ainsi être distingués :

- ✓ Indices de site : la performance au niveau d'un site spécifique.
- ✓ Indice de système : la performance d'un système électrique.

Les indices recommandés pour les niveaux de planification sont similaires à ceux donnés dans la CEI 61000-3-6 [13], la CEI 61000-3-7 [14] et la CEI 61000-3-13 [15] avec cependant la différence de pouvoir utiliser un ou plusieurs indices recommandés.

Dans le cas du Flicker, les valeurs 10-mn doivent être suffisantes pour les fins de planification.

Pour les indices de sites liés aux caractéristiques de la tension, le document propose un ensemble d'indices de manière à avoir des méthodes de surveillance commune et permettant une comparaison facile des caractéristiques de la tension entre les différents niveaux de tension.

L'indice système recommandé est la valeur de l'indice de site non dépassé dans un pourcentage élevé de sites, pour chaque indice et paramètre individuel. Les exemples de pourcentages élevés de site sont 90, 95 et 99%.

Les objectifs pour les niveaux de planification sont similaires à ceux déjà donnés dans la CEI

Chapitre III: Spécifications techniques et normatives des indices de qualité de la tension

61000-3-6 [13], la CEI 61000-3-7 [14] et la CEI 61000-3-13 [15] pour les harmoniques, le Flicker et le déséquilibre. Pour le Flicker, il est aussi recommandé de pondérer les niveaux de planification en HT - THT en tenant en compte du coefficient de transfert entre la THT, HT, MT et BT où les équipements d'éclairage sensibles au Flicker sont connectés. Il est à noter [12] que les niveaux de planification doivent restés des valeurs indicatives que l'on peut adaptées aux différentes circonstances et caractéristiques du système électrique.

Les objectifs recommandés pour les caractéristiques de la tension en HT - THT sont principalement basés sur les résultats de mesures collectés par le groupe de travail commun CIGRE/CIREN [12]. Par exemple, pour l'harmonique de rang 5 une valeur de 3% comme caractéristique de la tension est recommandée puisque la majorité des investigations donnent des résultats compris entre 2,5 et 3% [12].

Pour les creux de tension, les caractéristiques de base sont la tension résiduelle et la durée pour chaque creux et il est recommandé de les calculer conformément à la norme CEI 61000-4-30 [22]. Les indices de site peuvent être présentés de différentes façons, La méthode de présenter des creux est d'un commun accord entre les parties.

Les indices système des creux de tension peuvent se calculer d'après une valeur qui n'est pas dépassée par un fort pourcentage de sites (ex. 95% des sites) . Des facteurs de pondération peuvent être introduits pour tenir compte des sites non surveillés et la différence d'importance entre différents sites.

A ce stade, il n'est pas possible de donner des valeurs appropriées d'objectifs pour un quelconque indice de creux de tension. On ne peut se servir des indices que pour identifier les niveaux typiques des perturbations pour différents type de sites et constituer ainsi un retour d'expérience à des fins d'amélioration.

Conclusion Générale

Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire à la qualité de l'énergie électrique en présentant les facteurs qui peuvent l'affecter, les outils normalisés d'évaluation des perturbations, ainsi que les indices représentatifs de la qualité de la tension de point de vue gestionnaire de réseau électrique ou consommateurs, nous avons aussi donné des exemples pour les effets néfastes que ces perturbations ont sur les appareils électriques.

Grace à cette étude nous avons pu établir un plan d'évaluation de la qualité de de la tension au sein d'un réseau électrique selon les différentes normes internationales.

Bibliographie

- [1] Roland Calvas, « les perturbations électriques en basse tension » cahiers techniques Schneider ct141, Mai 2001.
- [2] Philippe Ferracci, « Qualité de l'énergie électrique » cahiers technique Schneider ct199, Octobre 2001.
- [3] Vanya Ignatova, « Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique. Application aux creux de tension et à la pollution harmonique » thèse de doctorat de l'université JOSEPH FOURIER, Octobre 2006.
- [4] Pierre Meynaud, « Qualité de la tension dans les réseaux électriques : creux de tension, flicker et harmonique » technique de l'ingénieur D4 620.
- [5] Roger Ott, « Qualité de la tension : creux et coupures brèves » technique de l'ingénieur D4 262.
- [6] Jacques Courault - Guillaume de Preville et Jean - louis Sanhet, « Fluctuation de tension et flicker évaluation et atténuation » technique de l'ingénieur D4 315.
- [7] Jacques Courault - Guillaume de Preville et Jean - louis Sanhet, « Fluctuation de tension et flicker évaluation et atténuation » technique de l'ingénieur D4 316.
- [8] Pierre Meynaud, « Qualité de la tension dans les réseaux électriques : creux de tension, flicker et harmonique » technique de l'ingénieur D4 620.
- [9] René Wierda, « flicker ou scintillement des sources lumineuses » cahiers technique Schneider ct1 76, Décembre 1995.
- [10] Roger Ott, « Qualité de la tension : fluctuation et flicker » technique de l'ingénieur D4 263.
- [11] Power quality indices and objectives Joint Working Group Cigré C4.07 / Cired Rev. March 2004
- [12] Rapport technique 36-203. Evaluation de la qualité de la tension en relation avec les harmoniques, le Flicker et le déséquilibre Cigré 1992
- [13] CEI 61000-3-7 : Evaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT.
- [14] CEI 61000-3-13 : Evaluation des limites d'émission pour les charges déséquilibrées,2005.
- [15] CEI61000-4-11 : Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension,2005.
- [16] CEI61000-4-15 : Flickermètre ,2005.
- [17] ANSI/IEEE 519:1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- [18] 4-30 : Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation.
- [19] IEEE 493: 1997, Recommended and Practices for the design of reliable industrial and commercial power systems
- [20] IEEE 1564, 2003, Voltage sag indices draft 5.
- [21] ERG5/4 [Grande Bretagne], Electricity Association Engineering Recommendation Planning Levels for Harmonic Voltage Distorsion.
- [22] IEEE 1346: 1998, Recommended Practices for evaluating electric power system compatibility with electronics process equipment.
- [23] Directive 22 Principes généraux de coordination du système de Production - Transport de l'Electricité Sonelgaz 19/04/2006.
- [24] ANSI/IEEE 519:1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.