

Etude expérimentale des effets de la non sinusoidalité dans un mini Réseau autonome

Mounira Mekki*, Hocine Labar*

*Department of Electrical Engineering, Annaba University, Email: mekki_mounira@yahoo.fr

Résumé- Ce travail est dédié aux problèmes réels observés dans les grands complexes industriels (El Hadjar dans notre cas) dû aux fortes non linéarité, à cet effet, nous avons montré l'incompatibilité des appareils de mesure existant face aux perturbations harmoniques, ces appareils sont souvent utilisés dans le contrôle, et la gestion, ce travail donne une explication et un sens physique aux erreurs de mesure, afin de faire des ajustements adéquats sans avoir recours à un remplacement complet de la métrologie en service.

Mots clés: Harmonique, THD, PF_{true} , puissance déformante.

I. INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, le fournisseur d'énergie électrique s'efforce de garantir la qualité de l'énergie électrique, les premiers efforts se sont portés sur la continuité de service afin de rendre toujours disponible l'accès à l'énergie chez l'utilisateur. Aujourd'hui, les critères de qualité ont évolué avec le développement des équipements où l'électronique prend une place prépondérante dans les systèmes de commande et de contrôle et qui entraîne de plus en plus de problèmes de perturbations au niveau des réseaux électriques.

Ces dispositifs sensibles, mais qui dégradent également la qualité de la tension, existent dans toutes les catégories d'utilisateurs telle que le domaine industriel par l'emploi de convertisseurs de l'électronique de puissance, le domaine tertiaire avec le développement de l'informatique et le domaine domestique par l'utilisation en grand nombre des téléviseurs, magnétoscopes, lampes à économie d'énergie, ...

Ainsi, on assiste à une augmentation régulière, de la part des utilisateurs, des taux de déséquilibre des courants et d'harmonique, ainsi qu'à une importante consommation de la puissance réactive. La circulation de ces mêmes courants perturbés va également provoquer des déséquilibres (non symétrie) de tension et des harmoniques, lesquels vont se superposer à la tension nominale du réseau électrique [1].

II. PROBLEME DE LA QUALITE DE L'ENERGIE

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'il maintient à leurs bornes. Il apparaît évident que la qualité de cette énergie dépend de celle de la tension au point de livraison. Cette tension subit généralement

beaucoup de perturbations de deux origines distinctes :

Les perturbations de tension causées par le passage, dans les réseaux électriques, des courants

Perturbateurs comme les courants harmoniques, déséquilibrés et réactifs,

Les perturbations de tension causées par des tensions perturbatrices comme les tensions harmoniques et déséquilibrées et les creux de tension.

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 définissant la qualité de l'énergie : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

a- Amplitude

L'amplitude de la tension est un facteur crucial 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.[2]

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.

b- 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'ilotage 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. Cependant, ces variations sont en général très faibles (moins de 1%) et ne nuisent pas au bon fonctionnement des équipements électriques ou

électroniques. Pour les pays européens dont les réseaux sont interconnectés, la norme EN 50160 précise que la fréquence fondamentale mesurée sur 10s doit se trouver dans l'intervalle $50\text{Hz} \pm 1\%$ pendant 99,5% de l'année, et $-6\% \div 4\%$ durant 16100% du temps. Il faut également remarquer que les variations de fréquence peuvent être bien plus importantes pour les réseaux autonomes.

c-Forme d'onde

Fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, alors dénommés bruits.

d-Symétrie

La symétrie d'un système triphasé se caractérise par l'égalité des modules des trois tensions et celle de leurs déphasages relatifs. La dissymétrie de tels systèmes est communément appelé déséquilibre.

Notre travail est orienté principalement sur la forme d'onde caractérisé essentiellement par les harmoniques qui sont des signaux de fréquence multiple de la fréquence industrielle. Ils sont générés par des charges dites non-linéaires. Certains appareils ne présentent pas une impédance constante durant la durée de l'alternance de la sinusoïde de tension à 50 Hz. Ils absorbent alors un courant non sinusoïdal qui se propage dans le réseau et déforme ainsi l'allure de la tension.

Une tension ou un courant déformé par rapport à la sinusoïde de référence peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence multiples à celle du fondamental (50Hz pour le réseau de Algérie).

Chaque composante est caractérisée par son rang (par exemple rang 5 pour une composante à la fréquence de 250Hz, soit $5 \times 50\text{ Hz}$) et par son amplitude exprimée en pourcentage par rapport à celle du fondamental.

On caractérise la pollution d'un réseau de manière globale par le taux de distorsion harmonique en tension et ou en courant.[3]

Il existe aussi d'autres types d'harmoniques : Les inter-harmoniques qui sont des signaux non multiples de la fréquence industrielle. Les variateurs de vitesses pour machines asynchrones, les fours à arcs sont les principaux générateurs d'inter-harmoniques.

II.1-Origine de la distorsion :

Les appareils électroniques sont les principaux responsables de la pollution harmonique, mais les autres charges du réseau peuvent également y contribuer

a-Émission en tension

Les machines synchrones et les transformateurs saturés sont des **sources de tensions harmoniques**. [4]

b- Émission en courant

Les charges non linéaires se comportent comme des sources de courants harmoniques,

II.2-Conséquences des harmoniques :

On peut classer les effets engendrés par les

harmoniques en deux types : les effets instantanés et les effets à terme.

a-Effets instantanés :

- Défauts de fonctionnement de certains équipements électriques.[5]
- Troubles fonctionnels des micro-ordinateurs.
- Erreurs dans les appareils de mesure
- Vibrations et bruits.

b-Effets à terme :

- Echauffement des câbles et des équipements
- Echauffement des condensateurs.
- échauffement dû aux pertes supplémentaires des machines électriques et des transformateurs.

III. CARACTERISATION DES PERTURBATIONS HARMONIQUES

Différentes grandeurs sont définies pour caractériser la distorsion en régime déformé. Le taux global de distorsion harmonique (THD) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.

• THD : (Le taux de distorsion d'harmoniques)

Notre étude se limite au cas où la source de tension est sinusoïdale et où le courant absorbé par la charge est entaché de composantes harmoniques. Dans ces conditions, le taux global de distorsion harmonique est bien adapté pour quantifier le degré de pollution harmonique sur les réseaux électriques. Le THD s'exprime par rapport à la fréquence fondamentale et caractérise l'influence des harmoniques sur l'onde de courant déformée. Il est donné par l'expression suivante :[6]

$$\text{THD}(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_{ci}^2}}{I_{c1}} \cdot 100 \quad (1)$$

Avec :

I_{c1} : la valeur fondamentale du courant efficace.

I_{ci} : les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant.

- **RMS** La valeur efficace d'un courant périodique (ou tension) est défini comme suit :

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} i(t)^2 dt} \quad (2)$$

Si le courant est sinusoïdal, la valeur efficace est simplement la valeur maximale divisée par $\sqrt{2}$. [7]

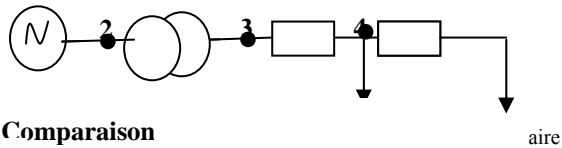
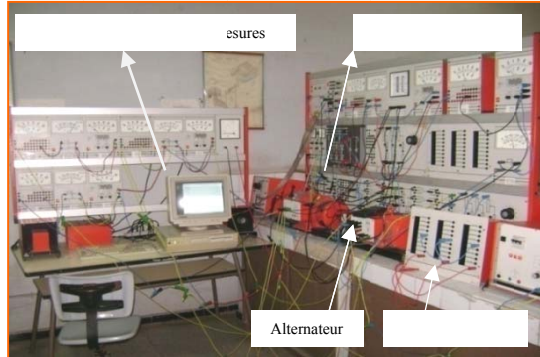
$$i(t) = I_{dc} + \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(K\omega_0 t + \theta_K) \quad (3)$$

- **True Power Factor**

Pour examiner l'impact des harmoniques sur le facteur de puissance, il est important de considérer le vrai facteur de puissance, qui est définie comme suit :[8]

$$P_{true_k} = \frac{\cos\phi_k}{\sqrt{1 + THDI_k^2}} \quad (4)$$

VI. LE MODELE PROPOSE EXPERIMENTAL :



Comparaison

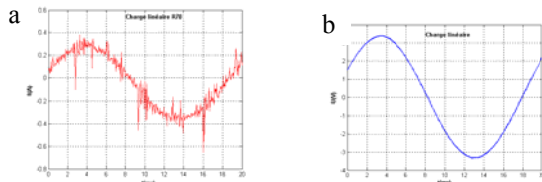


Fig.1 Courant et tension :Cas de la charge linéaire

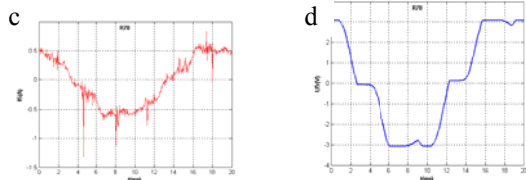


Fig.2 Courant et tension :Cas de la charge non linéaire résistive

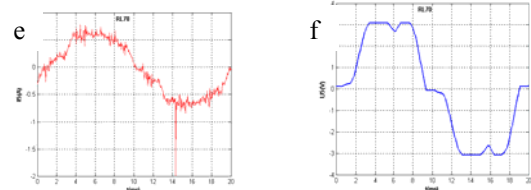


Fig.3 Courant et tension :Cas de la charge non linéaire résistive-inductive

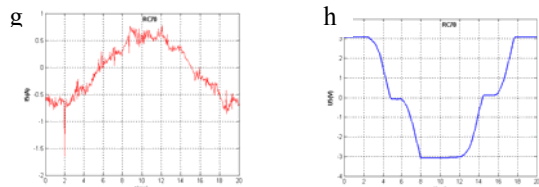


Fig.4 Courant et tension :Cas de la charge non linéaire résistive-capacitive

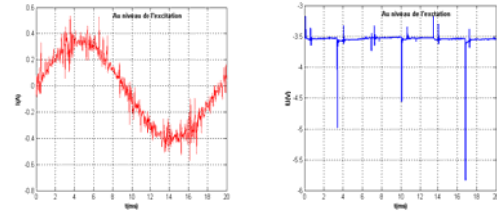


Fig.5 Courant et tension :Au niveau de l'excitation

Analyse des grandeurs temporelles:

Les mesures effectuées par cassy, ainsi que le relevé des allures des courants et tensions ont montré l'effet du type de charge non linéaire (RC, RL et R) sur la tension d'alimentation et le courant qui en découle. En plus de la nature de la charge sa valeur peut engendrer des résonnances préférentielles pour un harmonique ou une bande d'harmoniques donnée. Pour une excitation parfaitement lissée, la tension de sortie est purement sinusoïdale, cette sinusoïdalité est altérée dans le cas d'une excitation non linéaire.

-La tension est sinusoïdale dans le cas où la charge est linéaire, elle présente des ondulations pour les deux autres cas, et elle est perturbée beaucoup plus au niveau de la source.

Le travail expérimental consiste à faire varier au niveau de la charge non linéaire la charge résistive de 10 à 100% avec un pas de 10 pour les trois cas de charge :

- 1- Charge résistive-capacitive.
- 2- Charge résistive-inductive
- 3- Charge résistive.

Et de relever pour chaque cas les valeurs des tensions U_k , des courants I_k , des puissances actives P_k et réactives Q_k , et des $\cos\phi_k$.

Les Résultats de mesure sont représentées sur les figures ci-dessous :

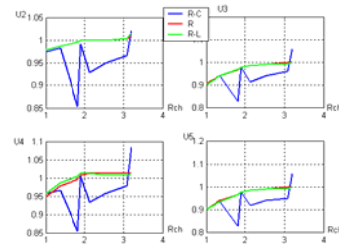


Fig. 6 $U_k=f(Rch)$

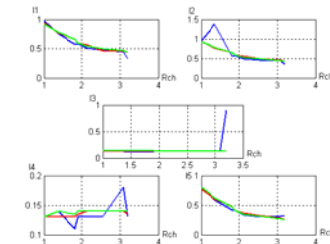


Fig. 7 $I_k=f(Rch)$

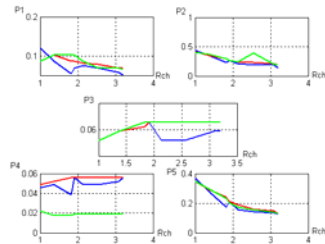


Fig.8 $P_k=f(Rch)$

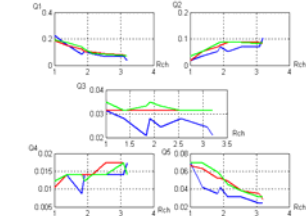


Fig.9 $Q_k=f(Rch)$

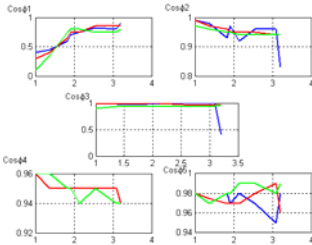


Fig.10 $\cos \varphi_k=f(Rch)$

Résultats de calcul : $PF_k = \cos(\arctan(\frac{Q_k}{P_k}))$

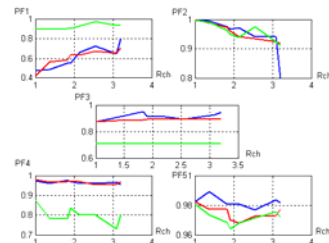


Fig.11 $PF_k=f(Rch)$

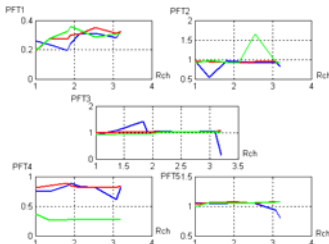


Fig.12 $PF_{Tk}=f(Rch)$

$$S_k = \sqrt{3} U_k \cdot I_k$$

$$D_k = \sqrt{S_k^2 - P_k^2 - Q_k^2}$$

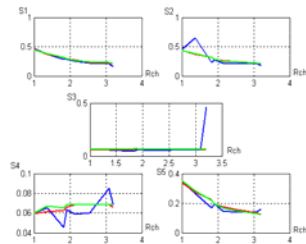


Fig.13 $S_k=f(Rch)$

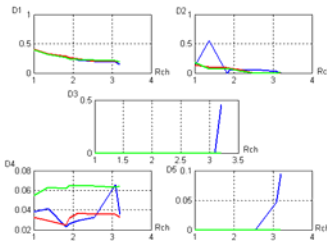


Fig.14 $D_k=f(Rch)$

Analyse des grandeurs électriques mesurées:

On remarque d'après les résultats expérimentaux et de simulation :

- **$U_k=f(Rch)$ Fig.6:** la tension U_1 est fixe $=240V$ correspondant à la tension de la mini-centrale, nous constatons que chaque fois qu'on augmente la charge, la tension dans les différents nœuds augmente progressivement, avec des chutes de tensions relative à l'éloignement du nœud de consommation, cette augmentation est plus claire dans le cas (Résistif Inductif et résistif) que dans le cas Résistif Capacitif. Pour la charge non linéaire capacitive on remarque la présence de résonance série et parallèle se manifestant par des creux et amplifications de tensions.
- **$I_k=f(Rch)$ Fig.7:** Les courants varient d'une manière inversement proportionnelle à la charge ce qui est conforme au régime de fonctionnement linéaire, par contre les courant des nœuds I2 et I4 prennent des allures différentes dues à notre sens à des propagations préférentielles des harmoniques dans les différentes branches du réseau.
- **P_k et $Q_k=f(Rch)$ Fig.8 et Fig.9:** Les puissances actives et réactives montrent clairement le caractère non linéaire et la différence dans la distribution des harmoniques dans le réseau d'alimentation étudié. Notre déduction est la grande dépendance de la puissance réactive avec les harmoniques existants puisqu'ils s'interagissent d'une manière conservatrice (caractère réactif) et faiblement dissipatifs (caractère actif).
- **$\cos \varphi_k=f(Rch)$ Fig.10:** Pendant les essais surtout dans le cas de la forte non linéarité les cosphimètres oscillent entre deux valeurs la valeur représentée et la moyenne des deux. A cet effet ces représentations nous permettent

une analyse quantitative. Nous recommandons dans ce cas de mesure d'utiliser d'autres types d'appareils de mesure peu influencés par la non sinusoïdalité des grandeurs.

Analyse des grandeurs électriques calculées:

- **PF_k et $PFT_k=f(Rch)$ Fig.11 et Fig.12 :** Nous remarquons qu'il y a une nette différence entre les facteurs de puissance calculés avec différentes méthodes et ceux mesurés, comme il a été signalé plus haut ceci est dû à l'incompatibilité des appareils de mesure utilisés (ampèremètre, wattmètre, varmètre et cosphimètre) cette observation a été aussi signalée par le fréquencemètre qui même à la vitesse du synchronisme (réglé grâce au tachymètre), le fréquencemètre indique une survitesse qui devient de plus en plus importante avec l'augmentation de la non linéarité.
- **S_k et $D_k=f(Rch)$ Fig.13 et Fig.14 :** Autre que la puissance apparente, nous avons montré une autre grandeur (la puissance déformante) qui prend une grande part de la puissance apparente puisque cette dernière englobe les trois différentes puissances (P, Q, et D). La non prise en charge de cette grandeur déformante induit une erreur dans le réglage du facteur de puissance (surcompensation ou sous compensation).

CONCLUSION :

Les résultats expérimentaux montrent que les appareils actuellement utilisés sont compatibles aux charges linéaires ou faiblement perturbées car le traitement numérique tiré par l'interface de mesure montrent clairement la dépendance de ces appareils électromécaniques avec les formes d'ondes mesurées, même pour les appareils à haute précision, la solution que nous préconisons serait la mesure numérique avec échantillonnage.

V. REFERENCES

- [1] F. De Chateaueux, "Creux de tension et coupures brèves", Notes EDF, Groupe de travail UIE power quality: Guide sur la qualité de l'électricité pour l'alimentation des installations industrielle, partie 2, HR- 22/96/045.A, 1996.
- [2] 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 d'état 2006.
- [3] Harmonics and power systems. Copyright 2006 by Taylor & Francis Group, LLC.
- [4] Techniques de l'ingénieur « Qualité de la tension Harmonique par Roger OTT D4264-
- [5] Cahier Technique Schneider Electric n° 199 (La qualité de l'énergie électrique).

[6] Thierry Deflandre et Philippe Mauras, « Les harmoniques sur les réseaux électriques ». Direction des Etudes et Recherche en France. Edition EYROLLES, 1998.

[7] What is power quality? M.H.J. Bollen *Electric Power Systems Research 66 (2003) 5_ 14 Sciences Direct.

[8] Power Quality S.M. Halpin Mississippi State University. 2000