



Cours

Perturbation de la Qualité de l'énergie électrique

Contenu de la matière : Perturbation de la qualité de l'énergie électrique

I. Objectifs de la mesure de la qualité de l'énergie.

II. Dégradation de la QEE

II.1 Creux de tension et coupures

II.2 Surtensions

II.3 Variations et fluctuations de tension

II.4 Déséquilibres

II.5 Harmoniques et interharmoniques

III. Effets des perturbations électriques sur les charges

III.1 Creux de tension

III.2 Surtensions

III.3. Déséquilibres

IV. Niveau de qualité de l'énergie

IV.1 Méthodologie d'évaluation

IV.2 La CEM et les niveaux de planification

Contenu de la matière : Perturbation de la qualité de l'énergie électrique

V. Perturbations harmoniques

V.1 Définition de la pollution harmonique

V.2 Origines et générateurs de grandeurs harmoniques

V.3 Conséquences de la pollution harmonique

VI. Stratégies de limitation des harmoniques

VI.1 Stratégies classiques (Le shunt résonant- Les filtres amortis)

VI.2 Stratégies modernes (Filtrage Actif)

Filtre actif parallèle

Filtre actif série

La combinaison parallèle-série actif (UPQC)

VII. Flicker, Scintillement des sources lumineuses

VII.1 Origines,

VII.2 Inconvénients,

VII.3 Quantification et mesure du Flicker,

VII.4 Remèdes.

Chapitre 1 : Objectifs de la mesure de la QEE

Généralités

La qualité de l'électricité est devenue un sujet stratégique pour les **compagnies d'électricité**, les **personnels d'exploitation**, de maintenance ou de gestion de sites tertiaires ou industriels, et les **constructeurs d'équipements**, essentiellement pour les **raisons suivantes** :

- la nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises,
- la généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et/ou eux-mêmes générateurs de perturbations,

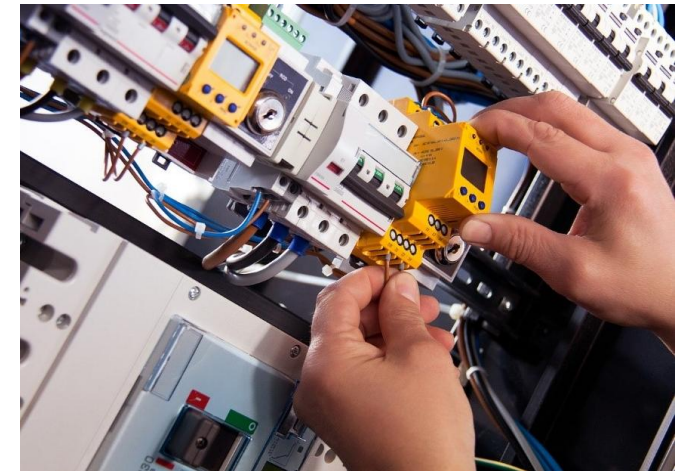


Cartes électroniques

- l'ouverture du marché de l'électricité.



Convertisseurs statiques, Variateurs de vitesse



Systèmes de protection, relais...

Qu'est-ce que la qualité de l'électricité ?

La qualité de l'électricité recouvre les trois notions de **continuité d'alimentation**, de **qualité de l'onde de tension**, et de **qualité de service** :

- **La continuité d'alimentation** recouvre les coupures, ou interruptions, subies par les utilisateurs. Il existe un certain nombre de critères pour classer ces coupures, et il est notamment fait distinction entre coupures programmées et coupures non programmées, et entre coupures longues (supérieures à 3 minutes) et coupures brèves (entre 1 seconde et 3 minutes).
- **La qualité de l'onde de tension** recouvre les perturbations liées à la forme de l'onde de tension délivrée par le réseau, susceptibles d'altérer le fonctionnement des appareils électriques raccordés au réseau, voire de les endommager. Différents termes peuvent être utilisés en fonction des caractéristiques de la perturbation : creux de tension, surtensions impulsionnelles, tensions hautes ou basses, variations de fréquence, papillotement, taux d'harmoniques et d'inter-harmoniques, déséquilibre entre phases, etc.
- **La qualité de service** caractérise la relation entre un utilisateur et son gestionnaire de réseau, ainsi qu'éventuellement son fournisseur (délai de (re)mise en service, délai d'intervention d'urgence, délai de raccordement, notification de coupure programmée, tenue des horaires de rendez-vous, etc.).

2. Objectifs de la mesure de la qualité de l'énergie

Selon les applications, **les paramètres à mesurer** et la **précision de la mesure** ne sont pas les mêmes.

2.1. Application contractuelle : Des relations contractuelles peuvent s'établir entre fournisseur d'électricité et utilisateur final, mais aussi entre producteur et transporteur ou entre transporteur et distributeur dans le cadre d'un marché dérégulé. Une application contractuelle nécessite que les termes soient définis en commun et acceptés par les différentes parties. Il s'agit alors de **définir les paramètres de mesure de la qualité et de comparer leurs valeurs à des limites prédéfinies**.

2.2. Maintenance corrective :

Malgré le respect des règles de l'art (conception de schéma, choix des protections, du régime de neutre et mise en place de solutions adaptées) dès la phase de conception, des dysfonctionnements peuvent apparaître en cours d'exploitation :

- Les perturbations peuvent avoir été négligées ou sous-estimées,
- L'installation a évolué (nouvelles charges et / ou modification)

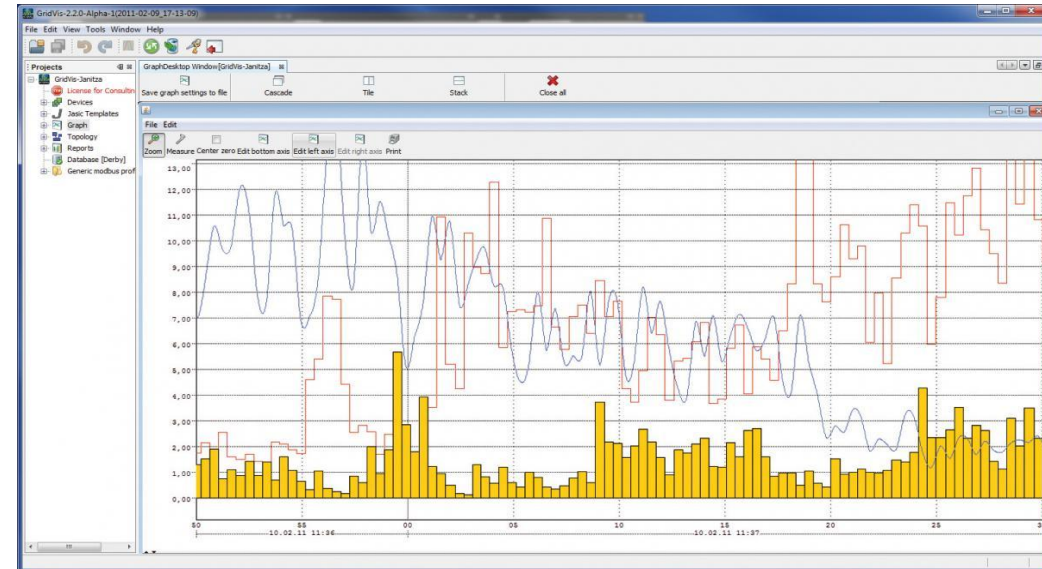
2. Objectifs de la mesure de la qualité de l'énergie (suite)

2.3. Optimisation du fonctionnement des installations électriques

Pour réaliser un gain de productivité il faut avoir un bon fonctionnement des procédés et une bonne gestion de l'énergie.

2.4. Enquêtes statistiques

- Enquêtes sur les performances générales d'un réseau qui permettent de planifier et cibler les interventions préventives grâce à une cartographie des niveaux de perturbations sur un réseau.
- Comparer la QEE fournie par différents distributeurs.
- Enquêtes sur les performances en un point particulier du réseau qui permettent de déterminer l'environnement électromagnétique auquel une installation future ou un nouvel équipement sera soumis.



Exemple : cartographie

2. Objectifs de la mesure de la qualité de l'énergie (suite)

2.5. Optimisation du fonctionnement des installations électriques

Pour réaliser un gain de productivité il faut avoir un bon fonctionnement des procédés et une bonne gestion de l'énergie.

3. Dégradation de la QEE

La mesure de QEE consiste habituellement à caractériser les perturbations électromagnétiques conduites basse fréquence ($< 9\text{kHz}$, gamme élargie pour les surtensions transitoires et la transmission de signaux sur réseau) :

- Creux de tension et coupures (voltage dips and interruptions),
- Harmoniques (harmonics), interharmoniques (interharmonics),
- Surtensions temporaires (temporary overvoltages),
- Surtensions (swell),
- Surtensions transitoires (transient overvoltages),
- Fluctuations de tension (voltage fluctuations),
- Déséquilibres de tension (voltage unbalance),
- Variations de la fréquence d'alimentation (power-frequency variations),
- Tension continue dans les réseaux alternatifs (d.c. in a.c. networks),

Conclusion :

Il n'est en général pas nécessaire de mesurer l'ensemble de ces perturbations.

Elles peuvent être groupées en **quatre catégories** selon qu'elles affectent **l'amplitude, la forme d'onde, la fréquence et la symétrie de la tension**.

Plusieurs de ces caractéristiques sont souvent modifiées simultanément par une même perturbation.

Chapitre 2 : Creux de tension et coupures

Généralités

Dans la pratique, **l'énergie électrique distribuée** se présente sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé, qui possède quatre caractéristiques principales : **amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie**.

L'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale.

Dans le cas idéal, les trois tensions ont la **même amplitude**, qui est une constante. Cependant, plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de l'amplitude on distingue deux grandes familles de perturbations :

- **Les creux de tension, coupures** et surtensions.
- Les variations de tension .

1. Définition des creux de tension et coupures

Un creux de tension est généralement défini comme une baisse de 10 % à près de 100 % de la valeur de référence $U_{réf}$ pendant un temps compris entre 10 ms et quelques secondes suivie d'un rétablissement de la tension après un court laps de temps compris entre la demi-période fondamentale du réseau (10 ms à 50 Hz) et une minute (Figure.1).

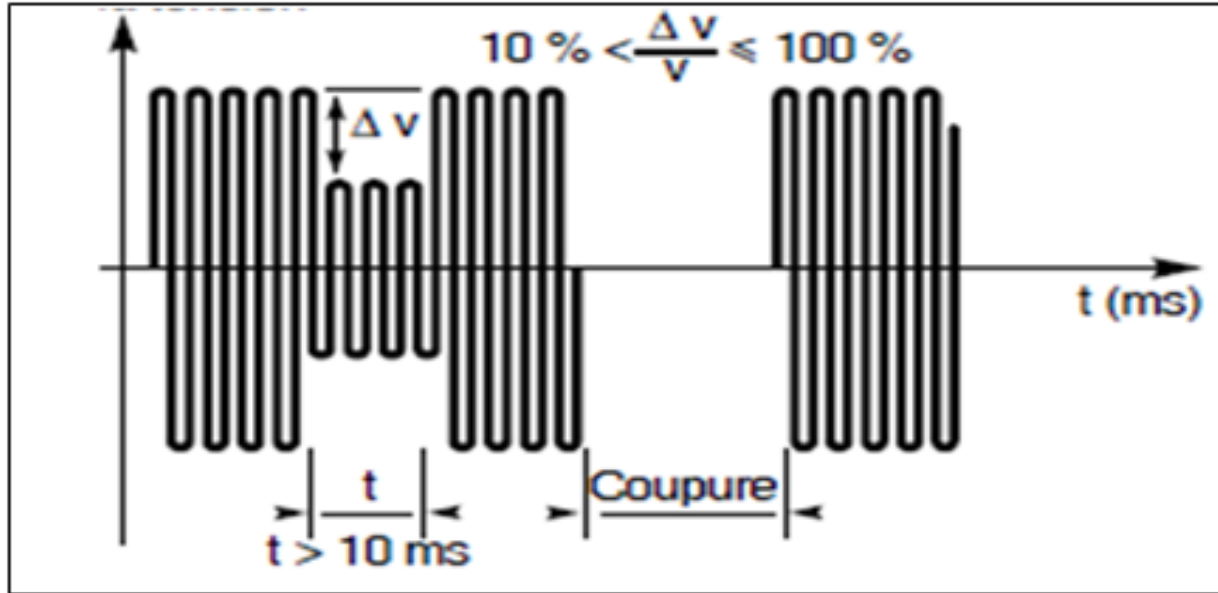
Lorsque la tension est absente (baisse de tension de 100 %) :

- pendant 1 s à 1 mn on parle de « coupure brève »,
- et entre 10 ms et 1 s de « coupure très brève ».

Lorsque la durée est ≤ 10 ms, la coupure est généralement due à des « phénomènes transitoires » ou volontaires, par exemple à l'emploi de gradateurs.

Chapitre 2: Creux de tension et coupures

Amplitude de tension



Normes:

(CEI 61000-2-1)
(CENELEC EN 50160),
(IEEE 1159)

Fig. 1. Creux de tension (ΔV) et coupure

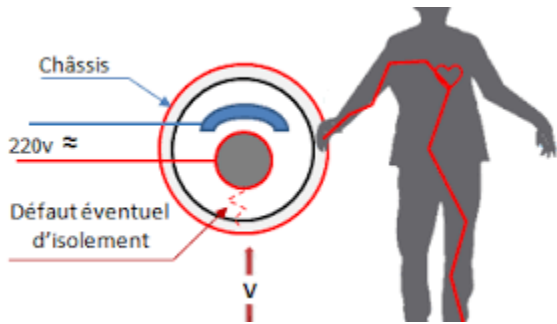
2. Causes

1- Perturbations dues à l'exploitation des réseaux HT et MT

- Les **modifications volontaires de la géométrie** d'un réseau provoquent des **coupures brèves** qui peuvent atteindre plusieurs secondes. Mais les réseaux de distribution maillés sont moins sensibles à ce phénomène.
- La mise sous tension de gros transformateurs provoque des creux de tension évolutifs dus aux courants d'enclenchement ou la mise sous tension des condensateurs MT et des gros moteurs : pour les condensateurs le courant d'appel peut atteindre 100 fois leur courant nominal (selon CEI 831-1) et jusqu'à $8 I_n$ pendant plusieurs dizaines de secondes pour les moteurs.
- Perturbations dues à des défauts sur des réseaux HT et MT (court-circuit et défaut d'isolement).

2. Causes (Suite)

Des phénomènes, tels que : **défaut d'isolement du matériel**, coup de foudre, blessure d'un câble souterrain, mise à la terre d'un conducteur aérien, provoquent des courts-circuits qui génèrent des chutes de tension importantes dans une zone plus ou moins étendue autour de l'origine du défaut ; ceci avant la mise hors service de l'élément défectueux par les protections.





Chapitre 2: Creux de tension et coupures

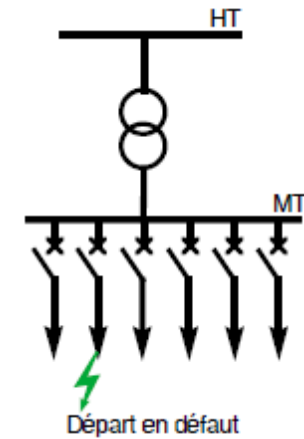
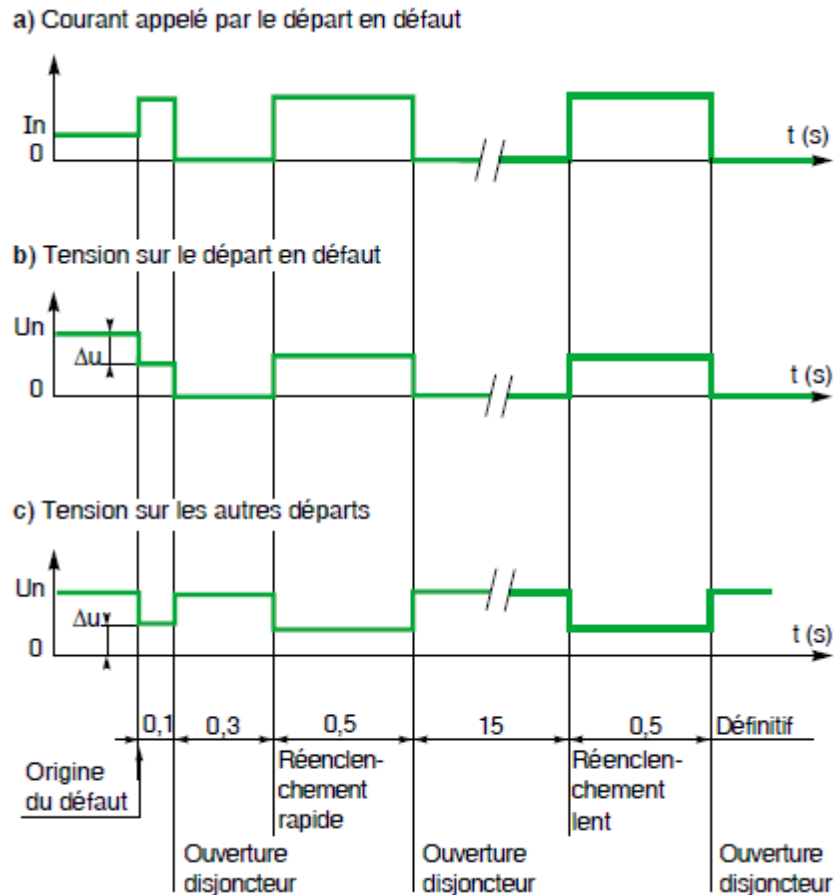
Sur les réseaux THT (400 et 225 kV), différents réenclencheurs sont en service :

- Réenclencheurs monophasés lents fonctionnant en cas de défaut monophasé : la durée de la coupure est de l'ordre de 1,5 à 2 s,
- Réenclencheurs triphasés lents (défauts polyphasés) dont le fonctionnement est assujéti au contrôle de synchronisation des tensions : la durée de la coupure est de l'ordre de 5 s.

Perturbations dues à des défauts sur des réseaux HT et MT (court-circuit et défaut d'isolement).

Les défauts polyphasés sont traités par des réenclencheurs rapides et lents qui provoquent des creux de tension sur la BT (fig.1). Environ 75 % des défauts sont éliminés après le réenclenchement rapide qui correspond à la classique coupure brève de 300 ms.

Chapitre 2: Creux de tension et coupures



Principe : Sur un réseau MT en aérien, la plupart des défauts sont fugitifs, aussi le disjoncteur en tête de chaque départ est équipé d'un automate qui tente deux réenclenchements (parfois trois) :

- le premier instantanément (durée d'ouverture + fermeture : 0,3 s),
- le second après environ 15 s.

Fig. 4 : variations de tension lors des réenclenchements rapides et lents sur un réseau de distribution MT.

Perturbations dues à des défauts sur des réseaux BT

Les courts-circuits sur la distribution principale BT, entre deux conducteurs actifs ou entre un conducteur actif et une masse en schéma de liaison à la terre TN, sont aussi à l'origine de creux et de coupures de tension. Ces courts-circuits éliminés par les disjoncteurs, sélectifs ou non, provoquent un creux de tension d'autant plus « profond » que le départ incriminé est important au regard de la puissance de la source, et qui peut durer de 50 à 500 ms.

A noter que les réseaux BT secourus par groupes tournants et dispositifs d'inversion de source (normal/secours) peuvent se trouver sans alimentation pendant plusieurs secondes :

Temps d'interruption = $T1 + Td + T$,

Avec :

$T1$ = temporisation au démarrage du groupe (0,4 à 10 s),

Td = temps de démarrage du groupe (quelques secondes),

T = temps d'inversion (< 0,4 s).

Chapitre 2: Creux de tension et coupures

La forme de quelques creux et coupures de tension est donnée sur figure 7.

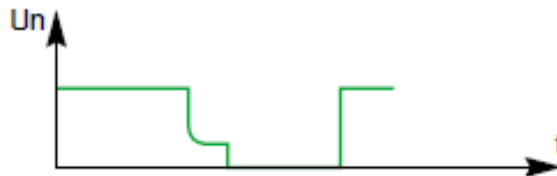
■ Permutation de source volontaire

Durée : quelques millisecondes à plusieurs minutes.



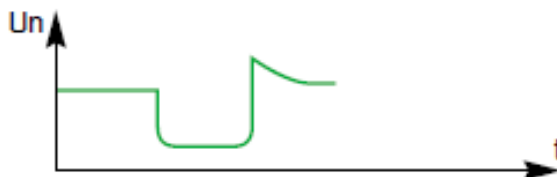
■ Permutation de source automatique suite à un défaut extérieur

Durée : quelques millisecondes à 10 s.



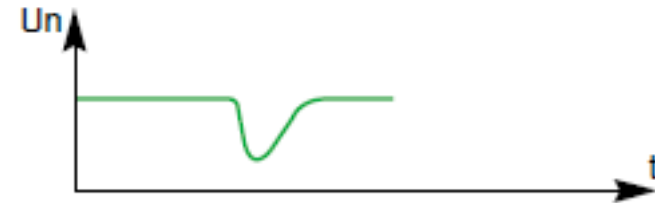
■ Court-circuit externe

Durée : de 10 ms à plus de 100 ms.



■ Enclenchement d'une grosse unité

Durée : fonction de la puissance du réseau.



■ Coupures brèves avec gros moteur et reprise au vol.

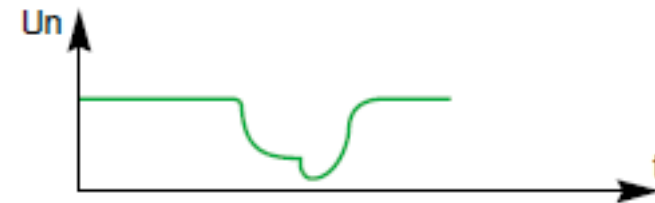


Figure 7: Principaux types de coupure et creux de tension.

Conclusion sur les creux de tension et les coupures brèves

Statistiquement on observe des coupures et des creux de tension, en tête d'un réseau BT, de 1 fois par mois à 10 fois par jour. Leur origine est majoritairement due à la moyenne et haute tension et dans 80 % des cas leur durée est comprise entre 20 et 350 ms.

L'appareillage électrotechnique est généralement insensible à ces phénomènes, mis à part les contacteurs et relais dont la « chute » et la « remontée » intempestives peuvent provoquer d'énormes problèmes dans les procédés industriels.

Perturbations dues à des défauts sur des réseaux BT

Les courts-circuits sur la distribution principale BT, entre deux conducteurs actifs ou entre un conducteur actif et une masse en schéma de liaison à la terre TN, sont aussi à l'origine de creux et de coupures de tension. Ces courts-circuits éliminés par les disjoncteurs, sélectifs ou non, provoquent un creux de tension d'autant plus « profond » que le départ incriminé est important au regard de la puissance de la source, et qui peut durer de 50 à 500 ms.

A noter que les réseaux BT secourus par groupes tournants et dispositifs d'inversion de source (normal/secours) peuvent se trouver sans alimentation pendant plusieurs secondes :

Temps d'interruption = $T1 + Td + T$,

Avec :

$T1$ = temporisation au démarrage du groupe (0,4 à 10 s),

Td = temps de démarrage du groupe (quelques secondes),

T = temps d'inversion (< 0,4 s).