

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par

Samir MEZIANI

Ghiles LARBI CHERIF

Thème

Etude expérimentale de la pollution harmonique dans un Réseau Electrique: Cas des lampes fluo-compactes et ordinateurs

Mémoire soutenu publiquement le dimanche 20 septembre 2015 devant le jury composé de :

M A. CHALLAL

MACA, UMMTO, Président

M H. BESSAI

MACA, UMMTO, Rapporteur

M S. RABAHALLAH

MACA, UMMTO, Examineur

M K. HADJ SAID

MACA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nous remercions le Dieu de nous avoir donné la volonté, la force et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions Monsieur BESSAI Hamza qui a suivi de très près ce travail, pour son aide, ses orientations pédagogiques dans l'élaboration de ce projet, et tous les conseils qu'il nous a prodigués pendant toute la durée de ce travail.

Nous remercions vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être rapporteurs de notre projet.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont apporté, de près ou de loin, orientation, soutien et aide dans la réalisation et la concrétisation de ce travail.

Nous souhaitons également remercier tous les enseignants ayant assurés nos années d'études, ainsi que tous nos amis qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Enfin, on ne peut pas oublier de remercier nos familles, en particulier nos parents, pour leur compréhension, leurs sacrifices et leur patience, sans lesquels ce travail n'aurait jamais vu le jour.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I: PERTURBATIONS ELECTRIQUES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES	
INTRODUCTION.....	3
Historique	3
I.1 Qualité de l'énergie électrique.....	4
I.1.1 Qualité de la tension.....	4
I.1.2 Qualité du courant.....	6
I.2 LES PERTURBATIONS ÉLECTRIQUES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES.....	6
I.2.1 les variations de tension	6
I.2.2 Déséquilibre de tension	6
I.2.3 les surtensions	7
I.2.3.1 les surtensions des manœuvres.....	7
I.2.3.2 les surtensions atmosphériques	7
I.2.4 creux de tension et coupures brèves	7
I.2.5 Fluctuation de tension	8
I.2.6 Variation de fréquence	8
I.3. Les harmoniques	8
I.3.1 Définition des harmoniques.....	8
I.3.2 les perturbations harmoniques	8
I.3.3 Caractéristiques des perturbations harmoniques.....	9
I.4 Caractéristique d'un signal	10
I.4.1 Rang d'un harmonique.....	10
I.4.2 Représentation spectrale	10
I.4.3 Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier.....	10
I.5 valeur caractérisant un signal déformé	11
I.5.1 valeur efficace d'une grandeur déformée.....	11
I.5.2 Le facteur de distorsion harmonique THD.....	12
I.5.3 Réglementation	13
I.5.4 Les inter-harmoniques.....	15
I.5.5 Les sources de pollution harmonique	15

I.6 Méthodes et procédés d'atténuation.....	17
I.6.1 Utilisation d'une inductance (self) série	17
I.6.2 Filtres passifs d'harmoniques	17
I.6.3 Filtre amorti	18
I.6.4 Filtrage actif	18
I.6.5 Filtrage hybride	19

CHAPITRE II: MESURE DES HARMONIQUES

Introduction	20
II.1 Principes de mesure	20
II.2 Analyseurs de spectre analogique.....	20
II.3 Analyseurs numériques.....	21
II.3.1 Echantillonnage	21
II.3.2 Quantification	22
II.3.3 Multiplexage	22
II.4 Calcul numérique des harmoniques	23
II.4.1 Particularités de la TFR	24
II.4.2 Evaluation des harmoniques	25
II.5 Appareils de mesure	26
II.5.1 Estimation globale de l'état du réseau de distribution.....	26
II.5.2 Mesure sur site pour diagnostiquer un problème de perturbation	27
II.5.3 Essais en laboratoire des caractéristiques de matériels.....	28
II.6 Présentation de l'analyseur de puissance et de qualité monophasé C.A 8230	28
II.6.1 Caractéristiques techniques	29
II.6.2 Branchement	31
II.6.3 Transfert des données vers le PC	32
Conclusion	32

CHAPITRE III: Partie pratique

Introduction	33
III.1 Présentation du travail	33
III.2 Forme d'onde et spectre de la tension du réseau sans charge	34
III.3 Essai 01	35
III.3.1 Représentations des formes d'ondes du courant et de tension des lampes.....	36
III.3.2 Représentations du spectre du courant et de tension des lampes	38
III.3.3 Les différentes grandeurs données par l'analyseur C.A 8230	40
III.3.4 Interprétation des résultats	41
III.3.5 Conclusion de l'essai	43
III.4 Essai 02	44
III.4.1 Représentations des formes d'ondes du courant et de la tension	44
III.4.2 Représentations du spectre de courant et de la tension des ordinateurs et onduleurs	47
III.4.3 Les différents résultats obtenus sur les ordinateurs	49
III.4.4 Interprétation des résultats	50
III.4.5 Conclusion sur l'essai	52
Conclusion.....	52
CONCLUSION GENERALE	53

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

La fourniture du produit électricité est soumise à une notion de qualité. Le cas idéal correspond à une onde de tension parfaitement sinusoïdale dont le niveau est constant et égal à la valeur contractuelle (par exemple 20 kV en HTA) et dont la fréquence est 50 Hz. Si les écarts de fréquence sont dus aux différences entre production et consommation (charges + pertes), la déformation de l'onde de tension par rapport à la forme idéale dépend principalement des perturbations affectant le réseau de distribution.

Parmi les perturbations affectant la qualité de la tension, citons les creux et coupures de tension, le flicker (variation de l'amplitude de la tension due à des charges telles que les fours à arc) et les harmoniques dus aux courants injectés par les charges non linéaires (ex : lampes basses consommations, ordinateurs).

Pour réduire les effets indésirables de ces perturbations harmoniques on doit faire un diagnostic déterminant l'état du réseau et cela pour avoir une idée des solutions qu'il faut mettre en place.

L'objectif de notre travail est de mesurer les courants, tensions et les TDH pour différentes charges utilisées au laboratoire de réseaux électriques comme les ordinateurs et les lampes basse consommation à l'aide de l'analyseur de puissance et de qualité d'énergie CA8230 nouvellement réceptionné par le laboratoire.

Nous avons organisé notre travail en trois chapitres.

Nous consacrons le premier à des généralités sur la qualité d'énergie et les perturbations harmoniques dans les réseaux électriques et nous y rappelons quelques définitions utiles.

Le deuxième chapitre sera divisé en deux parties .

- Dans la première partie nous allons expliquer le principe de mesure harmonique et on citera l'analyseur de spectre analogique et on détaillera l'analyseur de spectre numérique.
- Dans la deuxième partie on présentera les caractéristiques générales d'un analyseur numérique C.A 8230 qu'on utilisera dans la suite de notre travail.

Dans le troisième chapitre nous allons faire un diagnostic déterminant l'état de réseau dans le laboratoire, et cela par des mesures que nous allons faire à l'aide de l'analyseur de spectre C.A8230 sur les lampes et les ordinateurs.

Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale, regroupant nos principaux résultats.

Chapitre I :
PERTURBATIONS
ELECTRIQUES
DANS LES
RESEAUX
ELECTRIQUES

CHAPITRE I: PERTURBATIONS ELECTRIQUES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES

INTRODUCTION

Les réseaux de distribution modernes doivent faire face aux nouveaux défis et aux nouvelles opportunités d'un système électrique en pleine évolution technologique, du point de vue technique, le principal changement pour le réseau concerne la nature des charges connectées, d'une part les charges passives classiques ont subi une évolution très importante et d'autre part de nouvelles charges actives ont été connectées au réseau.

Plusieurs types de ces nouvelles charges engendrent des perturbations importantes dans le réseau électrique, ces perturbations peuvent être classées en deux catégories, qui sont:

- Des perturbations causées par les courants perturbateurs, tel que les courants harmoniques, les courants déséquilibrés et les courants réactifs.
- Des perturbations causées par les tensions perturbatrices, telle que les tensions harmoniques et les tensions déséquilibrées, les creux de tension et les surtensions.

Dans ce premier chapitre, nous étudierons les caractéristiques générales des perturbations électriques, ainsi que l'étude des caractéristiques des harmoniques et on cite les différentes origines des harmoniques dans le réseau électrique.

Historique [1]

La notion des harmoniques est connue depuis longtemps dans le domaine musical. Lorsqu'une corde d'une certaine longueur est mise en branle, elle émet un son dit fondamental et des harmoniques supérieurs. Ces harmoniques correspondent à des sons associés à des cordes dont les longueurs sont deux fois, trois fois ...plus courtes que la corde initiale. Cette relation entre son musical et longueur était parfaitement maîtrisée dans la fabrication des instruments de musique. Par la suite, l'analogie avec le son musical servira à décrire d'autres grandeurs physiques. L'analyse harmonique sera plus approfondie plus tard par J.Fourier (1768-1830). Il démontrera que toute fonction périodique, de module intégrable et à variation bornée, peut se décomposer en une somme de composantes sinusoïdales, dénommées harmoniques.

Au début du siècle dernier les chercheurs commencèrent à étudier et à analyser les harmoniques dans les réseaux électriques, dans les circuits de redresseurs, la saturation et l'hystérésis dans des transformateurs et les générateurs. Mais avant tout s'était sur les sources de signaux harmoniques.

Les premiers ouvrages de Steinmetz, décrivaient les formes d'ondes résultantes de la saturation et de l'hystérésis dans les transformateurs. Il a montré que bien que les ondes carrées ou triangulaires

avaient des avantages dans certaines applications, néanmoins une onde sinusoïdale à la fréquence fondamentale était en général la plus désirable dans les transformateurs ; de plus il a décrit la suppression des courants et des tensions harmoniques en utilisant des transformateurs à couplage étoile-triangle et l'utilisation des filtres pour réduire la distorsion harmonique.

Clinker, Fortescue et Curtis étaient les premiers à décrire la distorsion harmonique d'une manière qualitative et leurs résultats étaient souvent centrés sur l'utilisation des couplages étoile-triangle des transformateurs.

Vers 1945, Christensen et Al , publiaient une analyse complète sur les courants harmoniques générés par le redresseur à vapeur de mercure en fonction de la réactance du système, de l'angle d'amorçage et de l'angle de commutation.

L'ouvrage de Kimbrak, décrit en détail les systèmes de transport d'énergie en continu.

Gyugyi et Al ont étudié le fonctionnement et les applications des compensateurs statiques d'énergie réactive.

Actuellement, les réseaux de distribution, délivrent l'énergie électrique et la transporte sous une tension donnée. Celle-ci constitue un système d'onde périodique, le plus souvent triphasé. Au même titre que les ondes sonores, les ondes de tensions et de courants peuvent être caractérisées par leurs harmoniques. Par analogie aux ondes sonores, le terme dont la fréquence est égale à celle du réseau (50 ou 60Hz) est appelé fondamental.

I.1 Qualité de l'énergie électrique [2]

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et de la qualité du courant. Nous allons donc définir ces deux notions dans la suite de ce paragraphe.

I.1.1 Qualité de la 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 : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

I.1.1.1 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 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.

I.1.1.2 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. 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 $-6\% - 4\%$ durant 100% du temps. Il faut également remarquer que les variations de fréquence peuvent être bien plus importantes pour les réseaux autonomes.

I.1.1.3 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 fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, alors dénommés bruits.

I.1.1.4 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.

I.1.2 Qualité du courant

La qualité du courant est relative à une dérive des courants de leur forme idéale, et 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 constante, déphasés de $\frac{2\pi}{3}$ 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 ». C'est l'hypothèse que nous ferons dans la suite de ce document, où le terme de « qualité de l'énergie » s'applique uniquement à celle de la tension.

I.2 Les perturbations électriques dans les réseaux électriques

I.2.1 Les variations de tension [1] [3]

La variation de la tension autour de la valeur nominale est fonction de la structure et de la charge du réseau (longueur des conducteurs et variation de la charge) et des systèmes régulateurs du réseau public (ou privé).

En Europe, la norme indique qu'en exploitation normale, pour chaque période d'une semaine, 95% des valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes doivent se situer dans une plage de tension $U_n \pm 10\%$.

Dans les pays en voie de développement, il est possible d'observer fréquemment des variations plus fortes que $\pm 20\%$.

I.2.2 Déséquilibre de tension [1] [3]

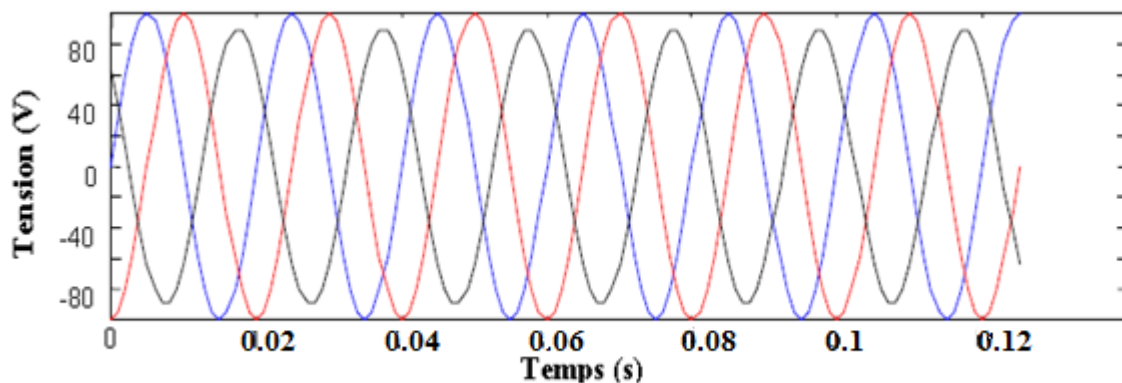


Figure I.1 : déséquilibre de tension

L'inégalité en amplitude des tensions des trois phases est due à l'inégalité des puissances appelées sur chaque phase. Ce déséquilibre résulte essentiellement de la présence de fortes charges monophasées raccordées de manière non uniforme au réseau.

I.2.3 Les surtensions [1] [3]

On qualifie de surtension toute tension fonction de temps qui dépasse la tension de crête de régime permanent.

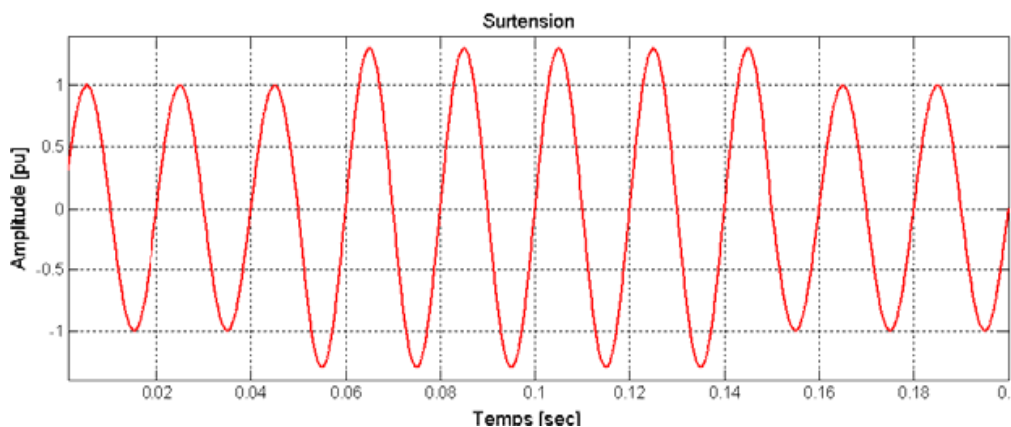


Figure I.2 Exemple de surtension

I.2.3.1 Les surtensions de manœuvre

Ce sont généralement des surtensions dues aux manœuvres effectuées sur le réseau MT comme le déclenchement d'un transformateur, enclenchement d'une batterie de condensateur, perte d'une charge, apparition et disparition d'un défaut.

I.2.3.2 Les surtensions atmosphériques

Elles sont dues aux coups de foudres directs (qui tombent sur une ligne ou une Structure) et indirects (qui tombent sur la terre et augmentent son potentiel).

I.2.4 Creux de tension et coupures brèves [4] [2]

Par définition, un creux de tension est une chute de tension de 10% à 90% de la valeur nominale pour une durée de 10ms jusqu'à 1min. Une coupure brève représente une chute de tension supérieure à 90% de la valeur nominale et d'une durée de 10ms à 1min.

Les creux de tension ont pour principale origine les courts-circuits affectant le réseau électrique ou les installations raccordées, et le démarrage des moteurs de forte puissance. Toutefois, les courts-circuits restent la principale cause de creux de tension et de coupures brèves. Ils engendrent des variations brusques de l'amplitude de la tension et pour cette raison, les creux de tension correspondants se caractérisent par une forme rectangulaire en fonction de temps. Les courts-circuits peuvent affecter une, deux ou trois des phases et peuvent engendrer des déphasages supplémentaires entre elles.

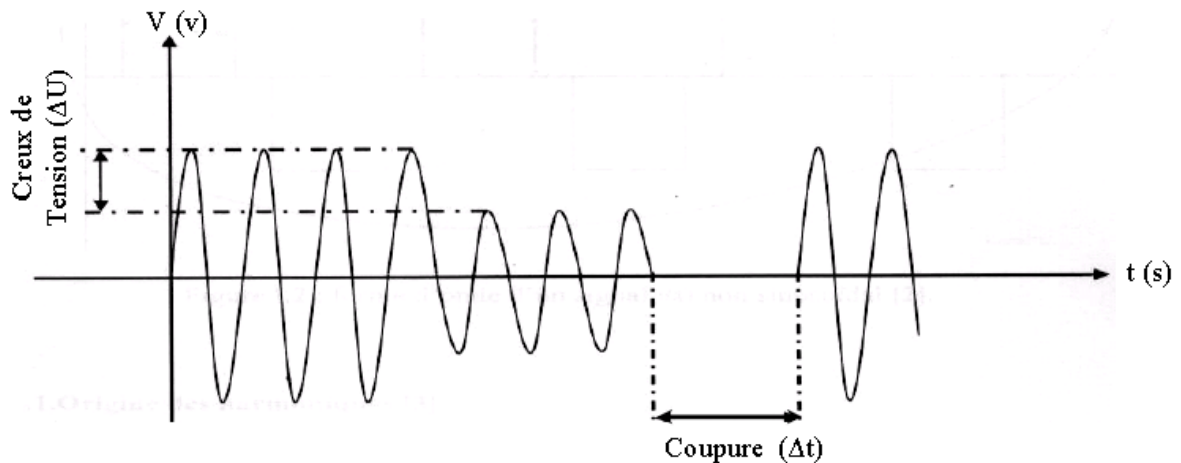


Figure I.2.4 Crèux de tension et coupures brèves

I.2.5 Fluctuation de tension

C'est une variation rapide de tension comprise dans la plage normale de tension en fonctionnement normal du réseau.

Les fluctuations de tension sont principalement dues à des charges industrielles rapidement variables comme les machines à souder, les fours à arc...etc.

I.2.6 Variation de fréquence

La variation de la fréquence du réseau qui est normalement fixée, est observable sur les perturbations des vitesses des moteurs ainsi que la précision des appareils de mesure.

I.3 Les harmoniques

I.3.1 Définition des harmoniques [1]

Les harmoniques sont des tensions ou des courants sinusoïdaux dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence fondamentale du réseau.

La pollution harmonique est un des problèmes majeurs qui dégrade la qualité d'énergie électrique dans les réseaux. La circulation des courants harmoniques dans les lignes et entre les charges est difficile à prédire et à contrôler.

I.3.2 Les perturbations harmoniques

Les signaux (tension et courant) relevés sur le réseau sont des signaux déformés et loin d'être des sinusoïdes parfaites.

Un signal déformé est la superposition d'un signal fondamental (à 50 Hz) et des signaux harmoniques de fréquences qui sont des multiples entiers de la fréquence du fondamental (100, 150, 200, 250, ...etc.). En pratique on s'intéresse qu'aux harmoniques significatifs (jusqu'au rang 40).

I.3.3 Caractéristique des perturbations harmonique

Les charges peuvent être classées en deux familles principales :

- Les charges linéaires
- Les charges non linéaires

➤ **Charge linéaire**

Si l'on alimente une charge linéaire par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés. Les charges linéaires couramment utilisées sont constituées de résistances, de capacités et d'inductances.

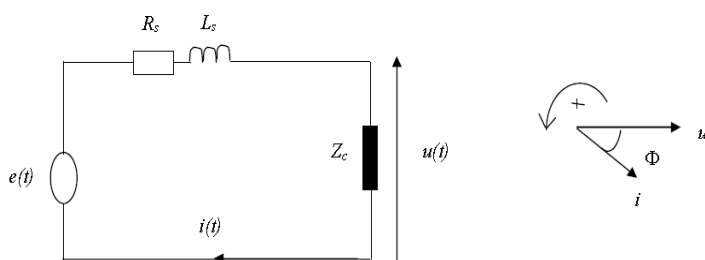


Figure I.3.1.1: Schéma de connexion du réseau avec une charge linéaire

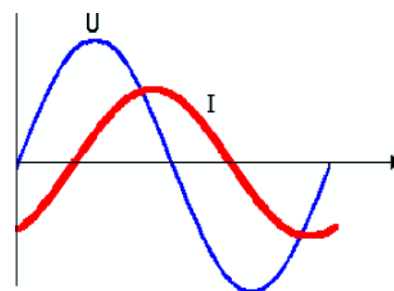


Figure I.3.1.2 : charge linéaire

R_s : résistance de la source ;

L_s : inductance de la source ;

Z_c : impédance de la charge.

➤ **Charge non linéaire**

Une charge est dite non-linéaire lorsque la relation entre la tension et le courant n'est plus linéaire. Un tel récepteur alimenté par une tension sinusoïdale, consomme un courant non sinusoïdal (Ce courant peut être décomposé en une composante fondamentale et des harmoniques).

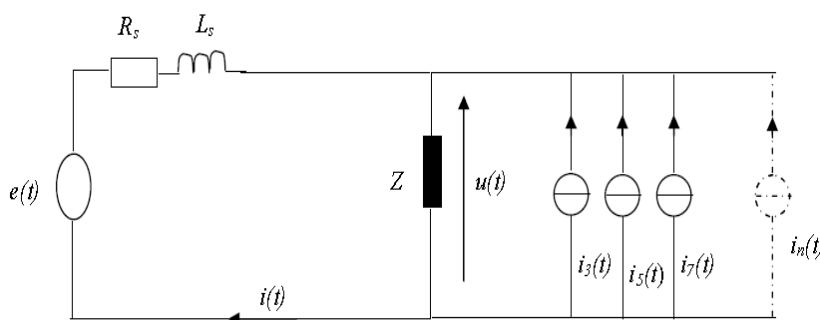


Figure I.3.1.3: Schéma global du réseau et d'une charge non linéaire

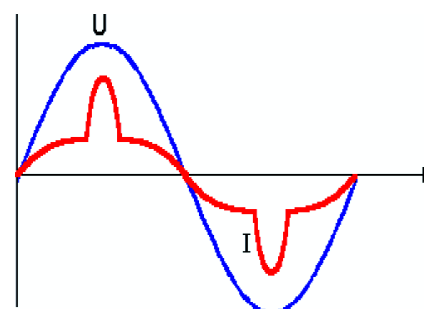


Figure I.3.1.4 : charge non-linéaire

I.4 Caractéristique d'un signal

I.4.1 Rang d'un harmonique [6] [4]

Le rang harmonique est le rapport de sa fréquence f_n à celle du fondamental, généralement la fréquence industrielle 50Hz ou 60Hz. Par principe, le fondamental f_1 au rang 1.

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (\text{I.1})$$

I.4.2 Représentation spectrale

C'est un histogramme donnant l'amplitude de chaque harmonique en fonction du rang. L'amplitude est donnée en valeur relative par rapport au fondamental en un point spécifié. La figure ci-dessous montre un exemple de spectre.

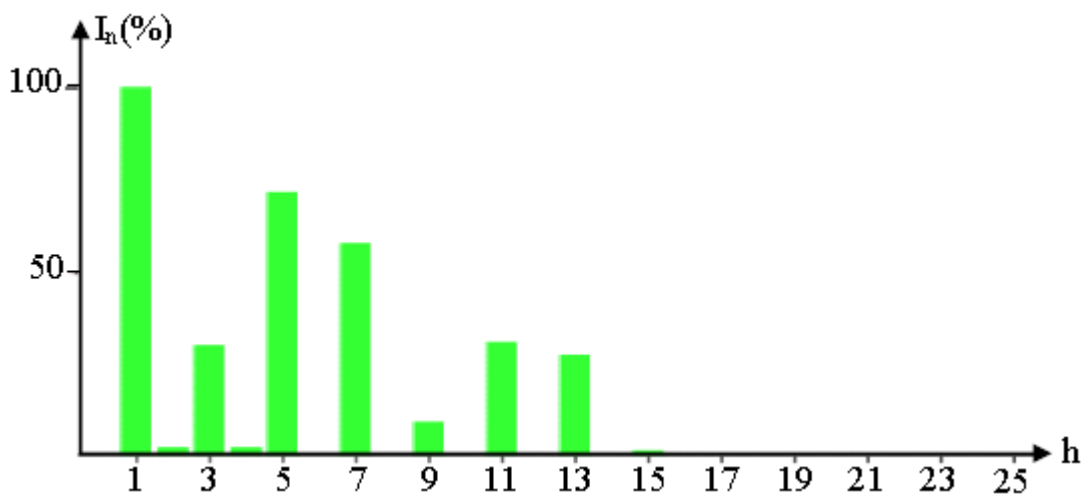


Figure I.3.2 : spectre harmonique d'un signal.

I.4.3 Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier [6] [4] [1]

Sur le plan mathématique, on peut décomposer tout signal périodique en une série sinusoïdes dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale du signal. Cette série se nomme série de Fourier, d'après le mathématicien français Joseph Fourier du début du XIX^{ème} siècle.

Si $G(t)$ est un signal à décomposer en série de Fourier, la série s'écrit comme suite :

$$G(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega t) \quad (\text{I.2})$$

Avec :

A_0 : composante continue ou valeur moyenne du signal, généralement nulle en distribution électrique en régime permanent.

A_n et B_n : Amplitudes crêtes des composantes harmoniques de rang n .

ω : Pulsation fondamentale.

En électrotechnique, on utilise habituellement les valeurs efficaces plutôt que les valeurs crêtes.

Par conséquent, l'équation précédente devient :

$$G(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\sqrt{2}} \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{B_n}{\sqrt{2}} \sin(n\omega t) \quad (\text{I.3})$$

On obtient les coefficients A_n et B_n par résolution analytique ou numérique des intégrales suivantes :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T G(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T\sqrt{2}} \int_0^T G(t) \cos(n\omega t) dt \quad (\text{I.4})$$

$$B_n = \frac{2}{T\sqrt{2}} \int_0^T G(t) \sin(n\omega t) dt$$

Où T correspond à la période du signal qui est égale à $\frac{2\pi}{\omega}$ ou à $\frac{1}{f}$.

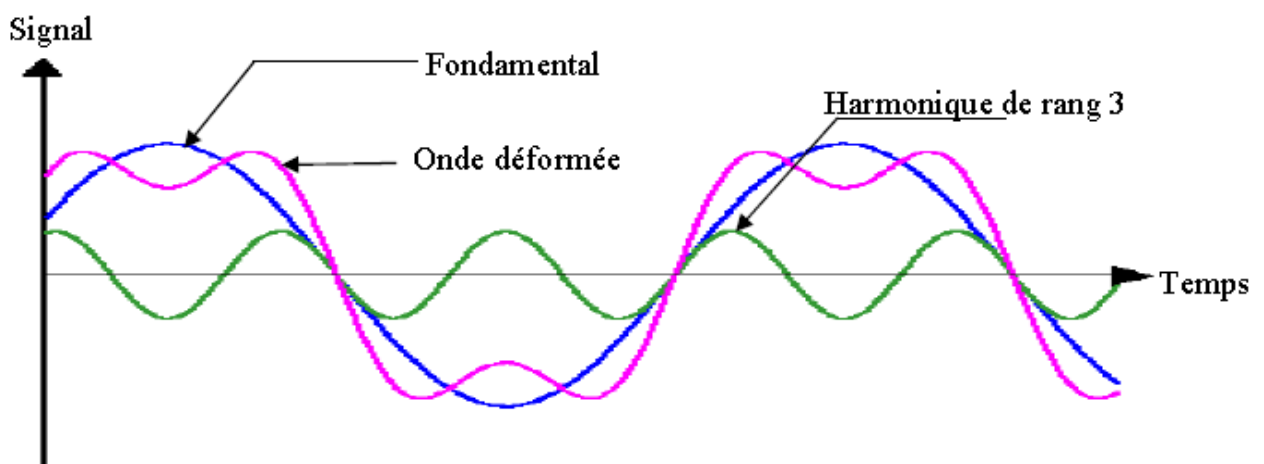


Figure : I.3.3 onde déformée et sa décomposition

I.5 valeur caractérisant un signal déformé

I.5.1 valeur efficace d'une grandeur déformée [7] [1]

Un procédé couramment utilisé pour décrire un signal $G(t)$ de période T est l'évaluation de sa valeur efficace :

$$G_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T G(t)^2 dt} \quad (\text{I.5})$$

Lorsque le développement en série de Fourier d'une fonction périodique est continu, on peut déterminer sa valeur efficace comme suit :

$$G_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} (G_h)^2} \quad (\text{I.6})$$

G_h : Valeur efficace de la tension harmonique du rang h .

Remarque

Lorsqu'un signal comporte des composantes harmoniques, sa valeur efficace est différente de la valeur efficace du signal fondamental. Il est donc possible d'évaluer grossièrement la déformation du signal en comparant la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace.

I.5.2 Le taux de distorsion harmonique TDH [1]

Le facteur de distorsion harmonique noté **TDH** est établi pour donner une idée sur l'amplitude de la perturbation harmonique ; il est donné par l'expression suivante :

$$\text{TDH} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{V_h}{V_1} \right)^2} \quad (\text{I.7})$$

V_1 : Valeur efficace de la tension fondamentale.

V_h : Valeur efficace de la tension harmonique du rang h .

Ou encore par :

$$\text{TDH} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (\text{I.8})$$

I_1 : Valeur efficace du courant fondamental.

I_h : Valeur efficace du courant harmonique du rang h .

➤ **Le facteur de distorsion : [7] [1]**

Le facteur de distorsion noté F_{dis} donné par l'équation, nous renseigne sur la puissance déformante engendrée par les harmoniques, voir l'équation.

$$F_{\text{dis}} = \frac{I_{C1}}{I_C} \quad (\text{I.9})$$

I_{C1} : La valeur efficace du courant fondamental de charge.

I_C : La valeur efficace du courant de charge.

$$D = S \cdot [1 - (F_{\text{dis}})^2] \quad (\text{I.10})$$

D : Puissance déformante.

S : Puissance apparente.

Le facteur de distorsion F_{dis} vaut 1 lorsque le courant est parfaitement sinusoïdal et il décroît lorsque la déformation de l'onde s'accroît.

➤ **Le facteur de puissance : [1]**

La présence des harmoniques dans le réseau électrique inclue la notion de puissance déformante D , d'où la puissance apparente S sera exprimée sous la formule suivante :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (\text{I.11})$$

P : Puissance active.

Q : Puissance réactive.

Le facteur de puissance F_p est exprimé à l'aide de l'expression suivante :

$$F_p = \frac{P}{S} \quad (\text{I.12})$$

Le facteur de puissance sera toujours inférieur à 1.

I.5.3 Réglementation : [9] [10] [11]

Afin de limiter les perturbations et les dysfonctionnements causés par la présence des harmoniques dans le réseau électrique, la Commission Electrotechnique Internationale (**CEI**) a défini les niveaux des tensions et des courants harmoniques à ne pas dépasser par une série de norme de compatibilité électromagnétique CEI 61000.

On cite à titre d'exemple les deux normes suivantes :

➤ **La norme CEI 61000-2-2 :**

Elle définit les niveaux de compatibilité de tensions harmoniques sur les réseaux publics basse tension. Elle est représentée sur le tableau I.2 Cette norme vise à protéger les équipements raccordés sur un réseau basse tension déformé.

Rangs impairs		Rangs impairs		Rangs pairs	
Rang	Taux (%)	Rang	Taux (%)	Rang	Taux (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	$0.2+1.3 \times 25/h$				

Tableau I.1 : Niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques individuelles sur les réseaux publics basse tension (norme CEI 61000-2-2).

➤ **La norme CEI 61000-3-2 :**

Cette norme représentée sur le tableau I.2 fixe la limitation des courants injectés dans le réseau public pour des équipements dont le courant par phase est inférieur à 16 A. Il s'agit des appareils du domaine domestique.

Harmoniques paires		Harmoniques impaires	
Rang harmonique	Courant harmonique maximal autorisé (A)	Rang harmonique	Courant harmonique maximal autorisé (A)
2	1.08	3	2.3
4	0.43	5	1.14
6	0.3	7	0.77
$8 \leq h \leq 40$	$0.23 \times 8/h$	9	0.40
		11	0.33
		13	0.21
		$15 \leq h \leq 39$	$0.15 \times 15/h$

Tableau I.2: Limite des composantes harmoniques en courant (norme CEI 61000-3-2).

Les normes citées sont obligatoires mais restent incomplètes et ne permettent pas de garantir totalement la compatibilité électromagnétique sur les réseaux publics.

C'est la raison pour laquelle EDF (en France) émet quelques recommandations concernant le raccordement des utilisateurs sur le réseau. Les limitations en tension harmonique que doivent respecter les clients d'EDF sont :

- Pour chaque rang pair, la tension harmonique est limitée à 0.6%.
- Pour chaque rang impair, la tension harmonique est limitée à 1%.
- Limitation du TDH à 1.6%.

I.5.4 Les inter-harmoniques

Les inters harmoniques sont des signaux de fréquence non multiples entiers de la fréquence fondamentale (130Hz, 170Hz, 220Hz.....) c'est-à-dire situées entre les harmoniques.

Certains sont émis par les charges non linéaires d'autres sont injectés intentionnellement par les distributeurs sur leurs réseaux pour télécommander des relais et ainsi piloter les changements de tarification des compteurs domestiques et professionnels.

I.5.5 Les sources de pollution harmonique

I.5.5 .1 Les charges domestiques

Les charges domestiques ont des puissances unitaires bien inférieures à celles des charges industrielles. Mais comme elles sont nombreuses et peuvent fonctionner en même temps (le pic observé lors du journal de 20h en est un parfait exemple) pendant une longue durée, elles peuvent fortement perturber les formes d'ondes du courant et de la tension. Les appareils qui contribuent le plus à la distorsion des grandeurs électriques sont les récepteurs de télévision, les ordinateurs, les appareils commandés par des triacs (gradateur de lumière, équipements électroménagers) et les lampes fluorescentes.

Les appareils électroniques grand public et les lampes à ballast sont en général alimentés par des ponts redresseurs à diode avec une forte capacité pour filtrer la tension redressée. Tous les appareils équipés par ces convertisseurs absorbent des courants sous forme d'impulsions de courant, la Figure1-5 montre la tension et le courant absorbés par une lampe basse consommation.

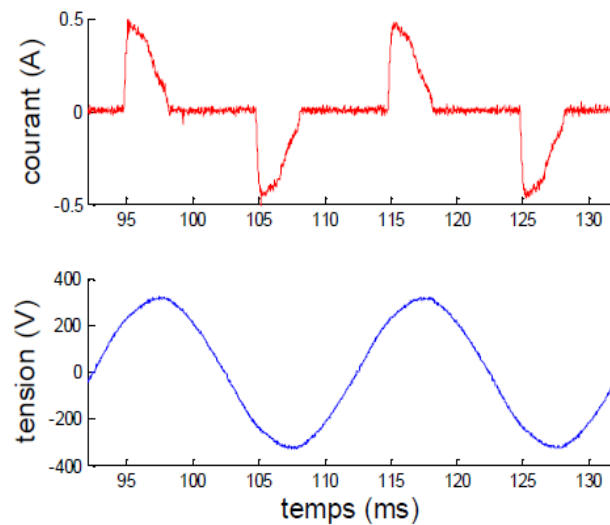


Figure 1-5 : La tension et le courant absorbés par une lampe basse consommation 15W-230V.

I.5.5 .2 Les charges industrielles

Dans ces charges industrielles, on va retrouver tous les convertisseurs de puissance (Redresseur, onduleur), les fours à arc, les fours à induction et d'autres matériels. Les appareils équipés de convertisseurs statiques représentent une part importante de la pollution harmonique générée par les charges industrielles, et ceci est d'autant plus vrai que leur nombre et la puissance installée ne font qu'augmenter (variateur de machine asynchrone, redresseur sur charge RL pour alimenter une machine à courant continu...). La Figure 1-6 montre la tension et le courant absorbés par un variateur pour moteur asynchrone, avec notamment un courant riche en harmoniques.

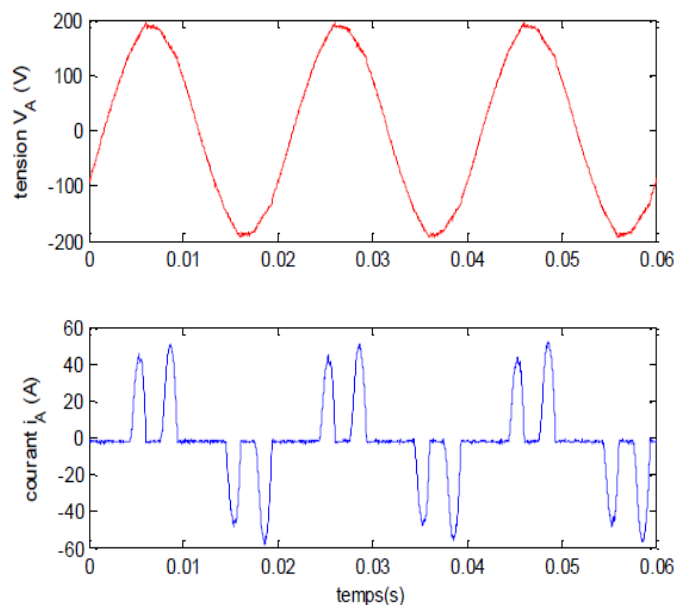


Figure 1-6 : La tension et le courant absorbés par un variateur 1270V-6kVA pour moteur asynchrone (mesures).

I.6 Méthodes et procédés d'atténuation harmonique

Pour l'amélioration des installations industrielles et le réseau vis-à-vis de la pollution harmonique, il existe plusieurs solutions :

I.6.1 Utilisation d'une inductance (self) série

Cette solution, utilisée pour les entraînements à vitesse réglable (variateurs de vitesse) et les redresseurs triphasés, consiste à introduire une inductance série en amont d'une charge non linéaire. La self a cependant une efficacité limitée. Il faut en installer une par charge non linéaire. La distorsion en courant est divisée approximativement par deux.

I.6.2 Filtres passifs d'harmoniques

Le principe est de « piéger » les courants harmoniques dans des circuits LC, accordés sur les rangs d'harmoniques à filtrer, donc il se comporte comme un court-circuit pour l'harmonique considéré. Un filtre comprend donc une série de « gradins » qui correspondent tous à un rang d'harmonique. Les rangs 5 et 7 sont les plus couramment filtrés. On peut installer un filtre pour une charge ou pour un ensemble de charges.

Sa conception nécessite une étude approfondie du réseau électrique et un travail de conception de bureau d'étude. Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source d'énergie [12].

Cette solution est la plus simple et la moins chère mais sans doute, elle n'est pas la plus efficace.

Filtre résonant

Il est constitué par la mise en série d'une inductance, d'une résistance, et d'un condensateur la figure (I.7.a).

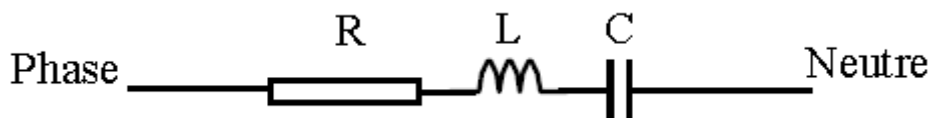


Figure I.7.a : Structure du filtre résonant

Ce type de filtre est caractérisé par l'emplacement de trois filtres, deux pour les harmoniques d'ordre inférieurs et un filtre pour les harmoniques d'ordre supérieurs, c'est-à-dire pour un pont triphasé nous avons besoin d'un filtre passe bas pour le cinquième et l'autre pour le septième harmonique et d'un filtre passe haut pour tous les harmoniques au-delà de 11ème [12].

I.6.3 Filtre amorti

La figure (I.7.b) montre le montage de ce type de filtre, En plus de difficulté de dimensionnement des filtres et à coût globale donné, ce type n'est efficace que si le rang d'harmonique à éliminer est suffisamment élevé (à partir de $h=13$) [10].

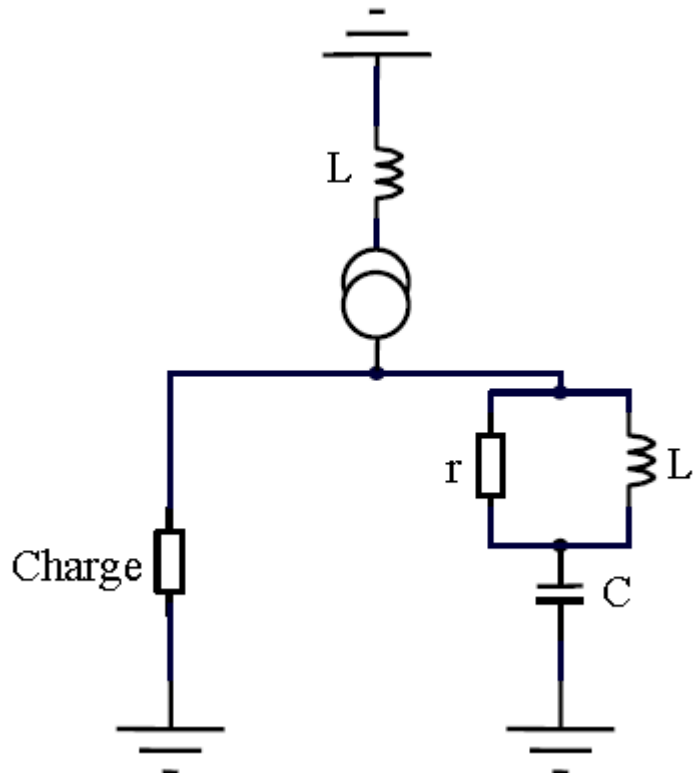


Figure I.7.b Schéma équivalent monophasé d'un filtre amorti.

I.6.4 Filtrage actif

Deux raisons principales ont conduit à concevoir une nouvelle structure de filtrage moderne et efficace appelée filtre actif. La première raison est due aux inconvénients inhérents des solutions traditionnelles de dépollution qui ne répondent plus à l'évolution des charges et des réseaux électriques. En effet, les méthodes dites "classiques" de filtrage ou de dépollution des réseaux électriques présentent un certain nombre d'inconvénients. Le plus important d'entre eux est sans doute le fait d'être sensible aux évolutions de l'environnement. Ils voient leur efficacité baisser avec les variations des perturbations (variation des fréquences et des amplitudes des harmoniques).

La seconde raison fait suite à l'apparition de nouveau composant à commutation forcée. Le but de ces filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à compenser les perturbations responsables de la dégradation des performances des

équipements et installations électriques. Ainsi le filtrage actif tend à annuler les courants harmoniques en injectant dans la source perturbatrice des courants harmoniques d'amplitudes identiques, mais en opposition de phase à l'aide d'un pont onduleur. A cet effet, une mesure du courant de la charge non linéaire permet de connaître le courant à fournir.

I.6.5 Filtrage hybride

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent le prix des filtres actifs, l'association de filtres actifs de faible puissance à des filtres passifs peut être une solution. Dans ce cas, les filtres passifs ont pour rôle d'éliminer les harmoniques prépondérants permettant de réduire le dimensionnement des filtres actifs qui ne compensent que le reste des perturbations.

Chapitre II :
Mesure des
harmoniques

CHAPITRE II MESURE DES HARMONIQUES

Introduction

L'analyse et le diagnostic d'une installation électrique passent avant tout par la mesure, qui constitue la clef de voûte de la réussite de l'optimisation recherchée de la qualité du réseau.

Les résultats numériques identifiés des creux de tension, flicker, variations de fréquence ou surtensions ainsi que ceux des harmoniques sont les indicateurs nécessaires pour analyser une installation électrique en termes de qualité du réseau.

Les appareils de mesure actuels, portables ou fixes, autorisent une collecte et une analyse simplifiées pour permettre aux exploitants de sites, industriels ou tertiaires, de diagnostiquer les dysfonctionnements électriques constatés sur leurs installations.

Nous vous présentons, dans ce chapitre, les différents types de mesure des harmoniques ainsi que les caractéristiques de l'appareil de mesure qu'on va utiliser dans la suite de notre mémoire à savoir l'analyseur de puissance et de qualité monophasé C.A 8230.

II.1 Principes de mesure

Une première analyse de la déformation d'une onde de tension ou du courant peut se faire simplement en visualisant la forme de l'onde sur un oscilloscope. Cette méthode met en évidence les anomalies de la forme de l'onde par rapport à l'onde fondamentale, mais ne permet pas une quantification précise des composantes harmoniques. C'est pourquoi on a recours à des moyens plus sophistiqués.

II.2 Analyseurs de spectre analogiques [12]

Une simple analyse fréquence par fréquence peut être effectuée avec un voltmètre sélectif, constitué de filtre passe-bande associé à un voltmètre à valeur efficace. La sélection des fréquences harmoniques s'effectue principalement de deux façons:

- à l'aide de filtres discrets contigus dont l'ensemble couvre la gamme de fréquence considérée (généralement de 100 Hz à 2000 Hz).

- à partir d'un filtre unique à accord réglable, dont la fréquence centrale est déplacée le long de la gamme. Cette technique est limitée par la durée de balayage, non négligeable lorsque la résolution nécessaire est élevée. Ces deux méthodes sont aujourd'hui abandonnées au profit des systèmes numériques.

II.3 Analyseurs numériques

Les analyseurs numériques ont des performances très supérieures aux appareils analogiques précédents. Ils sont équipés de microprocesseurs qui assurent le calcul des harmoniques et réalisent diverses fonctions complémentaires (correction, détections statiques, gestion des mesures, visualisation, communication ...).

Ils sont généralement multi-canaux et peuvent fournir à des cadences élevées (quasiment en temps réel) les décompositions spectrales simultanées de tensions et de courants en amplitude et en phase.

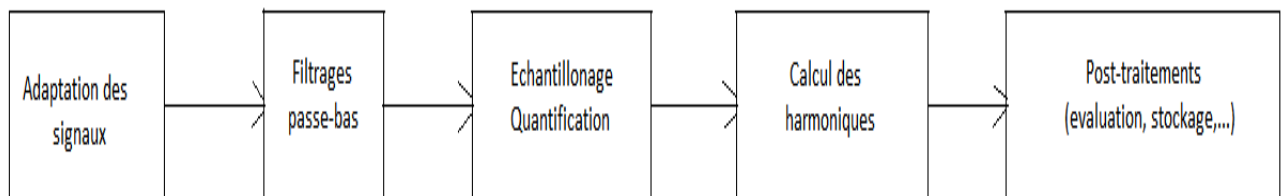


Figure II-1: Principe d'un appareil de mesure numérique.

II.3.1 Echantillonnage [12]

L'échantillonnage est l'opération qui consiste à prélever les valeurs du signal, à certains instants bien précis, généralement équidistants. L'écart entre les instants d'échantillonnage T_e détermine la fréquence d'échantillonnage $F_e=1/T_e$.

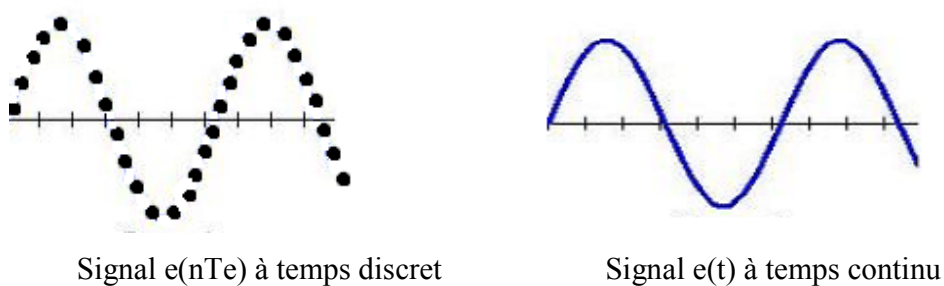


Figure II-2 : Fréquence d'échantillonnage.

II.3.2 Quantification

La quantification est l'opération qui consiste à coder la valeur de chaque échantillon en un nombre entier dont la valeur maximal est définie par le nombre de bits du convertisseur (résolution).

Par exemple, un signal quantifié sur 12 bits sera représenté, par une série de valeurs numérique entières comprises entre 1 et $4096(=2^{12})$. Généralement les convertisseurs analogiques-numériques (CAN) des appareils simples varient entre 8 et 16 bits pour les instruments les plus précis.

Le pas de quantification correspond au rapport de l'amplitude maximale du signal (A_{\max}) par le nombre de valeurs possible (égal à $2^{\text{nombre de bits}}$). Il constitue un majorant de la précision de l'appareil.

Toute amplitude du signal supérieure à A_{\max} est écrêtée ; il y a alors dégradation de l'information par dépassement de capacité.

II.3.3 Multiplexage

Pour échantillonner plusieurs signaux de mesure on utilise l'échantillonnage séquentiel (multiplexé) ou l'échantillonnage-blocage.

L'échantillonnage multiplexé prélève séquentiellement une valeur sur les signaux disponibles sur chacune des voies. Les différents signaux ne sont donc pas échantillonnés aux mêmes instants mais avec un décalage temporel égal à T_e/n , ou T_e représente la période d'échantillonnage et n représente le nombre de voies de mesure échantillonnées.

Cette erreur, susceptible d'affecter les calculs dans lesquels intervient la phase des signaux (puissance, phase des harmoniques), est constante et connue. Elle peut donc être corrigée au niveau du logiciel de calcul moyennant une estimation sur la variation du signal.

L'échantillonnage-blocage, repose sur l'acquisition simultanée d'une valeur du signal sur chaque voie (charge de capacités commutées). Par la suite, ces valeurs bloquées sont échantillonnées séquentiellement. La numérisation des signaux étant dans ce cas synchrone, elle n'introduit aucun déphasage.

II.4 Calcul numérique des harmoniques

La transformée de Fourier est un outil mathématique permettant de décomposer un signal théoriquement non délimité dans le temps, en une somme de signaux sinusoïdaux.

- Lorsque le signal analysé est périodique, il peut être décomposé en un signal sinusoïdal de fréquence fondamentale et une somme de signaux harmoniques de fréquences multiples de la fréquence fondamentale.
- Lorsque le signal n'est pas périodique, il faut ajouter à la série de Fourier des signaux sinusoïdaux non multiple de la fréquence fondamentale. Ces signaux contiennent les inter-harmoniques (fréquence fixe) et éventuellement des signaux aléatoires.

L'algorithme de la transformée de Fourier rapide, plus connue par son abréviation TFR (FFT chez les anglo-saxons), permet de calculer sur un ordinateur ou un appareil de mesure numérique, une approximation de la transformée mathématique (valeur de V_h et de φ_h pour chaque fréquence harmonique ou inter harmonique).

En effet, à l'opposé de la transformée mathématique, la TFR ne porte pas sur l'ensemble de signal, mais sur un nombre déterminé d'échantillons, relevés dans une "fenêtre" temporelle bien déterminée. Aussi, la TFR ne donne pas le spectre du signal réel, mais celui d'un signal formé par la répétition à l'infini de la tranche contenue dans la fenêtre temporelle d'observation.

La figure **II-3** montre, dans un cas défavorable, l'écart entre le signal réel, et le signal vu par la TFR.

Il est possible de minimiser ce type d'erreur en utilisant des fenêtres d'observation adaptées:

- La fenêtre d'observation doit comporter un nombre entier de périodes du signal.

En pratique, cela revient à asservir la fréquence d'échantillonnage à la fréquence fondamentale du signal. Des composants spécialisés tel que les PLL (boucles à verrouillage de phase) multiplient la fréquence du signal à mesurer pour produire un signal d'échantillonnage rigoureusement synchronisé sur celui-ci.



Figure II-3 Transformée de Fourier Rapide.

II.4.1 Particularités de la TFR

- Le nombre d'échantillons à partir desquels la TFR calcule le spectre, doit être une puissance de deux (128, 256, 512,...). Dans le cas contraire, tout échantillon supplémentaire n'est pas pris en compte, et la fenêtre d'observation est tronquée en conséquence.

- Le pas spectral, c'est-à-dire l'écart minimal entre 2 raies successives du spectre, est déterminé par le nombre d'échantillons traités par la TFR, donc par la durée de la fenêtre d'observation. En effet, la TFR restitue un spectre échantillonné, elle ne décrit donc pas l'ensemble des fréquences contenues dans le signal échantillonné, mais seulement un nombre discret de fréquences dont les propriétés sont les suivantes:

- La TFR d'une fenêtre d'observation contenant 2^n échantillons donne un spectre contenant 2^{n-1} raies espacées d'un pas spectral égal à $f_e/2^n$ (pas spectral).
- Le pas spectral est égal à l'inverse de la durée de la fenêtre d'observation T_0 .

Il doit être un sous-multiple de 50 Hz pour mesurer des harmoniques, mais devra être beaucoup plus fin si l'on souhaite détecter des fréquences inter-harmoniques a priori non connues.

Prenons, par exemple, un signal de fréquence fondamentale 50 Hz échantillonné à 6400 Hz. Une TFR sur 128 points (2^7) s'applique dans ce cas à une fenêtre d'observation de $128/6400=20\text{ms}$. Le pas spectral est égal à $1/20\text{ms}=50\text{ Hz}$.

La fréquence maximale du spectre est $2^6 \times 50\text{ Hz} = 3200\text{ Hz}$, soit l'harmonique de rang 64.

II.4.2 Evaluation des harmoniques

Lors d'une évaluation des harmoniques, la Transformée de Fourier Rapide calcule les amplitudes et les phases des harmoniques pour un grand nombre de fenêtres temporelles d'observation. Un utilisateur voudra en général traiter ces valeurs pour les comparer à des limites, des valeurs d'acceptation ou de référence.

En effet, les limites ont été établies en fonction des effets que produisent les harmoniques à des échelles de temps généralement très supérieures à la durée des fenêtres d'observation.

Le traitement des valeurs successives calculées par la TFR (lissage, classification, statistiques) peut être effectué par l'appareil de mesure ou réalisé par un logiciel externe.

Pour la mesure des harmoniques quasi stationnaires, la norme CEI 61000-4-7 préconise les traitements minimaux suivants :

- calcul des TFR sur des fenêtres d'observations disjointes de durée comprise entre 100 et 500 ms.
- Après un temps d'observations de 3 s (durée cumulée des fenêtres) :
 - extraction de l'amplitude maximale pour chacun des rangs harmoniques (mise en évidence de l'effet instantané des harmoniques).
 - calcul de la moyenne quadratique des amplitudes

$$A_{moy3s} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{A_i^2}{m}} \quad (\text{II.1}) \quad (m: \text{nombre de fenêtre d'observation})$$

- calcul de TDH.
- Classification des moyennes quadratiques des amplitudes et calcul de probabilités cumulées sur 10 min et 1 heure (amplitude non dépassée pendant plus de 95% de temps). Ces calculs, sur de longues durées, permettant d'évaluer l'effet thermique des harmoniques.

Les traitements recommandés pour la mesure des harmoniques fluctuants ou les inters harmoniques sont les même, mais ils portent sur des fenêtres d'observation différentes:

- Pour mesurer les harmoniques fluctuants on utilise, soit des fenêtres d'observation contiguës de durée 320 ms, soit des fenêtres d'observation de 400 à 500 ms se recouvrant moitié par moitié, et associées à une pondération de Hanning (valeur fixées par la norme).

- Pour détecter des fréquences inter harmoniques inconnues ou mesurer simultanément des harmoniques et des inters harmoniques, la durée des fenêtres d'observation doit être plus longue pour avoir une résolution fréquentielle suffisante (1 seconde correspond à un pas fréquentiel de 1 Hz).
- La mesure des inter-harmoniques à des fréquences fixes connue peut être effectuée avec l'instrumentation spécifiée pour les harmoniques. Il convient cependant de synchroniser la fréquence d'échantillonnage avec la fréquence inter-harmonique surveillée.

II.5 Appareils de mesure

Les constructeurs proposent de nombreux appareils numériques capables de mesurer les harmoniques jusqu'au rang 50.

Il y a trois usages principaux pour les analyseurs harmoniques:

- estimation globale de l'état d'un réseau de distribution.
- mesure sur le site pour diagnostiquer un problème de perturbation ou pour évaluer l'émission harmonique d'une installation.
- essais en laboratoire des caractéristiques de matériels à des fins de certification par exemple.

Leurs caractéristiques spécifiques sont décrites ci-après.

II.5.1 Estimation globale de l'état du réseau de distribution

Les courants et tensions harmoniques des réseaux publics de distribution varient généralement lentement. Les mesures sont peu sensibles aux paramètres d'acquisitions (taille et espacement entre les fenêtres d'observations).

On a besoin de collecter des valeurs intégrées au plus sur 10 min et des indicateurs statiques calculés à partir de ces valeurs, les niveaux non dépassés pendant plus de 95 et 99% de temps pour des périodes d'observation allant de 1 heure à plusieurs semaines (pour la comparaison avec les niveaux de compatibilité).

Les grandeurs à restituer sont:

- Amplitudes des tensions et courants harmoniques.

- Taux distorsion harmonique pour chaque rang des courants et des tensions.
- Taux de distorsion harmonique du courant et de la tension.
- Puissance harmonique, ou déphasage entre tension et courant harmoniques de même rang, nécessaires pour évaluer le transit des harmoniques et localiser, dans certains cas, les sources perturbatrices.

II.5.2 Mesure sur site pour diagnostiquer un problème de perturbation

Ces appareils sont destinés à mesurer des tensions et des courants harmoniques sur des réseaux industriels ou des réseaux de distribution perturbés. L'analyseur peut être placé à proximité de la source perturbatrice et doit mesurer des grandeurs fluctuantes, en particulier les courants harmoniques. Les performances de cette catégorie d'appareils peuvent varier selon la méthode de mesure employée (on utilise de préférence un appareil dont les paramètres d'acquisitions sont conformes aux recommandations de norme CEI 61000-4-7).

Les appareils servent à montrer à la fois les effets instantanés et les effets à long terme des harmoniques. On a besoin des valeurs intégrées sur des durées allant de quelques secondes à quelques minutes et des niveaux non dépassés pendant plus de 95 et 99% du temps, pour des périodes d'observation de quelques jours.

Les grandeurs à restituer sont :

- Amplitudes des tensions et courants harmoniques.
- Taux harmonique pour chaque rang des courants et des tensions.
- Taux de distorsion harmonique du courant et de la tension.
- Déphasage entre tension et courant harmoniques de même rang, et phase des courants harmoniques par rapport à une référence commune (la tension fondamentale par exemple). Ces valeurs servent à estimer le foisonnement des courants harmoniques ou à modéliser les circuits pour prédéterminer les effets de nouvelles charges (perturbateurs ou filtres).
- Amplitudes des tensions et courants inter-harmoniques (notamment pour un diagnostic sur des installations comportant des variateurs de vitesses).

II.5.3 Essais en laboratoire des caractéristiques de matériels

Ces instruments sont utilisés pour effectuer des mesures précises sur bancs de tests. Ils permettent notamment de vérifier la conformité des matériels de réseau aux normes d'immunité ou d'émission harmonique. Etant placés au voisinage des sources harmoniques, ils sont susceptibles de mesurer des courants rapidement variables. La mesure est dans ce cas très sensible aux paramètres d'acquisitions. Il conviendra de vérifier que l'appareil satisfait aux méthodes de mesures recommandées par les normes d'immunité ou d'émissions harmoniques auxquelles on cherche à évaluer la conformité de l'appareil.

En général, il s'agit de mesures, sans perte de signal, intégrées à la fois sur des périodes courtes (quelques secondes) pour évaluer les effets instantanés des harmoniques, et sur de longues périodes pour évaluer les effets à long terme.

Les grandeurs à restituer sont:

- Amplitudes des tensions et courants harmoniques.
- Taux harmonique pour chaque rang des courants et des tensions.
- Taux de distorsion harmonique du courant et de la tension.
- Phase harmoniques (éventuellement pour les essais d'émission).

Il est nécessaire pour ce type de mesure, d'alimenter l'équipement sous test (EST) à l'aide d'un signal en tension exempt d'harmoniques. Lorsque le réseau d'alimentation général n'est pas suffisamment "propre", il peut être nécessaire d'utiliser des alimentations sinusoïdales dédiées à cet usage. Pour les gros équipements, on peut être amené à filtrer le réseau par un filtre actif série.

II.6 Présentation de l'analyseur C.A 8230 (Analyseur de puissance et de qualité de CHAUVIN ARNOUX monophasé). [13]

L'analyseur de puissance monophasé **C.A 8230** est destiné aussi bien aux artisans et aux installateurs œuvrant dans les bâtiments collectifs, à usages privé ou public qu'aux services de maintenance. Économique et d'une grande simplicité d'utilisation il convient tout particulièrement au contrôle d'installations électriques, notamment celles pourvues de systèmes utilisant de l'électronique de puissance. La multiplicité des grandeurs étudiées (VA, VAR, W, PF...) rend cet

instrument également très attractif pour l'enseignement technique ou technologique. Le large écran graphique (320 X 240 pixels) est d'ailleurs un précieux auxiliaire de démonstration.

II.6.1 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES [14]

C.A 8230	
V Max	600 V RMS
I Max (selon capteurs)	5 mA à 6 A / 300 mA à 120 A = MN 93A 2 A à 240 A = MN 93 - 3 A à 1200 A = C 193 10 A à 1400 A = PAC 93 - 10 A à 6500 A = Ampflex 193
Puissances	1,2 VA à 3,9 MVA - W, VAR, PF / Cos / Tan
Précision	0,5%
Harmoniques	THD V, A, VA, 50 rangs RMS et %. Mode expert sur V et A
Valeurs	Min, Max, Peak, KF, PST, FC
Fonctions	Surveillances sur seuils Rotation de phases Visualisation de démarrage moteur
Mémoire	1,5 Mo
Bande passante	40 -70 Hz
Fréquence échantillonnage	12,8 kHz
Alimentation	Secteur. Accumulateurs rechargeables NiMH. (Autonomie 40 h - rétroéclairage éteint - ou 8 h).

Tableau II-1 : Caractéristiques techniques d'analyseur de spectre.

Le C.A 8230 est un analyseur d'énergie électrique monophasé AC+DC 600 V catégorie III (IEC 61010-1) à affichage graphique. Mesurant les valeurs efficaces, puissances et perturbations des réseaux de distribution d'électricité, il permet d'obtenir une image instantanée

des principales caractéristiques d'un réseau et de suivre les variations des différents paramètres dans le temps.

Compact, résistant au choc, son ergonomie et la simplicité de son interface utilisateur le rendent agréable et utilisable de façon instinctive.

Le C.A 8230 permet d'obtenir, non seulement une image instantanée des principales caractéristiques d'un réseau, mais aussi le suivi de leurs variations dans le temps. Le système de mesure multitâche assure simultanément toutes les fonctions de mesure des différentes grandeurs, de détection, d'enregistrement continu et leur visualisation sans contrainte. A cela s'ajoute une grande flexibilité due au choix des différents capteurs pour des mesures de quelques centaines de milliampères (MN93A) à plusieurs kilos ampères (AmpFLEX™).

Le C.A 8230 est destiné aux techniciens et ingénieurs des équipes de contrôle et de maintenance dans les industries et les administrations abonnées aux tarifs jaune (de 36 kW à 250 kW) et vert (> 250 kW) dans le cadre des mesures de vérification et de diagnostic sur des réseaux basse tension monophasés ou triphasés.

Les principales mesures réalisées sont :

- Mesure de la tension efficace alternative jusqu'à 600 V (phase-neutre) et 660 V (phase-phase) à condition de respecter les 600 V max entre phase et terre.
- Mesure du courant efficace alternatif jusqu'à 6 500 A.
- Mesure de la fréquence du réseau de 40 Hz à 69 Hz.
- Calcul du facteur de crête pour le courant et la tension.
- Calcul du facteur K pour le courant (transformateurs).
- Calcul du Flicker court terme pour la tension.
- Mesure des angles des harmoniques et de leur taux (par rapport à la valeur du fondamental) en tension, courant ou puissance jusqu'au rang 50. Calcul des taux globaux de distorsion harmonique.
- Mesure des puissances active, réactives et apparente par phase et cumulées.
- Calcul du facteur de puissance, du facteur de déplacement et de la tangente.
- Cumul des énergies générées et consommées à partir d'un instant choisi par l'opérateur.

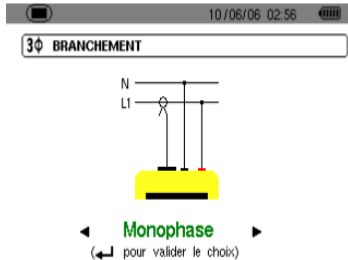
- Suivi de la valeur moyenne de n'importe quel paramètre, calculée sur une période de 1 seconde à 15 minutes. Stockage des valeurs sur une durée limitée par la mémoire de l'appareil.
- Enregistrement, datation et caractérisation des perturbations : surtensions, creux et coupures, dépassement de puissances, de seuils harmoniques, ... etc.

II.6.2 Branchement [14]

Les types de branchement du C.A 8230 au réseau.

- Monophasé : mesure de la tension simple associée au courant simple d'une phase.
- Triphasé équilibré : mesure de la tension composée complémentaire de la phase dont on mesure le courant simple. Ce branchement permet de calculer :

Les puissances et énergies totales d'un réseau triphasé équilibré (W, Wh, VAR, VARh, VA et VAh).



Connexion en monophasé



Connexion en triphasé équilibré

Figure II-4 : différents types de branchements.

II.6.3 Transfert des données vers le PC

Le logiciel de transfert Data Viewer définit automatiquement la vitesse de communication entre le PC et le C.A. 8230. Toutes les mesures effectuées par le C.A 8230 sont mémorisées. Elles peuvent de ce fait être transférées vers un PC pour consultation ultérieure.

Nota : le transfert n'efface pas les données mémorisées.

Conclusion

La détection de la présence de pollution harmonique sur un réseau d'alimentation est rendue possible grâce à la mesure des tensions harmoniques agissant sur la qualité de l'onde sinusoïdale de tension de l'installation électrique concernée.

Dans ce chapitre on a présenté deux façons de mesure d'harmonique, en utilisant l'analyseur de spectre analogique et l'analyseur de spectre numérique, on a expliqué le principe de fonctionnement de ce dernier. On a présenté l'appareil de mesure utilisé qui est l'analyseur de puissance C.A 8230 qui est un appareil très performant est très précis vu ses caractéristiques techniques et sa facilité d'utilisation.

Chapitre III :

Partie pratique

CHAPITRE III : PARTIE PRATIQUE

Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'étude expérimentale des perturbations harmoniques générées par des charges non linéaires (lampes basses consommations et ordinateurs), où nous allons faire des mesures dans le laboratoire « réseaux électriques » avec un analyseur de spectre numérique le C.A 8230, le schéma suivant nous montre sa connexion pour prendre des mesures.

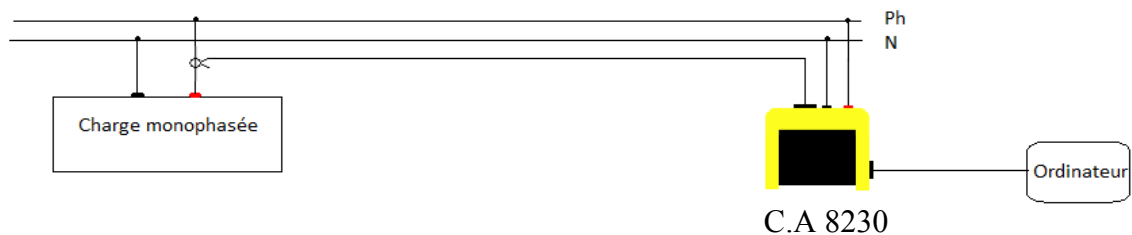


Figure III.1 schéma de connexion pour prendre la mesure.

Nous présentons les mesures des courants, tensions, puissances ainsi que le TDH (courant et tension) et le facteur de puissance, pour plusieurs cas de mesures (sans aucune charge, lampes, ordinateurs et onduleur).

III.1 Présentation du travail

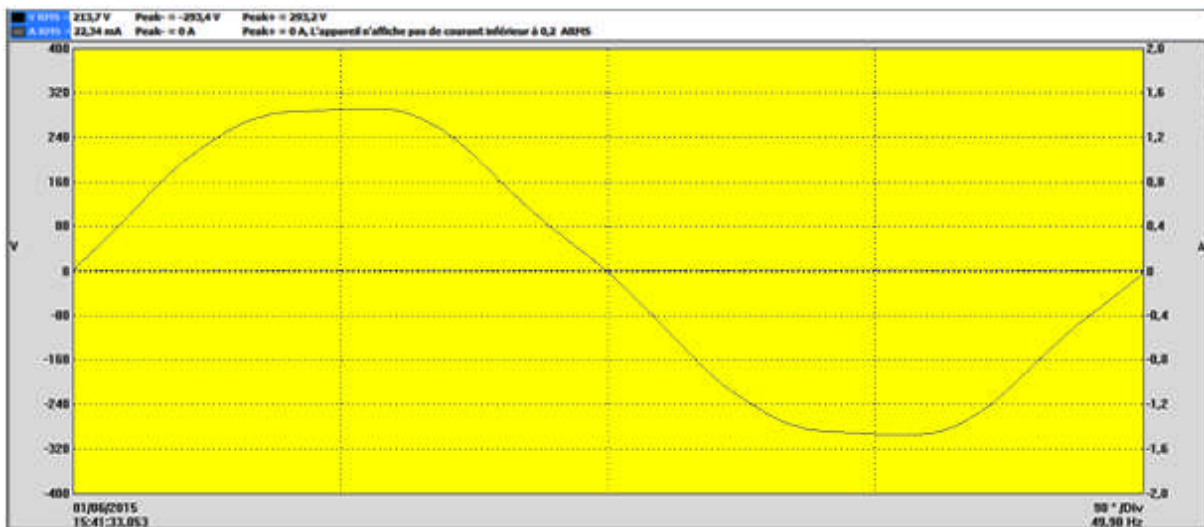
On prend la mesure de la tension en premier lieu puis, nous allons faire deux essais :

- Le premier sur les lampes :
 - On enregistre la forme de tension
 - On alimente, une lampe à incandescence et on enregistre les différentes mesures.
 - On alimente, une lampe à basse consommation (fluo-compacte) et on enregistre les différentes mesures.
 - On alimente, plusieurs lampes à basses consommations (fluo-compactes) et on enregistre les différentes mesures.
- Le deuxième sur les ordinateurs (avec ou sans onduleur) :
 - On alimente, un onduleur et on enregistre les différentes mesures.

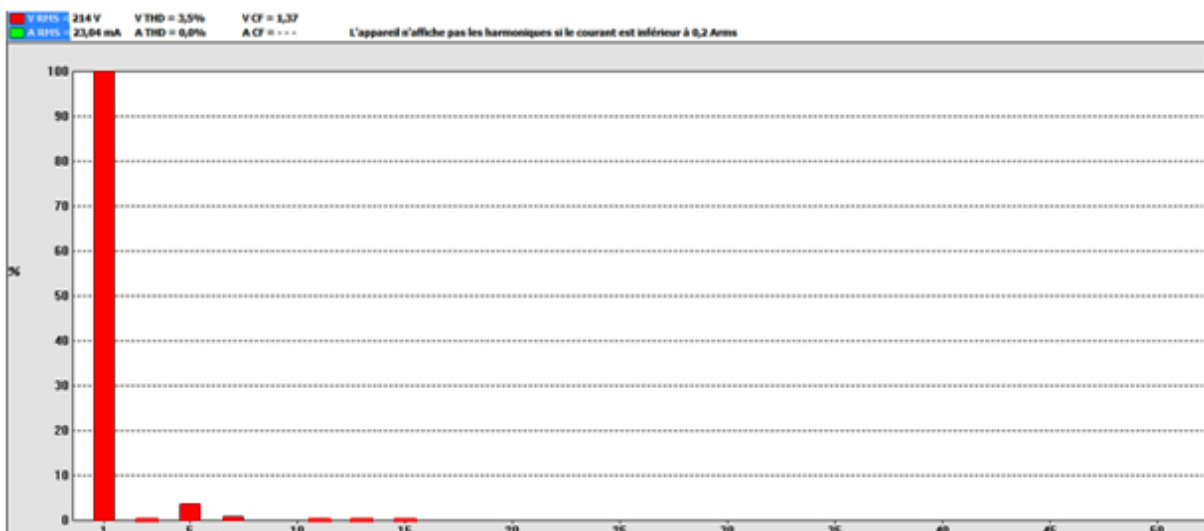
- On alimente, un ordinateur sans onduleur et on enregistre les différentes mesures.
- On alimente, un ordinateur avec son onduleur et on enregistre les différentes mesures.
- On alimente, plusieurs ordinateurs avec leurs onduleurs et on enregistre les différentes mesures.

Avant de placer les charges, nous avons mesurer la tension du réseau

III.2 Forme d'onde et spectre de la tension du réseau sans charge



Forme d'onde de la tension



Représentation du spectre de la tension du réseau

Figure III.2 : Représentations de la forme d'onde et du spectre de la tension.

La forme d'onde obtenue :

- Nous constatons que la tension est sinusoïdale avec un TDH faible de 3.5% et de valeur efficace de 214 V.

Et le spectre de tension montre que l'harmonique le plus important, c'est l'harmonique de rang 5.

III.3 Essai 01 :

Dans cet essai nous présentons les résultats des mesures effectués sur une lampe classique et sur des lampes basses consommations.

Le schéma de branchement est donné par la figure ci-dessous.

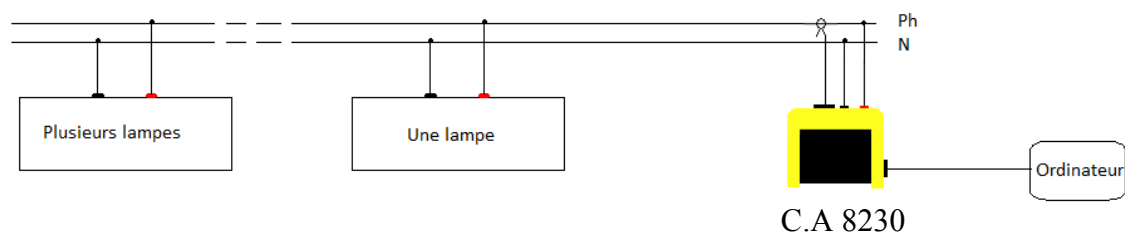
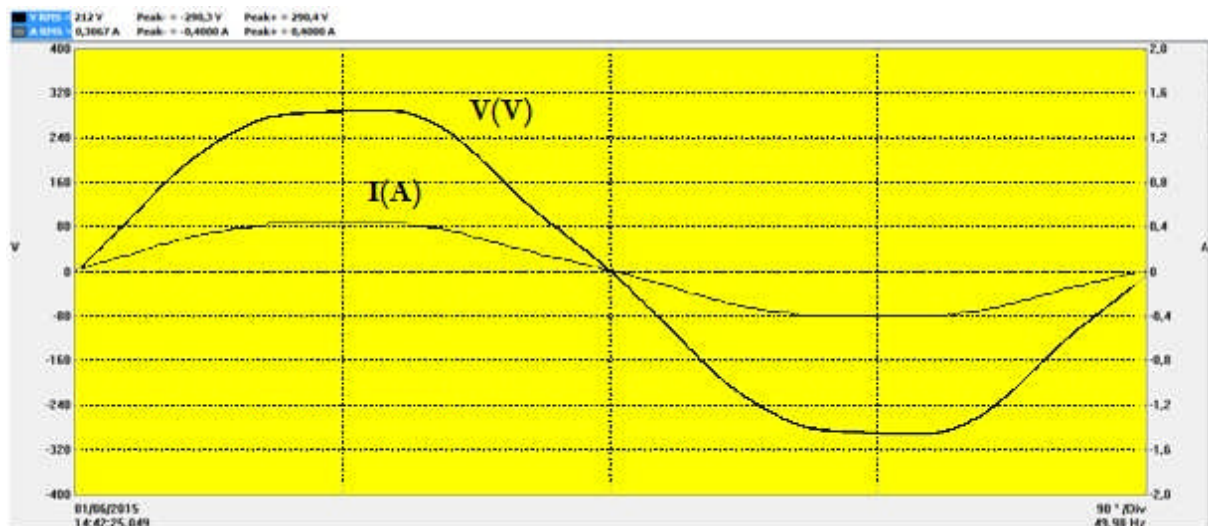


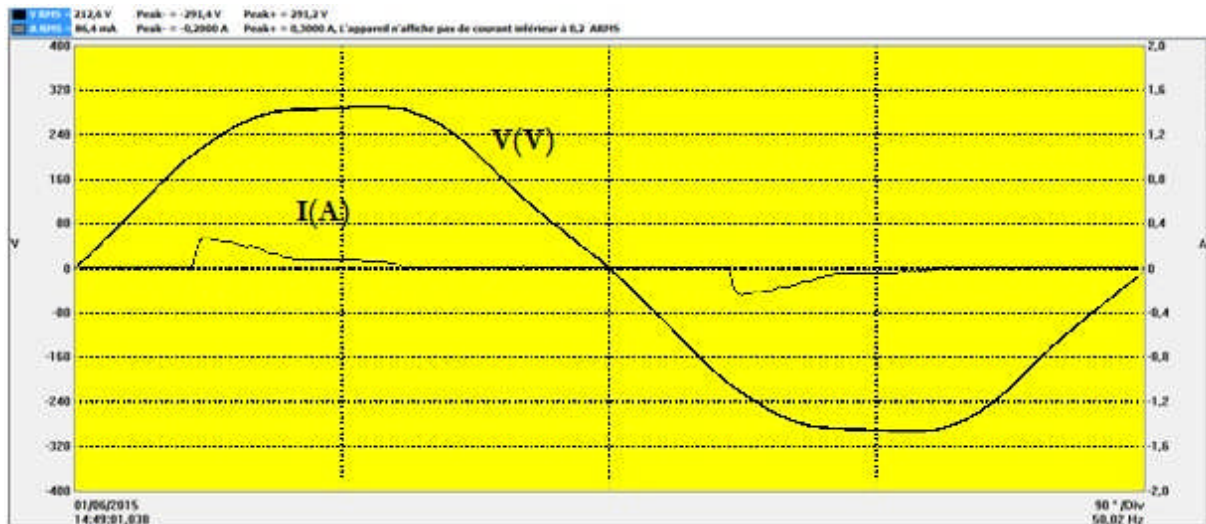
Figure III.3 schéma de connexion pour prendre des mesures sur les lampes.

III.3.1 Représentations des formes d'ondes du courant et de tension des lampes

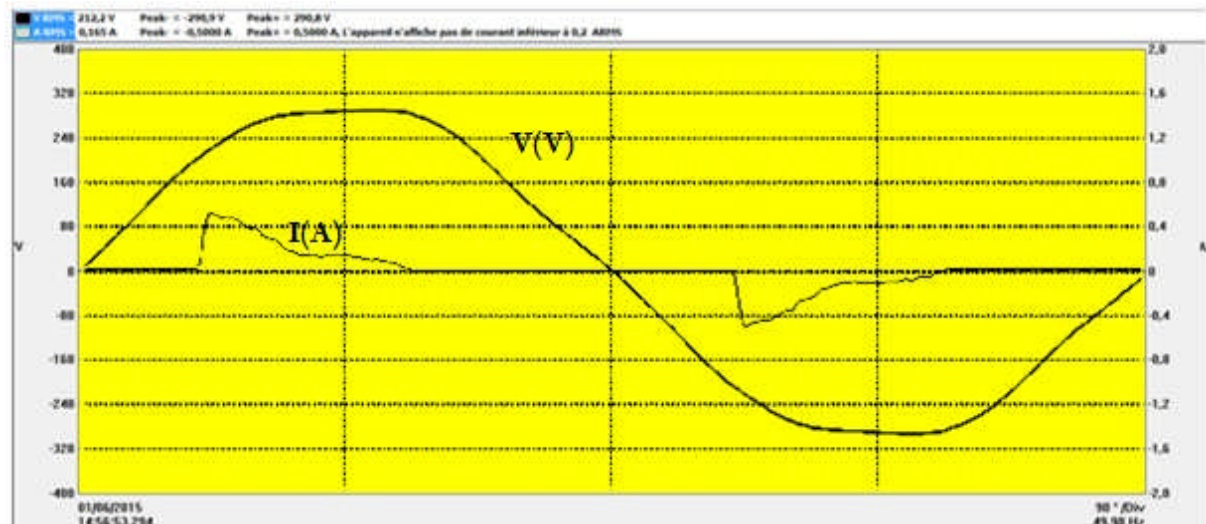


Lampe à incandescence

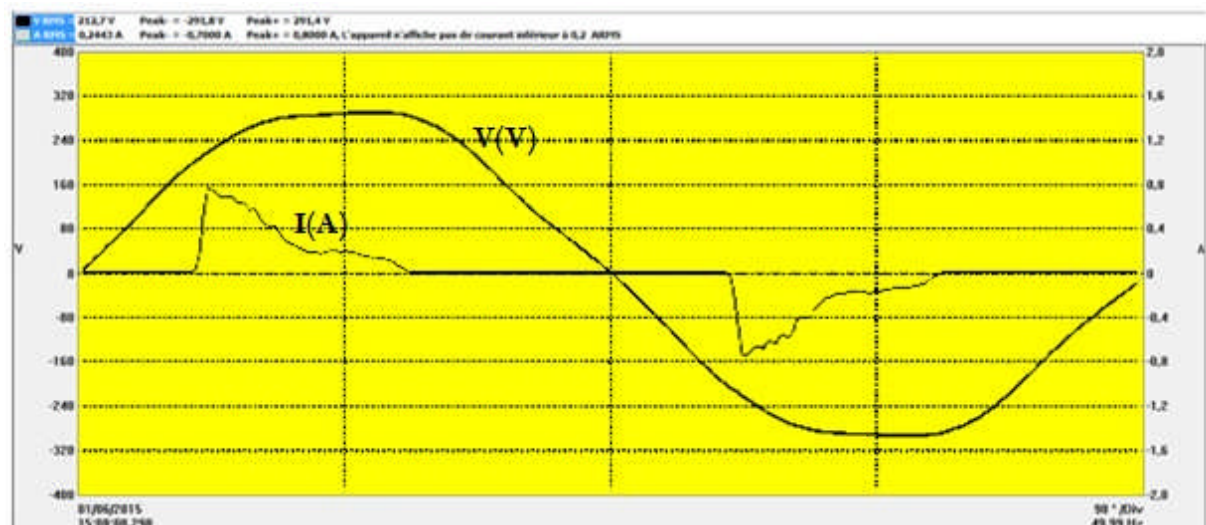
Figure III.4 : Représentation de la forme d'onde du courant et de la tension d'une lampe à incandescence.



1 lampe fluo-compacte

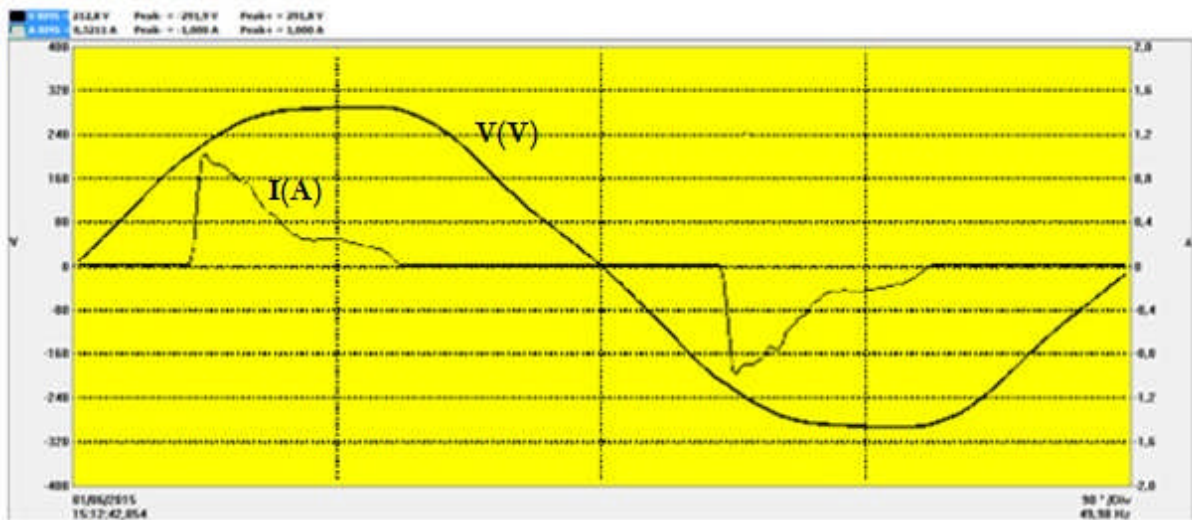


02 lampes fluo-compactes

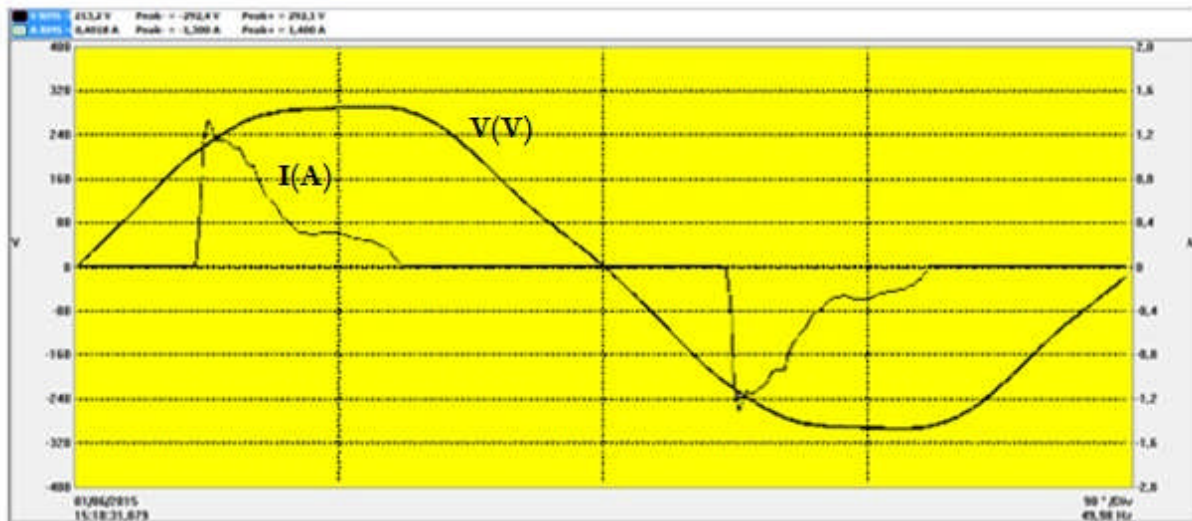


03 lampes fluo-compactes

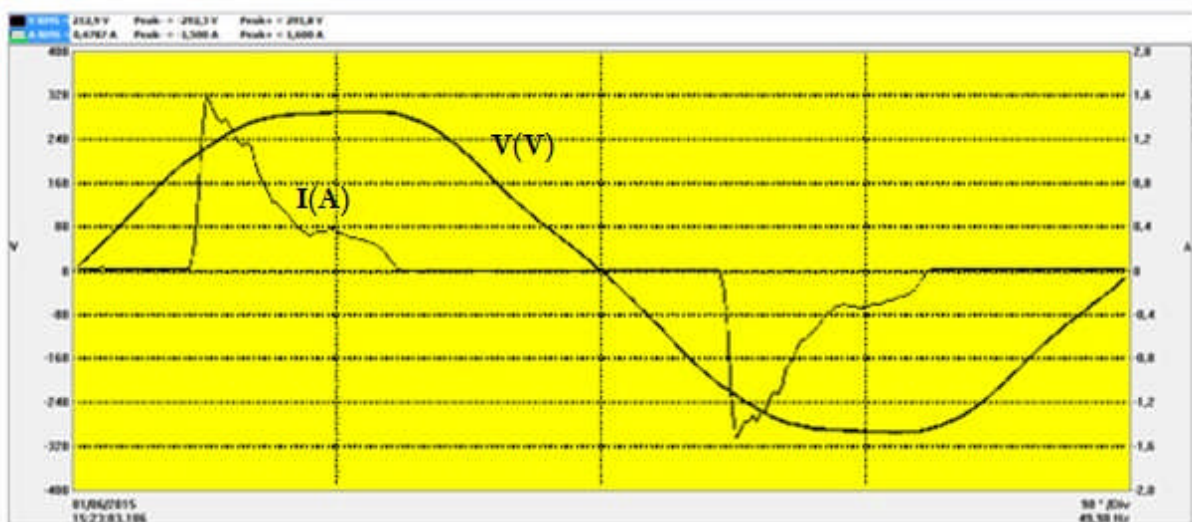
Figure III.5 : Représentations des formes d'ondes du courant et de la tension de 01 à 03 lampes fluo-compactes.



04 lampes fluo-compactes



05 lampes fluo-compactes



06 lampes fluo-compactes

Figure III.6 : Représentations des formes d'ondes du courant et de la tension de 03 à 06 lampes fluo-compactes.

III.3.2 Représentations des spectres du courant et de la tension des lampes

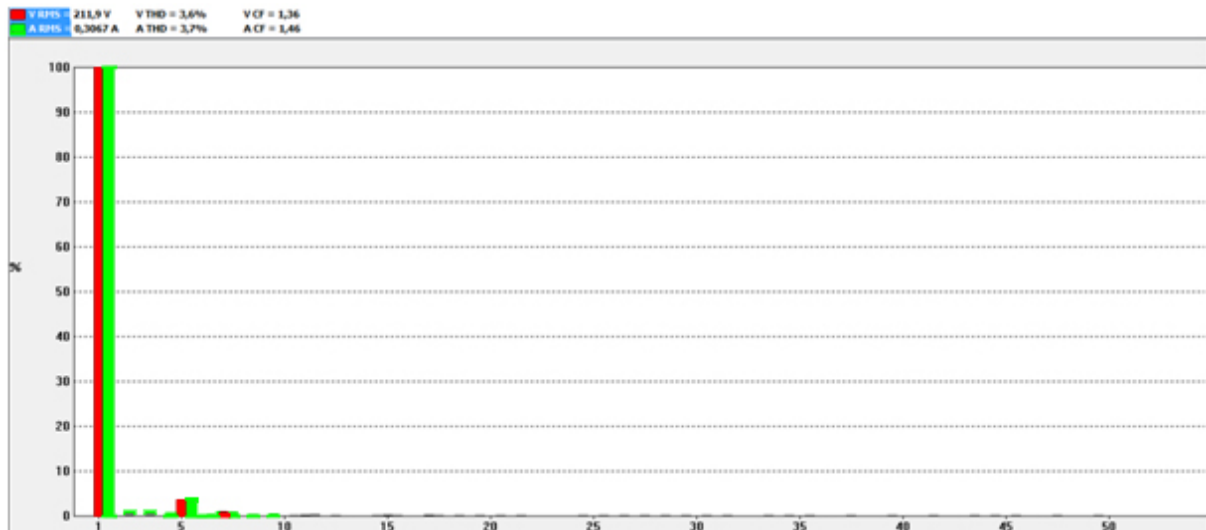
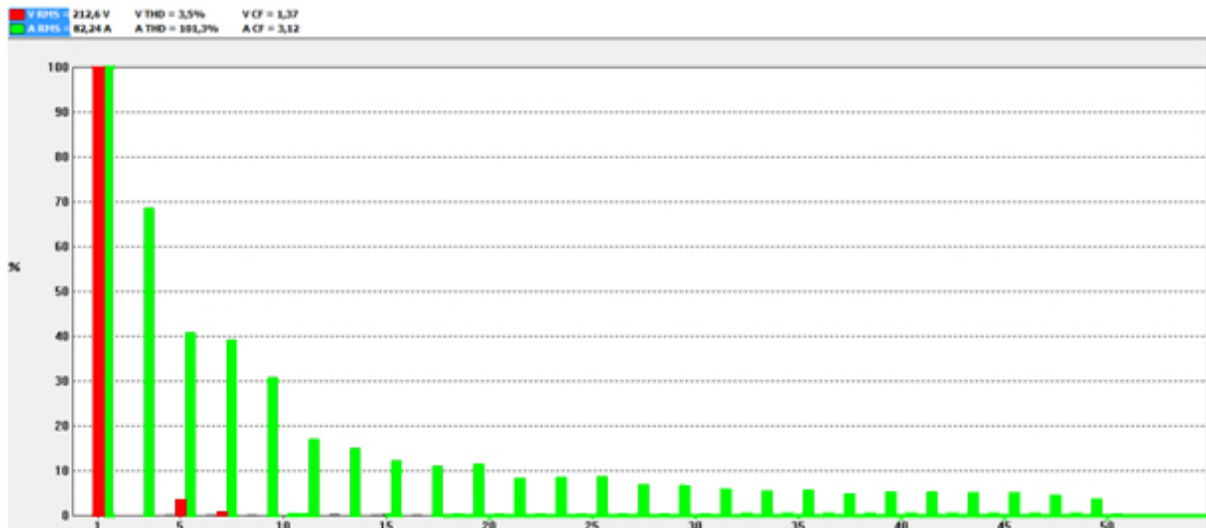
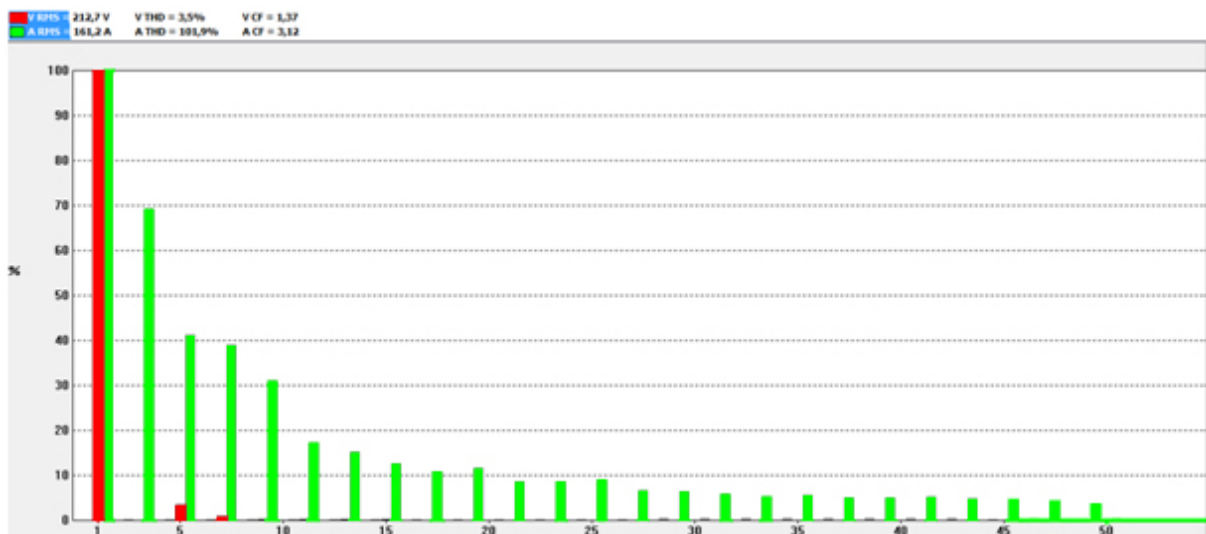


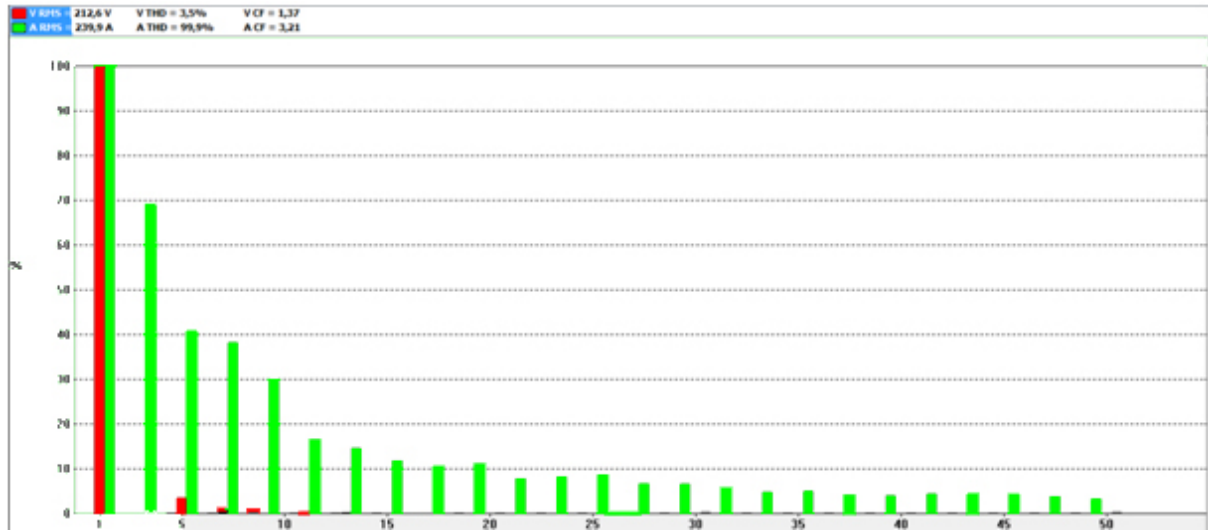
Figure III.7 Représentation du spectre du courant et de la tension d'une lampe à incandescence



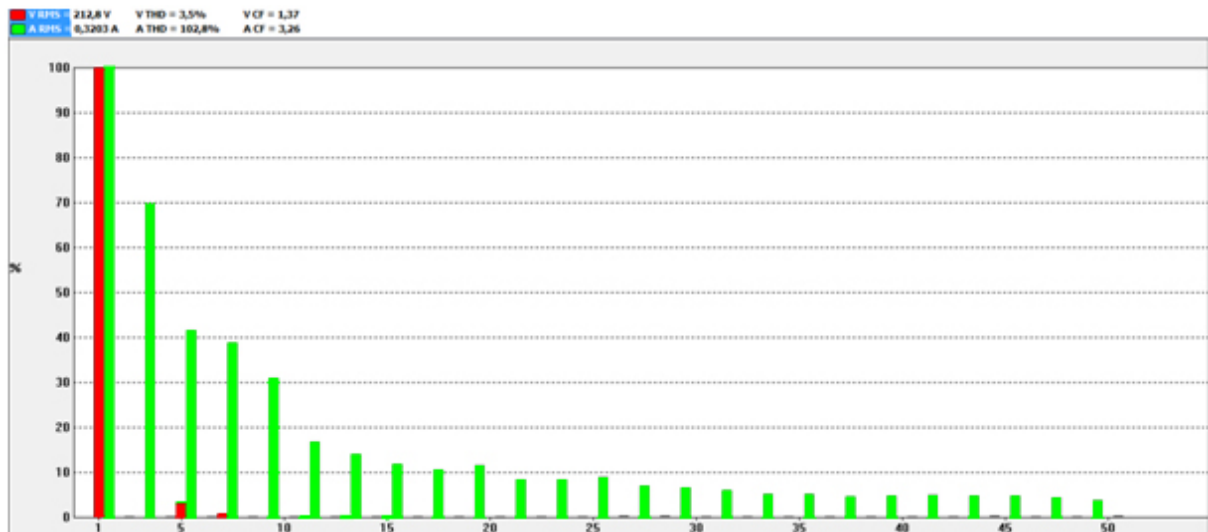
Représentation du spectre du courant et de la tension d'une lampe fluo-compacte



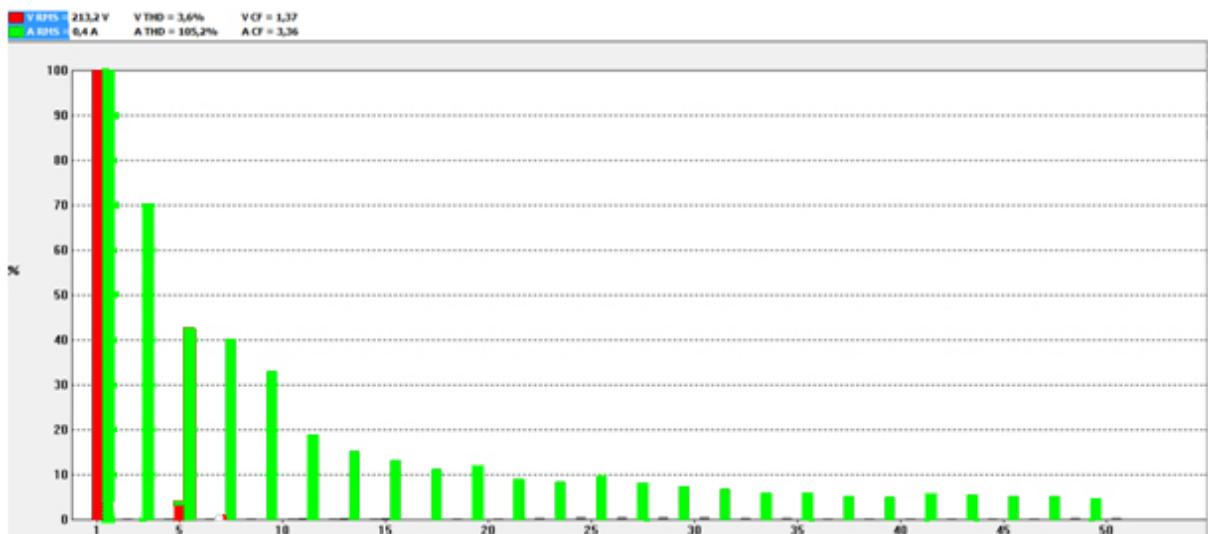
02 lampes fluo-compactes



03 lampes fluo-compactes



04 lampes fluo-compactes



05 lampes fluo-compactes

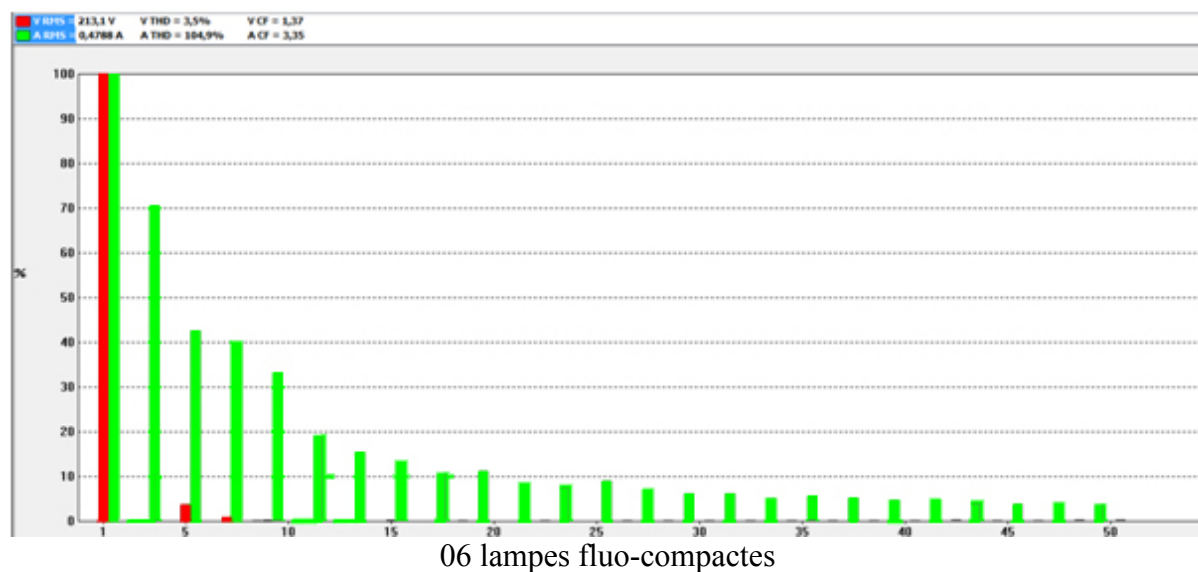


Figure III.8 : Représentation des spectres du courant et de la tension des lampes fluo-compactes.

III.3.3 Différentes grandeurs données par l'analyseur C.A 8230 :

	Date	Heure	Voie	THD%	CF	Pst	KF	DF	RMS
Lampe à incandescence	01/06/2015	14:45:04,101	V	3,6	1,37	0,23		3,5	212,1
			I	3,8	1,46		1,07	3,8	0,3
Lampe fluo-compacte		15:06:06,112	V	3,4	1,37	0,25		3,3	212,6
			I	101,8	3,22		49,97	70,9	0,0813
02 lampes fluo-compactes		14:59:27,297	V	3,5	1,37	0,24		3,4	212,6
			I	102,2	3,13		47,43	71,3	0,1624
03 lampes fluo-compactes		15:08:54,055	V	3,5	1,37	0,2		3,4	212,5
			I	100,1	3,19		41,15	70,6	0,2411
04 lampes fluo-compactes		15:13:29,091	V	3,5	1,37	0,25		3,4	213,1
			I	101,8	3,24		43,46	67,8	0,3
05 lampes fluo-compactes	15:21:25,293	V	3,5	1,37	0,21		3,4	213,2	
		I	105,5	3,29		51,96	79,1	0,4	
06 lampes fluo-compactes	15:23:39,103	V	3,5	1,35	0,22		3,4	212,9	
		I	103,8	3,21		44,27	62,2	0,5	

Tableau III-1 Mesures prises pour une lampe à incandescence + 06 lampes fluo-compactes.

Définitions des termes utilisés :

THD : Taux de distorsion harmonique totaux.

PST : Flicker court terme.

KF : facteur K. Donne une indication sur la somme d'harmoniques en courant et permet d'aider au choix du transformateur.

CF : facteur de crête calculé sur la forme d'onde affichée.

DF : facteur de distorsion (également appelé THD-R).

RMS : valeur efficace vraie calculée sur 1 seconde.

Puissance lampe	Puissance active W	Puissance réactive VAR	Puissance apparente VA	FP	DPF
Lampe à incandescence	65	-5	65	0,997	0,999
lampe fluo- compacte	10	-13	17	0,629	0,890
02 lampes fluo- compactes	21	-26	33	0,626	0,896
03 lampes fluo- compactes	32	-39	50	0,632	0,895
04 lampes fluo- compactes	42	-53	68	0,622	0,898
05 lampes fluo- compactes	53	-67	85	0,625	0,900
06 lampes fluo- compactes	64	-80	102	0,624	0,903

Tableau III-2 Mesures des puissances et facteurs de puissances pour une lampe à incandescence et 06 lampes fluo-compactes.

Avec :

FP : facteur de puissance (ration de la puissance active sur la puissance apparente).

DPF: facteur de déplacement ($\cos \varphi$ du fondamental).

III.3.4 Interprétation des résultats :

III.3.4.1 Lampe à incandescence

On a fait des mesures pour une lampe à incandescence de 75 W (puissance donnée par le constructeur). En analysant les Figure III.4, III.7 et les Tableaux III-1, III-2, nous constatons que la tension reste sinusoïdale avec un TDH faible de 3.6% et de valeur efficace de 212.1V, le rang harmonique le plus dominant est le rang 5.

Le courant aussi présente une allure sinusoïdale avec un TDH faible de 3.8%, et de valeur efficace de 0.3A, le spectre du courant est pauvre en harmoniques.

On a trouvé une puissance active de 65 W qui est la même avec la puissance apparente et un facteur de puissance de 0.997.

III.3.4.2 Lampes fluo-compactes

Pour une lampe fluo-compacte de 15 W (puissance donnée par le constructeur), nous constatons que la forme d'onde obtenue :

- Tension sinusoïdale avec un TDH faible de 3.4% et de valeur efficace de 212.6 V.
- Le courant est très loin de la sinusoïde avec un TDH élevé de 101.8% et de valeur efficace de 0.081A et le spectre est riche en harmoniques, le rang le plus important c'est le rang 3 avec un TDH=69 % du fondamental suivi du rang 5 avec un TDH de 40% du fondamental.

On a trouvé une puissance active de 10 W tandis que la puissance apparente est de 17 VA et un facteur de puissance très faible de 0.629.

III.3.4.3 Comparaison entre une lampe à incandescence et une lampe fluo-compacte

Si on fait une comparaison entre une lampe à incandescence et une lampe fluo-compacte, on constate une grande différence de consommation d'énergie (lampe classique consomme 65W, lampe fluo-compacte 10W), par contre au niveau pollution harmonique la lampe classique est moins polluante (le TDH courant de la lampe classique 3,8% est très inférieur à celui de la lampe fluo-compacte qui est de 101,8%).

III.3.4.4 Plusieurs lampes fluo-compactes

On a fait des mesures pour plusieurs lampes fluo-compactes (de 1 à 6) de 15 W (puissances données par le constructeur), en analysant les figures III.5, III.6, III.8 et les tableaux III.1, III.2, nous constatons que la forme d'onde obtenue :

- Tension sinusoïdale avec un TDH faible (allant de 3.4% à 3.6%) et de valeur efficace pratiquement stable à 212 V.
- Courant déformé avec un TDH élevé (allant de 101.1% à 105.5%) et de valeur efficace (allant de 0.086A à 0.5 A).

Le spectre de tension est pauvre en harmoniques tandis que le spectre de courant est très riche en harmoniques, et pratiquement c'est le même spectre qui se répète pour tous les cas (de 1 à 6 lampes fluo-compactes) avec la présence de l'harmonique 3 (150 Hz) et les harmoniques des rangs impaires $(2p+1)$ avec $\{p= 1,2,3\dots n\}$, et l'harmonique 3 c'est le plus important (70% du fondamental). On constate aussi que les valeurs crêtes du courant augmentent avec l'augmentation de nombre de lampes.

On a trouvé une puissance active allant de 10 W à 64 W, et une puissance apparente allant de 17 VA à 102 VA avec un facteur de puissance très faible de 0.62.

III.3.5 Conclusion

Les lampes fluo-compactes n'ont pas d'impact sur la qualité de la tension du réseau du laboratoire, vu leurs faibles puissances et leur nombre réduit.

L'augmentation du nombre de lampes fluo-compactes n'augmente pas le TDH du courant, ce qui peut s'expliquer par le phénomène de foisonnement (somme vectorielle des harmoniques et non algébrique).

III.4 Essai 02 :

Dans cet essai, on mesure les formes d'ondes et les spectres pour un ensemble d'onduleurs alimentant des ordinateurs.

On a utilisé dans cet essai un écran plat de référence TFT LCD VW 19V avec les caractéristiques (220 V, 50/60 Hz, 1.2 A) et un écran à tube cathodique de référence SAMSUNG 793V avec les caractéristiques (240 V, 50/60 Hz, 1.2 A), le schéma suivant nous montre la connexion de l'analyseur de spectre pour prendre des mesures.

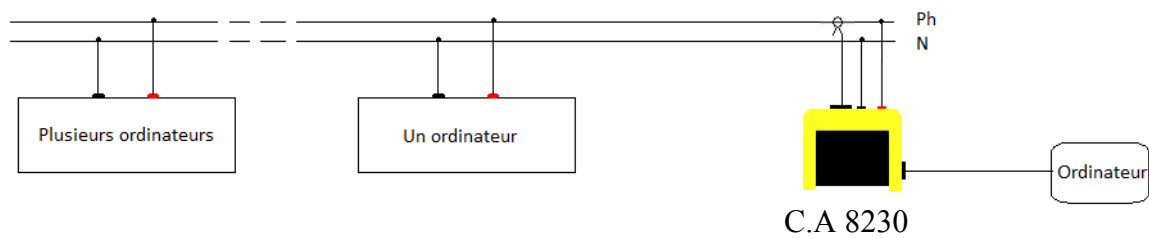
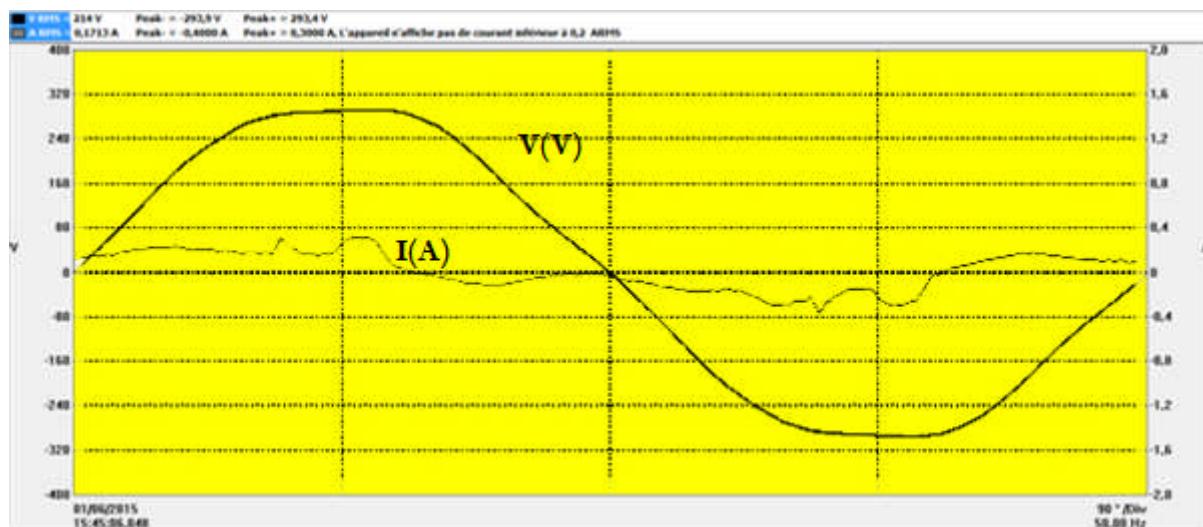
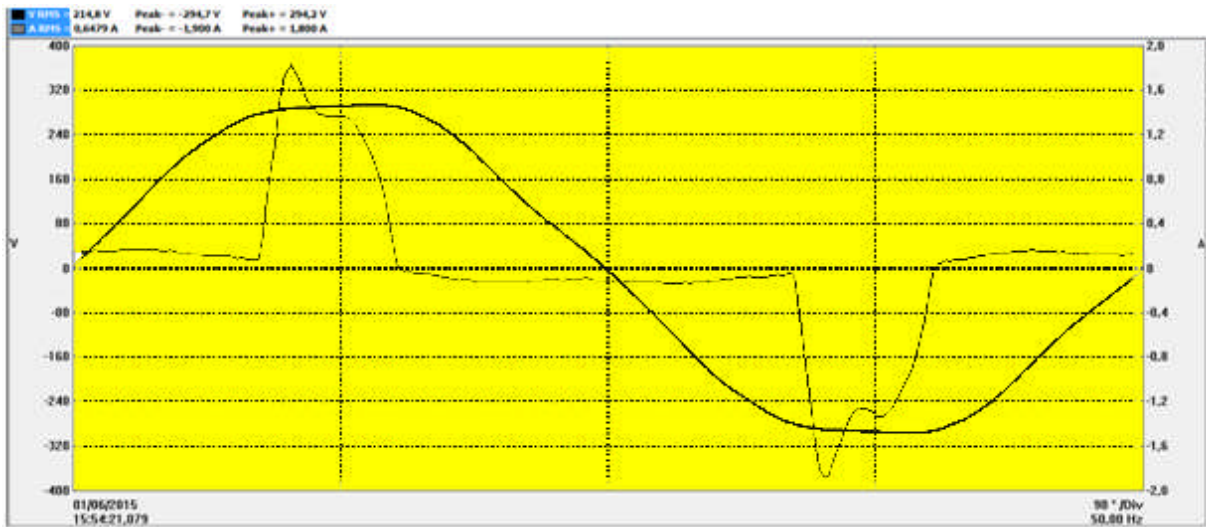


Figure III.11 schéma de connexion pour prendre des mesures sur les ordinateurs.

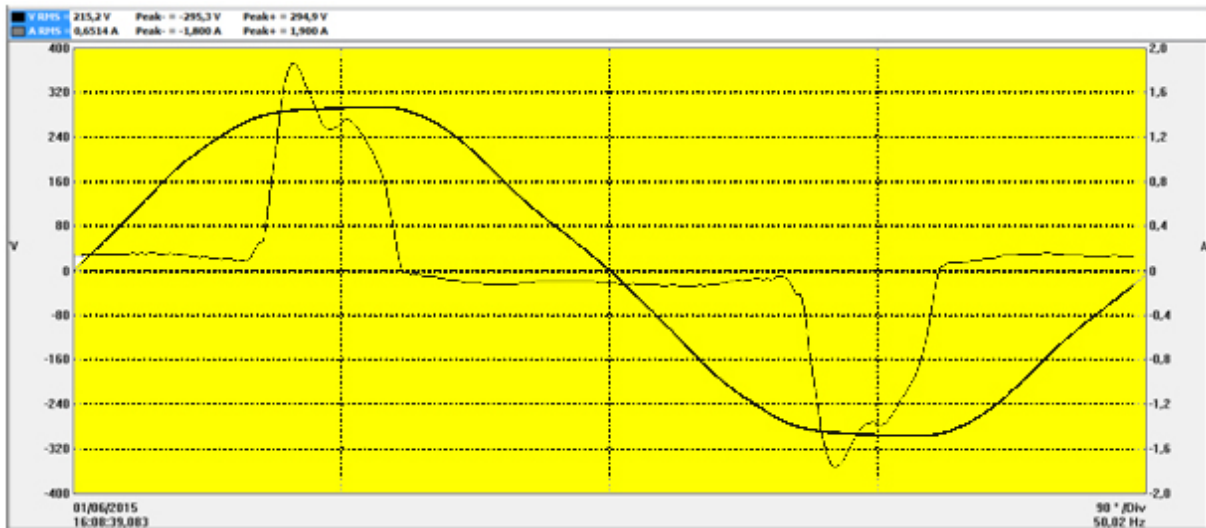
III.4.1 Représentations des formes d'ondes du courant et de la tension



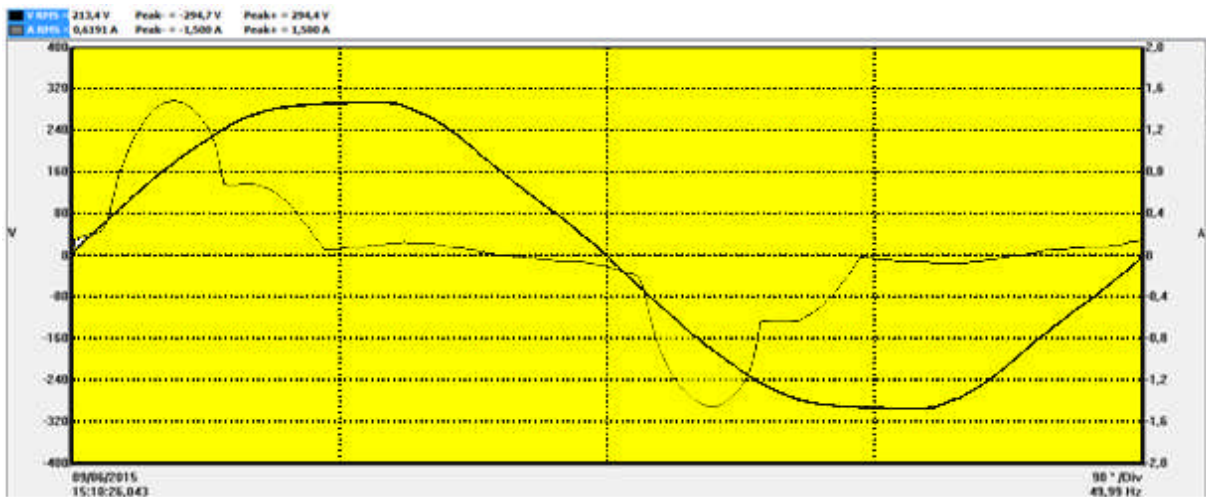
Onduleur



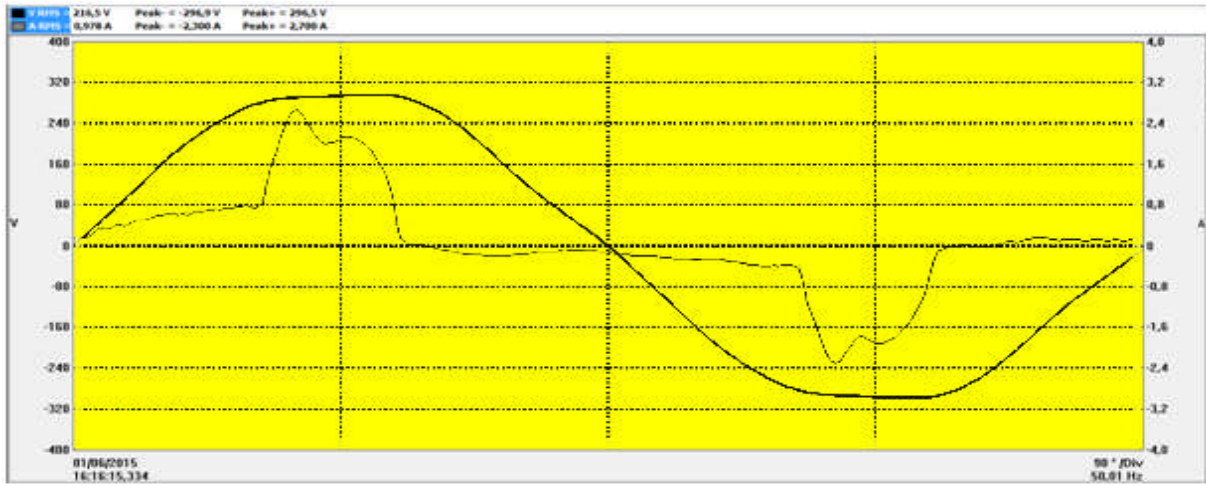
Ordinateur à écran LCD



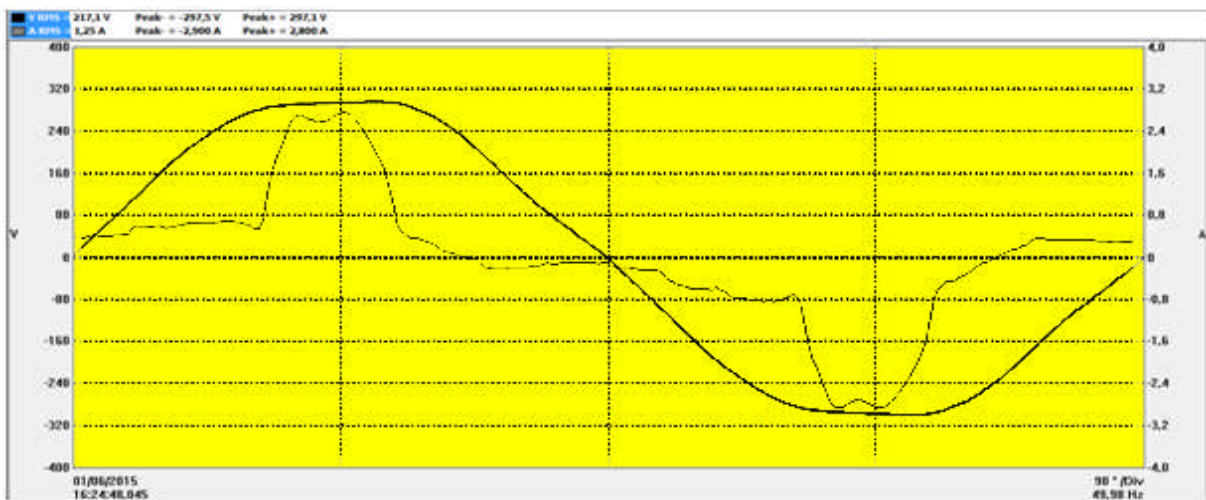
Un ordinateur alimenté via un onduleur



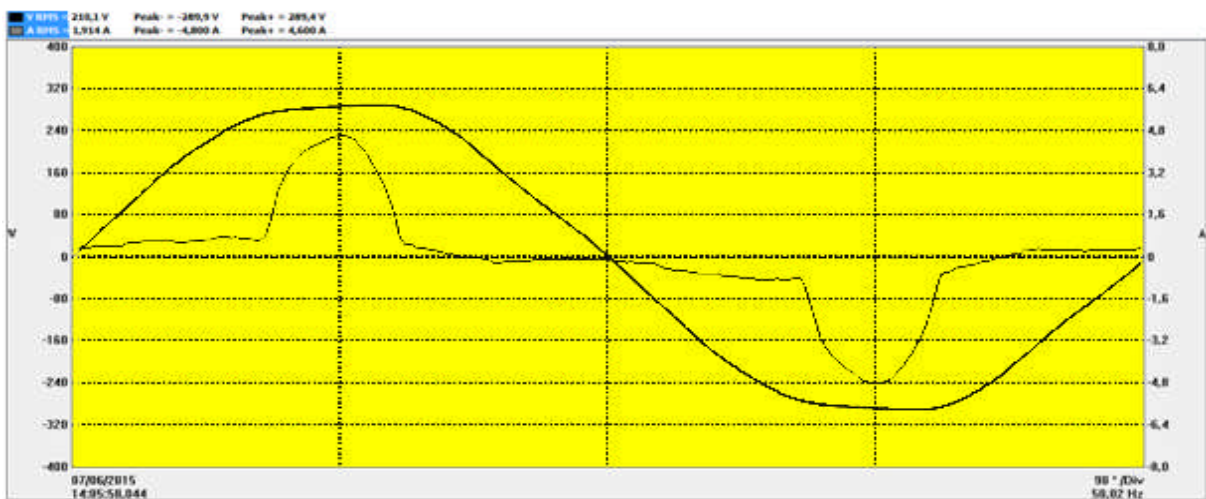
Un ordinateur à tube cathodique alimenté via un onduleur



Deux ordinateurs alimentés via deux onduleurs



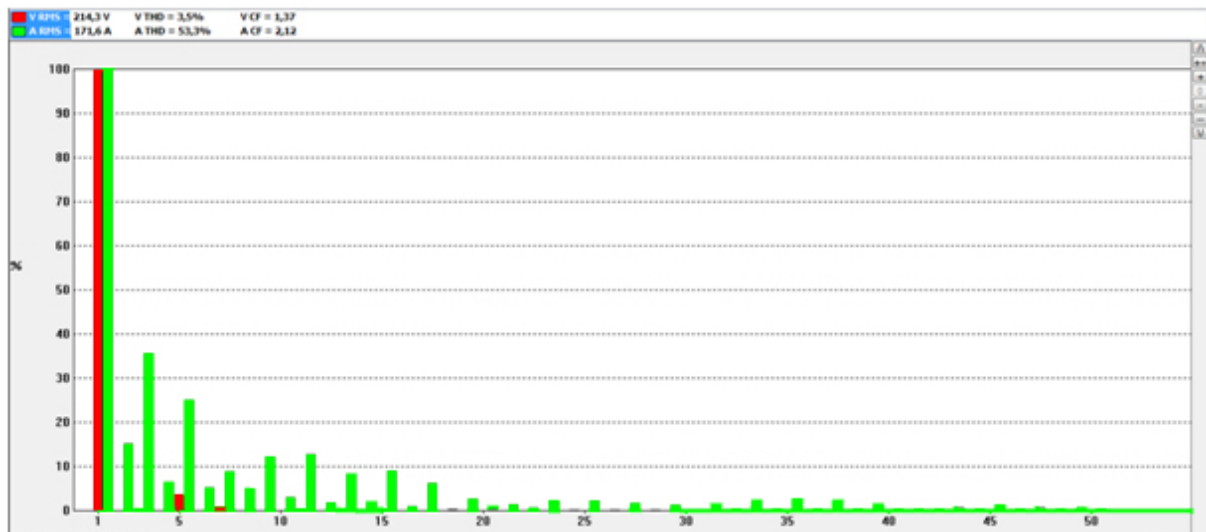
Trois ordinateurs alimentés via trois onduleurs



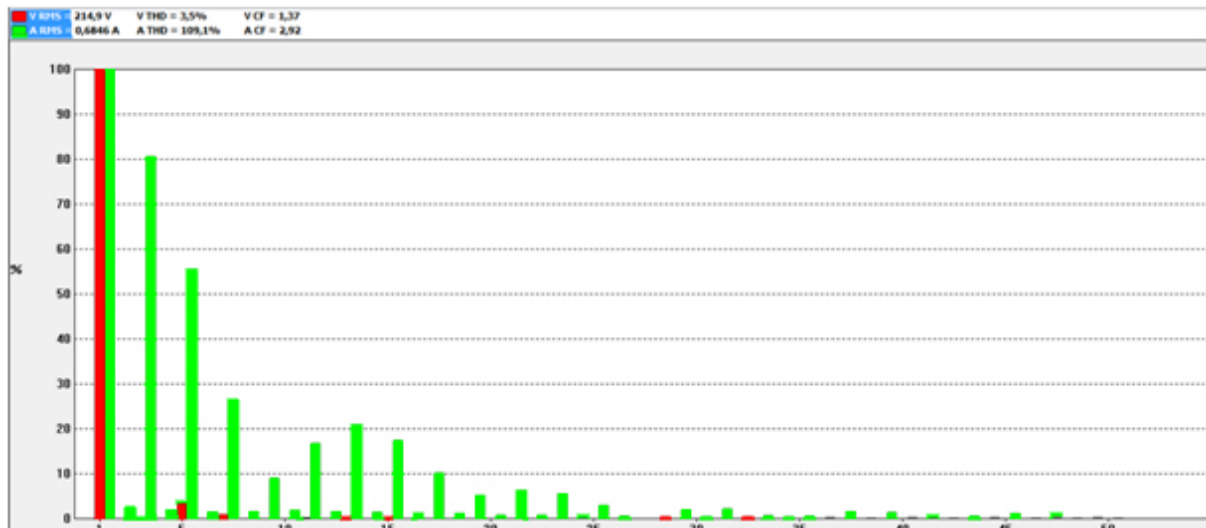
Quatre ordinateurs alimentés via quatre onduleurs

Figure III.12: Représentations des formes d'ondes de courant et de tension des ordinateurs.

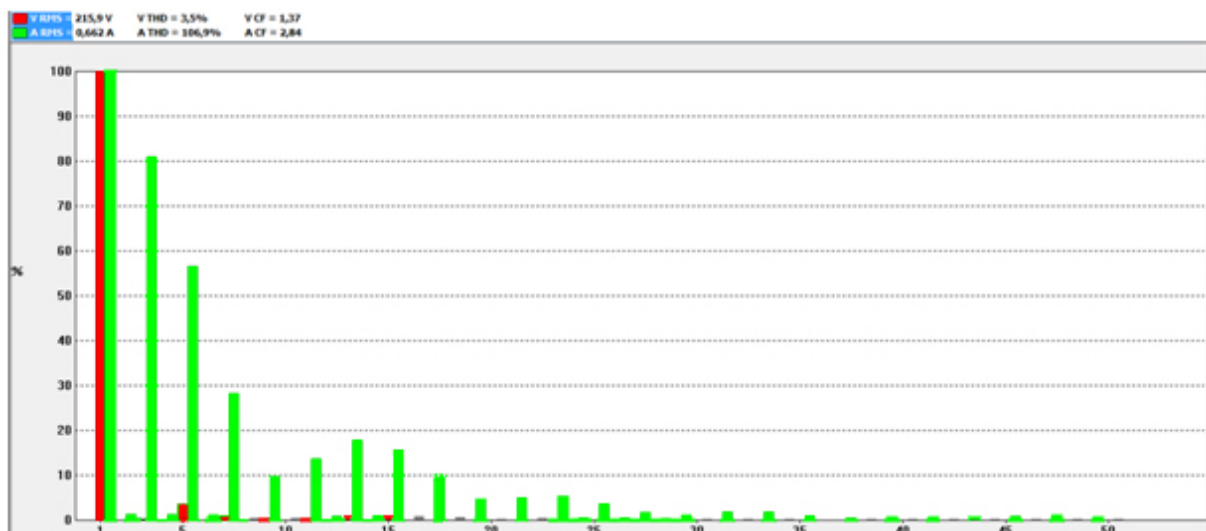
III.4.2 Représentations du spectre du courant et de la tension des ordinateurs



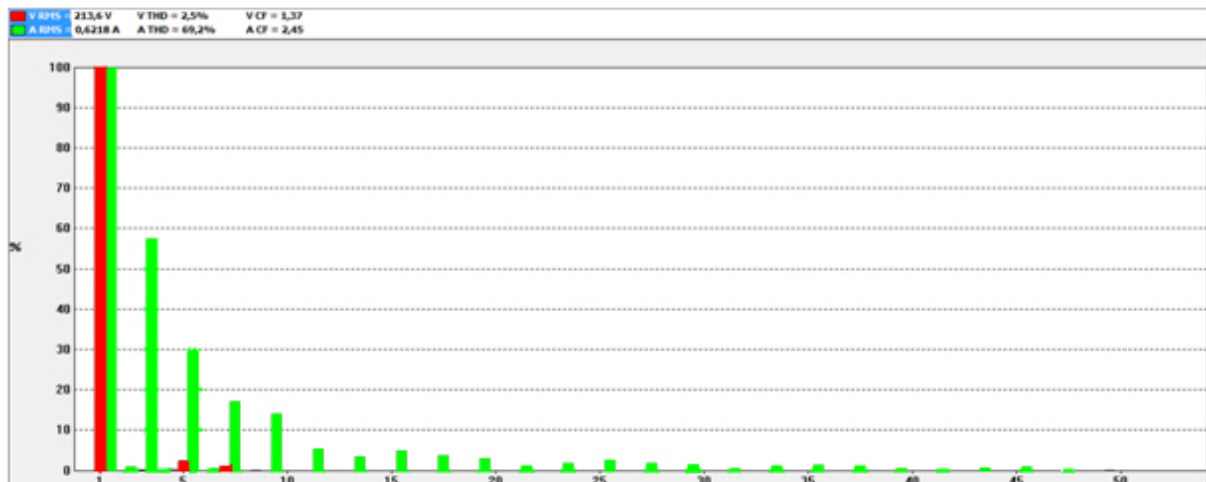
Représentation du spectre du courant et de la tension d'un onduleur



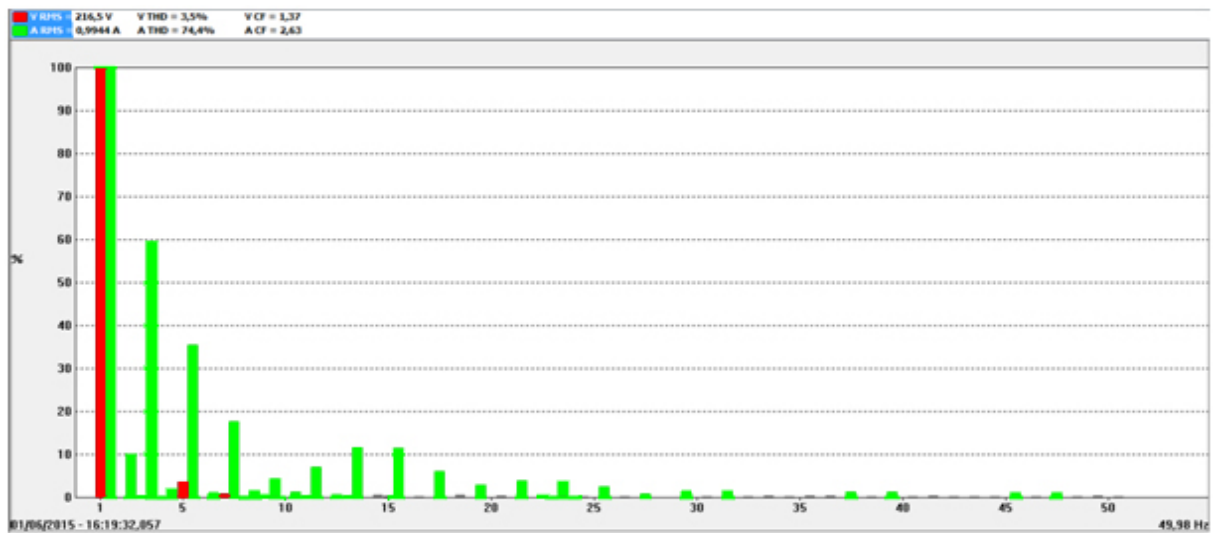
Représentation du spectre du courant et de la tension d'un ordinateur à écran LCD



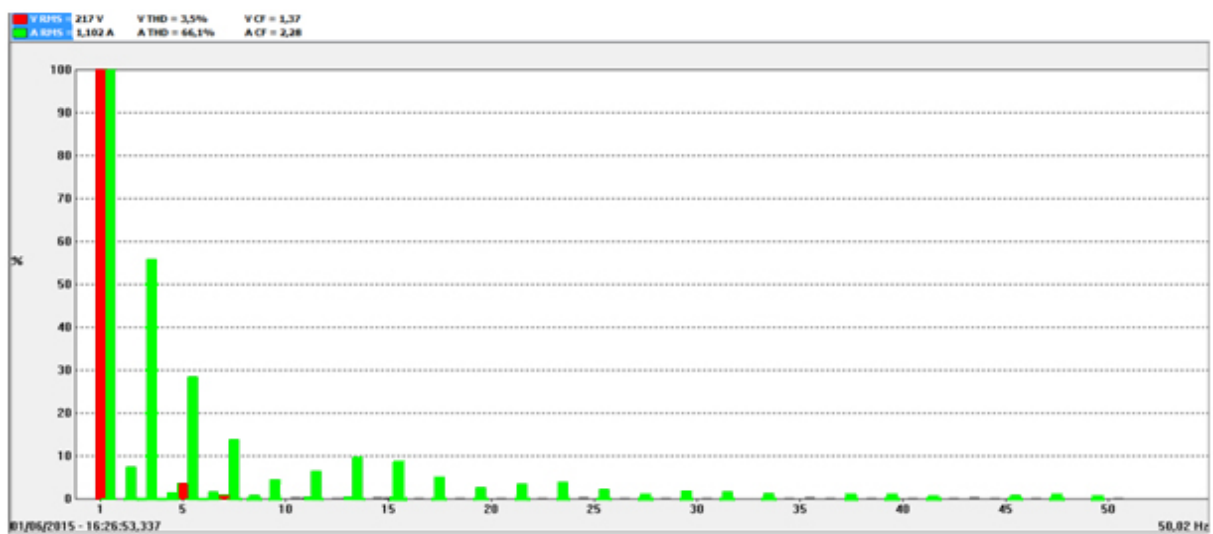
Représentation du spectre du courant et de la tension d'un ordinateur alimenté via un onduleur



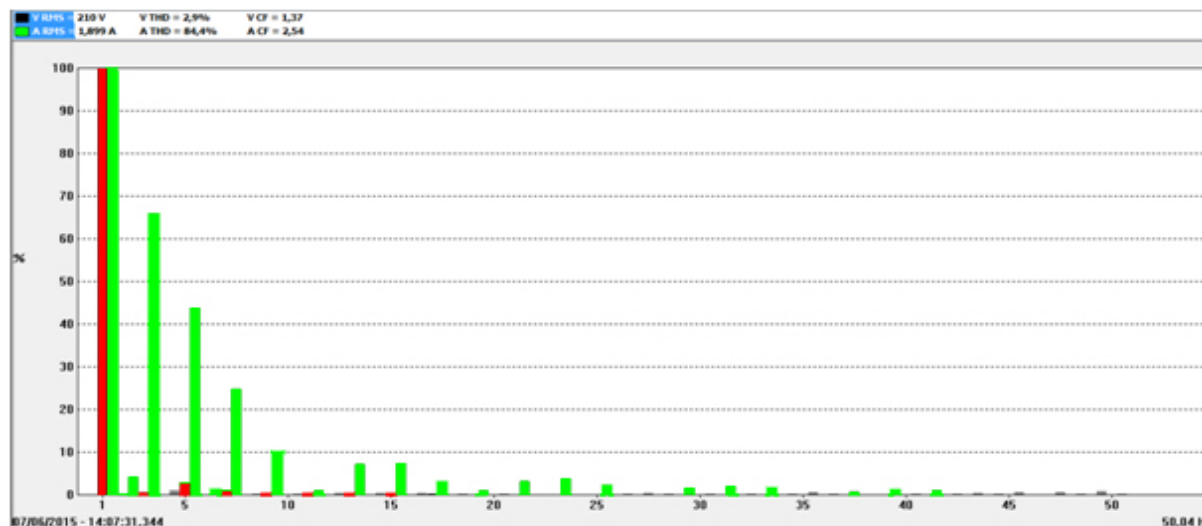
Représentation du spectre du courant et de la tension d'un ordinateur à tube cathodique alimenté via un onduleur



Représentation du spectre du courant et de la tension de deux ordinateurs alimentés via deux onduleurs



Représentation du spectre du courant et de la tension de 03 ordinateurs alimentés via 03 onduleurs



Représentation du spectre du courant et de la tension de 04 ordinateurs alimentés via 04 onduleurs

Figure III.13 : Représentation des spectres du courant et de tension des ordinateurs alimentés via des onduleurs.

III.4.3 Les différents résultats obtenus sur les ordinateurs :

	Date	Heure	Voie	THD%	CF	Pst	KF	DF	RMS
onduleur	01/06/2015	15 :46 :09,286	V	3,5	1,37	0,26		3,4	214,2
			I	52,9	2,07		12,72	36,6	0.172
ordinateur		15 :54 :55,047	V	3,6	1,37	0,25		3,5	214,9
			I	105,0	3,08		20,3	75,0	0,7
Ordinateur+ onduleur		16 :09 :14,057	V	2,9	1,37	0,71		2,9	214,9
			I	105,2	2,78		18,6	70,1	0,6
Ordinateur à tube cathodique + onduleur		16 :14 :05,120	V	3,1	1,37	2,27		3,0	214,7
			I	105,8	2,53		16,61	75,5	0,7
02ordinateurs + 02onduleurs	16 :18 :04,048	V	3,6	1,37	0,23		3,5	216,5	
		I	77,0	2,65		12,71	68,4	0,9	
03 ordinateurs + 03 onduleurs	16 :25 :55,285	V	3,5	1,37	0,22		3,4	217,1	
		I	69,3	2,39		10,63	56,7	1,1	
04 ordinateurs + 04 onduleurs	16 :36 :45,085	V	2,9	1,37	0,23		2,8	210,1	
		I	84,1	2,53		10,97	66,3	1,9	

Tableau III-3 Mesures prises pour des ordinateurs et des onduleurs.

Puissance Ordinateur	Puissance active(W)	Puissance réactive (VAR)	Puissance apparente (VA)	FP	DPF
onduleur	22	-28	36	0,614	0,7
ordinateur	103	-121	159	0,647	0,955
Ordinateur + onduleur	87	-117	129	0,674	0,999
Ordinateur à tube cathodique + onduleur	106	-117	158	0,672	1
02ordinateurs + 02onduleurs	153	-135	204	0,749	0,955
03 ordinateurs + 03 onduleurs	196	-152	248	0,79	0,973
04 ordinateurs + 04 onduleurs	295	-267	398	0,741	0,982

Tableau III-4 Mesures des puissances et facteurs de puissances pour des ordinateurs.

III.4.4 Interprétation des résultats

III.4.4.1 Onduleur seul

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la tension reste sinusoïdale avec un TDH faible de 3.5% et de valeur efficace de 214V.

Le courant est déformé avec un TDH élevé de 52.5% et de valeur efficace de 0.172 A.

Le spectre de tension est très pauvre en harmoniques tandis que celui de courant est riche en harmoniques (2, 3, 4, 5,...), et l'harmonique 3 est le plus important avec une valeur de 35% du fondamental.

La puissance active est de 22 W, la puissance apparente est de 36 VA et le facteur de puissance est très faible de 0.614.

III.4.4.2 Ordinateur à écran LCD sans onduleur

En exploitant les figures III.12, III.13, et les tableaux III.3, III.4.

Nous constatons que la tension reste sinusoïdale avec un TDH faible de 3.6% et de valeur efficace de 214.2 V.

Le courant est très déformé avec un TDH très élevé de 105% et de valeur efficace de 0.7 A.

Le spectre de tension est très pauvre en harmoniques tandis que celui de courant est riche en harmoniques (3, 5, 7, 9,...), et l'harmonique 3 est le plus important avec une valeur de 80% du fondamental.

La puissance active est de 103 W et une puissance apparente de 159 VA et un facteur de puissance très faible de 0.647.

III.4.4.3 Ordinateur à écran LCD alimenté via un onduleur

En exploitant les figures III.12, III.13, et les tableaux III.3, III.4.

La tension reste sinusoïdale avec un TDH faible de 2.9% et de valeur efficace de 214.9V.

Le courant est très déformé avec un TDH très élevé de 105.2% et de valeur efficace de 0.6A.

Le spectre de tension est très pauvre en harmoniques tandis que celui de courant riche en harmoniques (3, 5, 7, 9,...), et l'harmonique 3 est le plus important avec une valeur de 80% du fondamental.

La puissance active est de 87 W, la puissance apparente est de 129 VA et le facteur de puissance est très faible de 0.674.

III.4.4.4 Ordinateur à écran à tube cathodique alimenté via un onduleur

On a fait des mesures pour un ordinateur avec écran à tube cathodique avec son onduleur.

En exploitant les figures III.12, III.13, et les tableaux III.3, III.4.

La forme d'onde obtenue :

- tension sinusoïdale avec un TDH faible de 3.1% et de valeur efficace de 214.7 V.
- courant très déformé avec un TDH très élevé de 105.8% et de valeur efficace de 0.7 A.

Le spectre de tension est très pauvre en harmoniques tandis que celui de courant riche en harmoniques (3, 5, 7, 9,...), et l'harmonique 3 est le plus important avec une valeur de 60% du fondamental.

On a trouvé une puissance active de 106 W, une puissance apparente de 158 VA et un facteur de puissance très faible de 0.672.

III.4.4.5 Comparaison entre l'ordinateur à écran LCD et l'ordinateur à écran à tube cathodique

La première différence constatée est que l'écran à tube cathodique consomme plus d'énergie qu'un écran plat, vu que l'ordinateur à écran plat consomme 87 W et l'ordinateur avec écran à tube cathodique consomme 106 W, mais côté pollution harmoniques ils ont tous les deux les mêmes taux avec un TDH de tension faible (3%), et un TDH de courant élevé (105%), les spectres des courants diffèrent d'un appareil à l'autre à cause de la différence entre la technologie des deux .

III.4.4.6 Plusieurs ordinateurs alimentés via des onduleurs

On a fait des mesures pour plusieurs ordinateurs (de 1 à 4) alimentés via des onduleurs, en exploitant les figures III.12, III.13, et les tableaux III.3, III.4, nous constatons que les formes d'ondes obtenues :

- tension sinusoïdale avec un TDH faible (allant de 2.9% à 3.6%) et de valeur efficace pratiquement stable à 215 V.
- courant déformé avec un TDH élevé (allant de 69.3% à 107.4%) et de valeur efficace (allant de 0.6A à 1.9 A).

Le spectre de la tension est pauvre en harmoniques tandis que le spectre du courant est très riche en harmoniques, et pratiquement c'est le même spectre qui se répète pour tous les cas (de 1 à 4) avec la présence de l'harmonique 3 (150 Hz) et les harmoniques de rang impaires (2p+1) avec $\{p= 1,2,3 \dots n\}$, et l'harmonique 3 est le plus important (sa valeur diffère d'un cas à un autre allant de 50% à 80% du fondamental) ; on constate également que les valeurs crêtes de courant augmentent avec l'augmentation de nombre d'ordinateurs.

On a trouvé une puissance active (allant de 87 W à 295 W), et puissance apparente (allant de 138 VA à 398 VA) avec un facteur de puissance très faible 0.645 à 0.79.

III.4.5 Conclusion sur l'essai

Les ordinateurs n'ont pas d'impact sur la qualité de la tension du réseau du laboratoire (TDH de tension faible 2.9%), vu leurs faibles puissances et leurs nombre réduit.

Conclusion

L'analyse des résultats fait apparaître un taux d'harmoniques de courant non négligeable. Néanmoins, le taux de distorsion harmonique en tension conserve un taux très raisonnable (inférieure à 4%) pour les deux installations (lampes et ordinateurs), mais cela ne compromet pas le bon fonctionnement de ce même réseau électrique.

Les spectres de la tension obtenus dans les deux cas (lampes et ordinateurs) sont proches avec une domination de l'harmonique de rang 5 qui ne dépasse pas les 3 % dans les différents cas.

Cependant, le spectre du courant obtenu est très riche en harmoniques et son TDH dépasse les 70 % dans les deux cas (lampes fluo-compactes et ordinateurs), la forme du spectre diffère d'un cas à un autre, ce qui est très logique, car le spectre du courant dépend de la nature de charge et de sa constitution, vu que l'électronique utilisée dans les lampes fluo-compactes diffère complètement de celle utilisée dans les ordinateurs.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale

La détection de la présence de pollution harmonique sur un réseau d'alimentation est rendue possible grâce à la mesure des tensions harmoniques agissant sur la qualité de l'onde sinusoïdale de tension de l'installation électrique concernée.

La localisation des charges déformantes dans ce cas est obtenue grâce à la mesure des courants harmoniques circulant dans les différentes branches du réseau électrique permettant ainsi d'identifier les charges à l'origine de la génération d'harmoniques.

Différentes techniques et méthodes de mesure peuvent être utilisées pour évaluer la pollution harmonique sur un réseau industriel ou une installation électrique.

Il est tout d'abord nécessaire de restituer dans quel cadre et dans quel objectif vont s'effectuer les mesures, dans notre cas il s'agit d'une simple évaluation globale de l'état d'une installation électrique en vue de statuer sur sa qualité, avec un analyseur de spectre.

L'analyseur de spectre numérique C.A8230 qui est un appareil de mesure de pointe, en plus de sa précision il est très simple à utiliser, il nous a permis de faire des différentes mesures sur des différentes charges. C'est un outil très performant vu ses caractéristiques techniques, il peut mesurer plusieurs grandeurs à la fois à savoir les valeurs efficaces et crêtes de la tension et du courant, les différentes puissances (active, réactive, apparente), les TDH (courant et tension), les formes d'ondes (courant et tension), ainsi que le déphasage entre la tension et le courant et plusieurs autre mesures.

On peut aussi lire et exploiter ces mesures sur un ordinateur vu que l'appareil est équipé d'un logiciel et d'un câble de connexion qui peut être relié aisément à un PC.

En exploitant les résultats qu'on a trouvés on peut déduire que :

- La forme d'onde du courant absorbé par les ordinateurs et les lampes basse consommations est très déformée.
- Les spectres des courants sont différents pour les deux types de charges.
- En augmentant le nombre de lampes de 1 à 6 nous constatons que les TDH en courant restent pratiquement constant à cause du phénomène du foisonnement.
- En augmentant le nombre d'ordinateurs de 1 à 4 nous constatons que les TDH en courants varient sensiblement car les machines utilisés diffèrent par leurs puissances et leurs technologies.
- La forme de la tension du réseau reste pratiquement sinusoïdale dans tous les cas.

Conclusion générale

Donc on peut conclure que les ordinateurs et les lampes fluo-compactes sont des charges polluantes avec des TDH de courant très élevés, néanmoins leur impact sur la tension du réseau est négligeable vu leurs faibles puissances et leur nombre réduit.

En perspective nous souhaitons que ce travail sera poursuivi pour des installations plus importantes (centre de calcul de la faculté, la tour administrative ...etc.).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Chalah Samira** : «Analyse stochastique de la résultante de l'injection de courants harmoniques dans un réseau électrique», mémoire de magister, UMMTO , 2012.
- [2] **Vanya Ignatova** : «Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique : Application aux creux de tension et a la pollution harmonique», these de doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble 1, 2006.
- [3] **R.Calvas** : «**Les perturbations électriques**», cahier technique de Schneider Electric N°141, 2001.
- [4] **Gattal Boulaares** : « Méthodes d'analyse des perturbations électriques dans la qualité de l'énergie électrique en utilisant des nouvelles techniques pour l'application aux creux de tension», mémoire de magister, Université de Batna, 2012 .
- [5] **C.Collombet, J.M.Lupin Et J.Schonek** : «Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement» , cahier technique de Schneider Electric N°152 ,1999.
- [6] **H.Douar** :«Evaluation du coût des pertes générées pas les perturbations harmoniques dans les réseaux électriques» , mémoire de magister, Université M'hamed Bougara, Boumerdes,2006.
- [7] **Dj.Ould Abdeslam** :« Techniques neuromimétiques pour la commande dans les systèmes électriques : application au filtrage actif parallèle dans les réseaux électriques basse tension. ». Thèse de doctorat de l'école doctorale pluridisciplinaire Jean-Henri Lambert, 2005.
- [8] **B.Ketem, N.Mehenni** :« Application des onduleurs multi niveaux au filtrage actif des réseaux». Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, USTHB, 2005.
- [9] **M.A.E. Alali** :«Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension», thèse de doctorat université Louis Pasteur, Strasbourg I, 2002.
- [10] cours master II, Chapitre II, Principes de compensation des harmoniques.
- [11] <http://www.es-france.com/>.
- [12] **Thierry Deflandre, Philippe Mauras** :«Les harmoniques sur les réseaux électriques» , édition Eyrolles , 2000.
- [13] <http://siteelectrotechnique.free.fr/>.
- [14] <http://www.deltatechnique.com/>.

Résumé

Dans un réseau électrique, les harmoniques, les déséquilibres de courant et de tension, et les creux de tension ont des effets néfastes sur les équipements électriques.

Dans ce mémoire on a fait une étude expérimentale de la pollution harmonique dans un réseau électrique : cas des lampes fluo-compactes et ordinateurs

Dans notre travail on a mesurer les courants, tensions et les TDH pour différentes charges utilisées au laboratoire de réseaux électriques comme les ordinateurs et les lampes basse consommation à l'aide de l'analyseur de puissance et de qualité d'énergie CA8230 nouvellement réceptionné par le laboratoire.

On peut résumer l'ensemble des résultats qu'on a trouvés dans les points suivant :

- La forme d'onde du courant absorbé par les ordinateurs et les lampes basse consommations est très déformée.
- Les spectres des courants sont différents pour les deux types de charges.
- En augmentant le nombre de lampes de 1 à 6 nous constatons que les TDH en courant restent pratiquement constant à cause du phénomène du foisonnement.
- En augmentant le nombre d'ordinateurs de 1 à 4 nous constatons que les TDH en courants varient sensiblement car les machines utilisés diffèrent par leurs puissances et leurs technologies.
- La forme de la tension du réseau reste pratiquement sinusoïdale dans tous les cas.

Donc on peut conclure que les ordinateurs et les lampes fluo-compactes sont des charges polluantes avec des TDH de courant très élevés, néanmoins leur impact sur la tension du réseau est négligeable vu leurs faibles puissances et leur nombre réduit.

Mots clés : harmoniques, lampes fluo compactes, ordinateur, analyseur de spectre numérique, analyseur de spectre analogique, principe de mesure des harmoniques, TDH.