

CHAPITRE 1

Introduction aux notions de la qualité de l'énergie

L'objectif fondamental des réseaux électriques est de fournir aux clients de l'énergie électrique avec une parfaite continuité, sous une forme de tension sinusoïdale, avec des valeurs d'amplitude et de fréquence préétablies. Cependant cet objectif semble idéal et n'est jamais facile à assurer, car le réseau électrique aujourd'hui est appelé à fonctionner sous un environnement de plus en plus agressif, et par conséquent, il doit faire face à de nombreux types de perturbations qui peuvent être d'origine interne comme l'évolution et la complexité du réseau et des charges qui lui sont connectées, ou externe liées aux phénomènes des changements climatiques.

Ainsi, afin d'assurer l'objectif d'une énergie de qualité, il est impératif de comprendre les caractéristiques, les origines, et les effets des différentes perturbations afin de chercher les remèdes adéquats. Nous commencerons ce cours par une brève introduction des notions de base de la qualité d'énergie. Nous exposerons ensuite les principales perturbations affectant la qualité de l'onde électrique, notamment les harmoniques pour lesquelles on s'intéressera particulièrement. Nous parlerons également de leurs origines, de leurs effets et des normes en vigueur. Nous discuterons ensuite différentes solutions envisagées pour pallier aux problèmes liés aux perturbations harmoniques.

Définitions :

La qualité de l'énergie électrique (QEE) fait référence à la conformité des caractéristiques de l'électricité fournie avec les normes et les spécifications requises pour assurer un fonctionnement stable et efficace des équipements électriques. Elle est mesurée par divers paramètres qui évaluent la pureté, la stabilité et la continuité de la tension électrique fournie avec une forme d'onde quasi sinusoïdale des tensions et des courants du bus de distribution d'alimentation à une amplitude et une fréquence nominales.

La qualité de l'énergie électrique est étroitement liée à la qualité de l'onde de tension, laquelle est caractérisée par les paramètres suivants :

- ✚ Forme d'onde parfaitement sinusoïdale ; pas de distorsions, de pics, de creux et amplitude dans les limites tolérables ;
- ✚ Equilibre et symétrie parfaite des phases en amplitude et en phase ;
- ✚ Stabilité de la fréquence.

1. Aspects de la qualité de l'énergie électrique :

Les principaux aspects de la qualité de l'énergie électrique comprennent :

- **Tension nominale** : La tension fournie doit être proche de la valeur nominale spécifiée (par exemple, 220 volts en courant alternatif).
- **Stabilité de la tension** : La variation de la tension doit être maintenue dans des limites acceptables pour garantir un fonctionnement stable des équipements électriques.

- **Distorsion harmonique :** Les signaux électriques idéaux sont des sinusoïdes, mais des distorsions harmoniques peuvent survenir en raison de la présence d'ondes non sinusoïdales. Un niveau élevé de distorsion harmonique peut affecter le fonctionnement des équipements sensibles.
- **Facteur de puissance :** Le facteur de puissance mesure l'efficacité de conversion de l'énergie électrique en travail utile. Un facteur de puissance bas peut entraîner une utilisation inefficace de l'énergie.
- **Continuité de service :** Il s'agit de la disponibilité constante de l'électricité sans interruptions indésirables. Elle est affectée par les interruptions fortuites, longues ou brèves, et les interruptions programmées. Elle se mesure par le nombre de coupures d'alimentation en un point donné : coupure/unité de temps (Exemple : 5 Coupures/Mois).
- **Régulation de la fréquence :** La fréquence de l'électricité doit être maintenue proche de la valeur nominale (par exemple, 50 Hz) pour assurer le bon fonctionnement des équipements.
- **Surtensions et sous-tensions :** La présence de variations brusques de tension peut endommager les équipements électriques.
- **Qualité de la mise à la terre :** Une mise à la terre adéquate est essentielle pour assurer la sécurité et la qualité du réseau électrique.

La surveillance et le contrôle de ces paramètres sont essentiels pour garantir une qualité de l'énergie électrique conforme aux normes et pour maintenir un fonctionnement fiable des systèmes électriques.

2. Qualité de l'onde de la tension

Aptitude à alimenter de façon continue et satisfaisante les appareils qui utilisent l'électricité. 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
- Symétrie

Différentes Perturbations

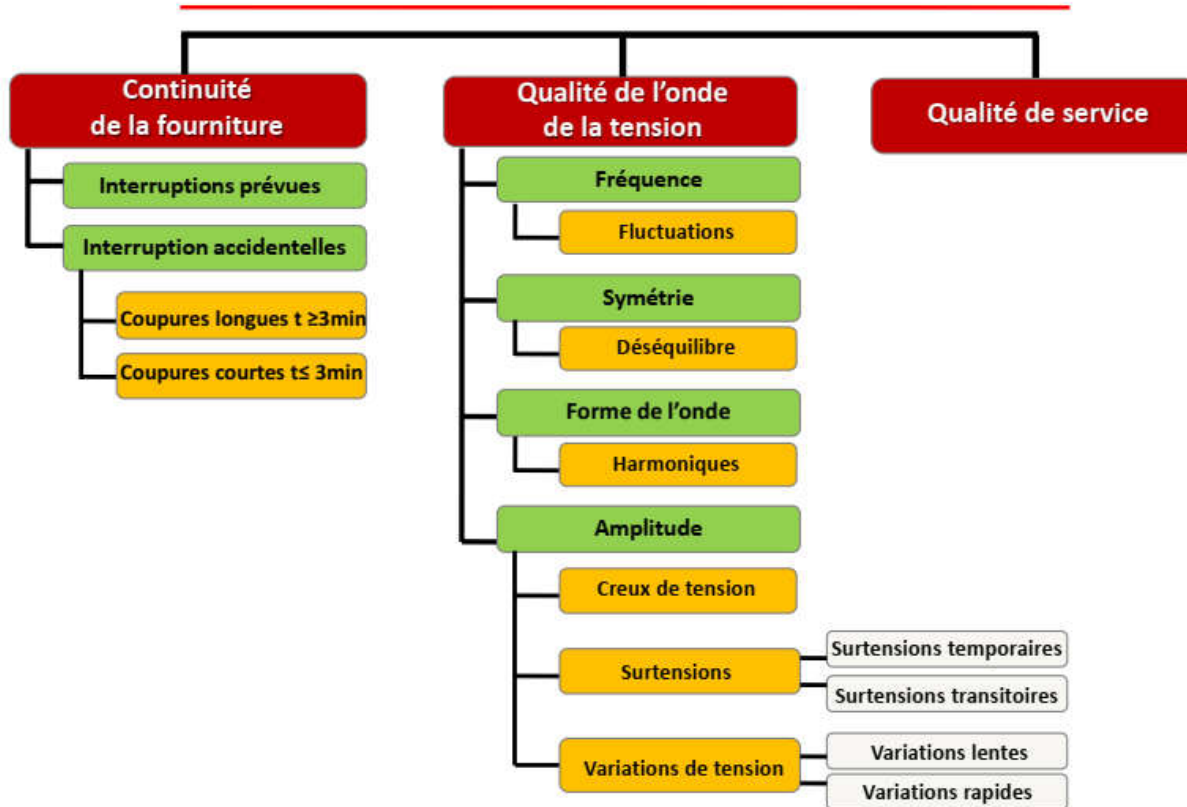


Figure 1.1 Différentes perturbations de l'énergie électrique

2.1 Fréquence

Dans le cas idéal, les trois tensions sont alternatives et sinusoïdales d'une fréquence constante de 50 ou 60 Hz selon le pays. Des variations de fréquence peuvent être provoquées par des pertes importantes de production, de l'îlotage d'un groupe sur ses auxiliaires ou son passage en réseau séparé, ou d'un défaut dont la chute de tension résultante entraîne une réduction de la charge. La qualité de la fréquence est généralement spécifiée dans les normes électriques et est surveillée de près dans les réseaux électriques afin d'assurer la fiabilité et la stabilité du système. Des dispositifs de régulation automatique de la fréquence sont utilisés pour maintenir la fréquence à des niveaux acceptables, et des protocoles de synchronisation sont mis en œuvre pour garantir la cohérence entre les différentes parties du réseau électrique.

La qualité de la fréquence de la tension électrique englobe plusieurs aspects clés :

- **Stabilité de la fréquence** : La fréquence doit rester proche de la valeur nominale, par exemple, 50 Hz dans de nombreuses régions du monde. Des variations significatives de la fréquence peuvent entraîner des problèmes de synchronisation dans les systèmes électriques et affecter le fonctionnement des équipements.
- **Fluctuation de fréquence**
Les fluctuations de fréquence sont caractérisées par des variations de la valeur nominale de la fréquence fondamentale du réseau (50 ou 60 Hz), résultant des variations de vitesse des alternateurs, suite à un déséquilibre entre charges et puissances mises en jeu par les centrales, ou encore suite au démarrage ou à l'arrêt d'une charge importante. Elles se manifestent par des perturbations sur les vitesses et les couples des machines synchrones, et parfois l'arrêt entier des systèmes.

- **Régulation de la fréquence** : La capacité du système électrique à maintenir la fréquence à un niveau constant, même face à des changements de charge importants.
- **Synchronisation** : La synchronisation de la fréquence entre différentes parties du réseau électrique est cruciale pour assurer un fonctionnement coordonné et stable.
- **Rejet des harmoniques de fréquence** : L'absence d'harmoniques de fréquence indésirables, qui sont des composants de fréquence multiples de la fréquence fondamentale, est importante pour garantir une alimentation électrique propre et stable.
- **Réponse transitoire** : La capacité du système à rétablir rapidement la fréquence après des perturbations temporaires, telles que des variations de charge importantes.

2.2 Symétrie

Un système de tensions (courants) triphasé est dit équilibré si les amplitudes des trois tensions/Courants de phases sont égales et sont séparées entre eux d'un angle électrique de 120° en phase.

2.3 Forme d'onde

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde, la tension n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquence multiple entier de 50 Hz appelées harmoniques, ou n'est pas un multiple entier de 50 Hz (interharmoniques). Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, alors dénommés bruits.

2.4 Amplitude

L'amplitude de la tension est un facteur important pour la qualité de l'électricité. Elle constitue en général le premier engagement contractuel du distributeur d'énergie. Habituellement, 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. Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale origine des courts-circuits, et peuvent avoir des conséquences importantes pour les équipements électriques.
- ✓ Les variations de tension. Ces perturbations se caractérisent par des variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. Elles sont généralement dues à des charges fluctuantes ou des modifications de la configuration du réseau.

3. Qualité du courant

La qualité du courant électrique est cruciale pour garantir le fonctionnement fiable des équipements électriques et électroniques, en particulier pour les appareils sensibles aux variations de tension et de fréquence. La qualité du courant se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : Amplitude, Fréquence, Forme d'onde et Symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constantes, déphasés de $2\pi/3$ radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale. Le terme « qualité du courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement liée à la qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, «la qualité de l'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension ».