

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOULOU D MAAMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



Mémoire de fin d'études

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGEGNEUR D'ETAT EN
ELECTROTECHNIQUE

OPTION : RESEAUX ELECTRIQUES

Thème :

**Etude des charges non linéaires dans un réseau basse
tension**

Application : lampes basse consommation (LBC)

Proposé par :

M^r :H. HOUASSINE

Réalisé par :

M^{elle} : RADJA ZAHIA

M^{elle} : SI LAKHEL YAMINA

M^{elle} : ZOUTAT AZIZA

Promotion 2010/2011



Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : perturbations harmoniques dans les réseaux électriques	
Introduction	2
1. Qualité de l'énergie électrique	2
2. Les principales perturbations de la qualité d'énergie	3
2.1. La surtension	3
2.2. Creux de tension et coupures brèves	4
2.3. Déséquilibre de tension	5
2.4. Fluctuation de la tension	5
3. Définition des harmoniques	6
4. Les inters harmoniques et les infra harmoniques	7
4.1. Inter harmonique	7
4.2. Infra harmoniques	7
5. Origine des harmoniques.....	7
6. Les harmoniques polluant le réseau électrique	8
7. Influence des harmoniques sur les réseaux électriques	8
8. Le courant harmonique.....	8
8.1. Les principales sources du courant harmonique	8
9. Harmoniques de tension	9
9.1. Les principales sources de la tension harmonique	9
10. Grandeurs caractéristiques d'un signal déformé	
10.1. Le rang harmonique.....	9
10.2. Les rangs pairs et impairs.....	9
10.3. Spectre de fréquence.....	10
10.4. Décomposition en série de FOURIER.....	10
10.5. Taux de distorsion harmonique	
10.5.1. Taux de distorsion harmoniques en courant noter THD_i	11
10.5.2. Taux de distorsion harmonique en tension	11
10.5.3. Taux de distorsion pondéré	11
10.6. Facteur de crête	12
10.7. Facteur d'amplification où facteur de qualité.....	12
11. Expressions des puissances	
11.1. La puissance active.....	13
11.2. La puissance réactive	13
11.3. La Puissance apparente.....	13
11.4. La puissance déformante.....	13
11.5. Le facteur de puissance.....	13
12. Réglementation	
12.1. La norme CEI 61000-2-2	14
12.2. La norme CEI 61000-3-2	15
13. Effets des harmoniques	

13.1.	Les effets instantanés.....	16
13.2.	Les effets à long terme.....	16
14.	Méthodes et procédés possibles d'atténuation	
14.1.	Filtrage passif	16
14.1.1.	Inductance anti-harmonique.....	16
14.1.2.	Filtre résonant.....	17
14.1.3.	Filtre amorti	18
14.2.	Filtre actif.....	18
14.2.1.	Filtrage actif série.....	19
14.2.2.	Filtrage actif parallèle.....	19
14.3.	Combinaison hybride active et passive.....	20
14.3.1.	Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.....	20
14.3.2.	Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèle.....	21
14.3.3.	Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.....	21
	Conclusion.....	22

Chapitre II : Etude d'une charge non linéaire

	Introduction	23
1.	Définitions des charges linéaires et non linéaires	23
2.	Redresseur non commandé (à diode).....	23
2.1.	Redresseurs monophasés	
2.1.1.	Redresseur monophasé simple alternance.....	23
2.1.2.	Redresseurs monophasés bi alternance	
2.1.2.1.	Redresseur à pont de Graetz.....	25
2.1.2.2.	Redresseur à point milieu.....	26
2.2.	Redresseur triphasé	
2.2.1.	Redresseur triphasé simple alternance.....	26
2.2.2.	Redresseur triphasé double alternance.....	28
3.	Simulation d'un redresseur monophasé débite sur une charge RL.....	29
3.1.	Alimentation monophasée.....	29
3.2.	Alimentation triphasée équilibrée.....	30
4.	Présentation de la charge étudiée	
4.1.	Lampe Basse Consommation (L.B.C)	32
4.2.	Principe	32
4.3.	Avantages.....	33
4.4.	Inconvénients	33
5.	Simulation de la lampe L.B.C	34
5.1.	Alimentation monophasée.....	34
5.2.	Alimentation triphasée équilibrée	36
5.3.	Interprétation des résultats	38
	Conclusion	38

Chapitre III : Description du bon d'essai et résultats expérimentaux

Introduction.....	39
1. Description du banc d'essai.....	39
2. Présentation de l'appareil de mesure QUALISTAR C.A 8334	40
2.1. Caractéristiques Générales	
2.2. Dimensions et masse.....	41
2.3. Alimentations.....	41
2.4. Capteurs de courant.....	41
3. DataView	42
4. Résultats expérimentaux	43
4.1. Essai en monophasé.....	43
4.1.1. Essai d'une lampe.....	43
4.1.2. Essai de deux lampes.....	44
4.1.3. Essai de trois lampes	44
4.1.4. Essai de quatre lampes	45
4.1.5. Essai de cinq lampes	45
4.1.6. Essai de six lampes	45
4.2. Interprétation des résultats	46
4.3. Essai en triphasé	46
4.3.1. Essai d'une lampe dans chaque phase	47
4.3.2. Essai de deux lampes dans chaque phase	48
Conclusion.....	48

Chapitre IV : Filtrage passif des harmoniques

Introduction.....	49
1. Etude du filtre	
1.1. Fonction de transfert.....	49
1.2. Fréquence de coupure	49
2. Filtrage Passif	
2.1. Principe de fonctionnement	50
2.2. Conception des filtres passifs	50
2.3. Classification des filtres passifs.....	51
2.4. Types de filtres passifs	51
2.4.1. Filtre résonant	52
2.4.2. Filtre amorti	52
2.4.3. Circuits accordé	54
2.5. Calcul des filtres passifs	55
3. Détermination des paramètres du filtre	56
4. Application du filtre sur une charge non linéaire	57
5. Partie de simulation	

5.1. Résultats de simulation	
5.1.1. Charge sans filtre	57
5.1.2. Charge avec filtre	
5.1.2.1. Filtre résonant de rang 3.....	58
5.1.2.2. Filtre résonant de rang 5.....	58
5.1.2.3. Filtre résonant de rang 7	59
5.2. Interprétation des résultats	59
6. Partie Expérimentale	
6.1. Sans filtre	59
6.2. Avec filtre	60
6.3. Interprétation	60
Conclusion	60



Introduction générale

L'électricité avec ses formes (alternative ou continue) représente l'une des sources les plus importantes d'énergie utilisées dans plusieurs et différents usages domestiques ou industriels

L'énergie électrique est un facteur essentiel pour le développement et l'évolution des sociétés, que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie, ou sur le développement des activités industrielles

Ces dernières années, avec l'apparition d'éléments constitués à base des composants d'électronique de puissance, la tension s'est mise à se dégrader. Les appareils "non linéaires" se comportent comme des sources de courants harmoniques et engendrent sur les réseaux électriques des modifications de l'onde sinusoïdale de la tension variant, principalement, selon l'amplitude des courants déformés.

Le transport et l'utilisation de l'énergie électrique dans les réseaux industriels, s'accompagnent d'une déformation de la sinusoïde du courant et de la tension, cette déformation est due essentiellement à des perturbations électriques ou harmoniques, ces dernières sont plus fréquentes, du fait de la prolifération des charges non linéaires (convertisseurs, ordinateurs, lampes à basse consommation...etc.). Cette distorsion affecte la qualité d'énergie offerte par le fournisseur d'électricité et les performances des équipements raccordés au réseau électrique. Pour ces raisons, une connaissance des harmoniques et leurs effets est nécessaires.

L'objectif principal de notre travail, est l'étude de l'état harmonique, pour ce faire, nous avons réparties notre mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les harmoniques, dans lequel on a présentées : la définition des harmoniques, leurs origines, les caractéristiques d'un signal déformé et les valeurs caractérisant ce signal, les principales sources de courants et de tensions harmoniques, ainsi que les effets néfastes des harmoniques et les méthodes possibles d'atténuation de ces effets par des solutions de filtrage.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude d'une charge non linéaire, les redresseurs à diodes et les lampes à basse consommation (L.B.C), l'étude portera sur un diagnostic qualitatif et quantitatif des harmoniques générés par ces charges.

Afin de valider et mettre en évidence les résultats obtenus en simulation, une étude expérimentale est nécessaire, cette dernière a été étalée dans le troisième chapitre.

Après avoir mis en évidence l'existence des harmoniques dans le réseau alimentant des lampes fluorescentes, une étude théorique et expérimentale sur la méthode de compensation d'harmoniques (le filtrage passif) a été élaborer, ce dernier est exposé au quatrième chapitre.

On termine notre mémoire par une conclusion générale qui résume l'essentiel des résultats obtenus.



Chapitre I :

Perturbation harmoniques dans les réseaux électriques

Introduction

La pollution harmonique est un problème relativement récent. Elle affecte non seulement la propre installation ; mais aussi les consommateurs voisins.

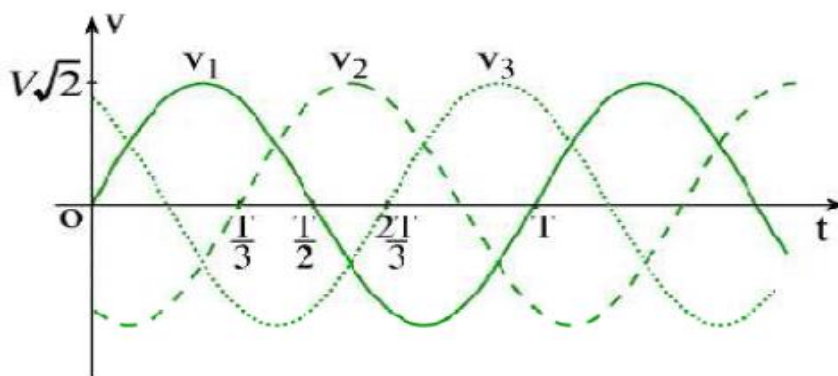
Une perturbation harmonique est définie comme une déformation de la forme d'onde d'un signal sinusoïdal pur. Sur le réseau électrique, les perturbations de la forme d'onde sont principalement dues à la présence de charges non linéaire.

Dans de nombreux cas, le courant consommé par les charges n'a plus une forme d'une sinusoïde pure et La distorsion en courant implique la distorsion de la tension.

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des perturbations électriques en se basant sur les perturbations du courant.

1. Qualité de l'énergie électrique

L'énergie électrique est généralement distribuée sous forme de trois tensions constituant un système triphasé équilibré. Un des paramètres de ce système est la forme d'onde qui doit être la plus proche possible de la sinusoïde.



Figure(I.1) : Système triphasé équilibré

Lorsqu'un système de charge triphasé équilibré est alimenté par un système de tension triphasé équilibré ;

$$\begin{cases} V(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t). \\ V(t) = V\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V(t) = V\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (\text{I.1})$$

Un système de courant triphasé équilibré y circule :

$$\begin{cases} I(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t). \\ I(t) = I\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ I(t) = I\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (\text{I.2})$$

2. Les principales perturbations de la qualité d'énergie

La qualité du réseau électrique peut être affectée en touchant les paramètres caractéristiques du système sinusoïdal triphasé.

L'altération de l'un ou de plusieurs paramètres engendre divers perturbations qui peuvent pénétrer dans les équipements sensibles par divers accès.

2.1. La surtension [1]

Toute tension qui dépasse la valeur de crête (amplitude maximale) de la tension de service est une surtension ; elle prend naissance suite à un défaut d'isolement entre phase et terre.

La norme EN50160 fixe les niveaux de surtensions selon le schéma de liaison à la terre de l'installation:

- Réseaux : neutre à la terre (raccordé directement ou avec une impédance) : la surtension ne devra pas dépasser $1,7 U_n$;
- Réseaux : neutre isolé ou résonant : la surtension ne devra pas dépasser $2 U_n$.
(U_n : tension nominale).

Les surtensions sont de deux natures [2]

- **Surtension temporaire** : Elle apparaît généralement lors d'un défaut sur le réseau de distribution publique ou dans une installation client et disparaît lors de l'élimination de ce défaut.
- **Surtension transitoire** : les surtensions de durée inférieure à 10ms sont appelées surtensions transitoires. Elles sont provoquées par des phénomènes d'origine atmosphérique (foudre) ou ; plus fréquemment ; par le fonctionnement d'équipements électriques.

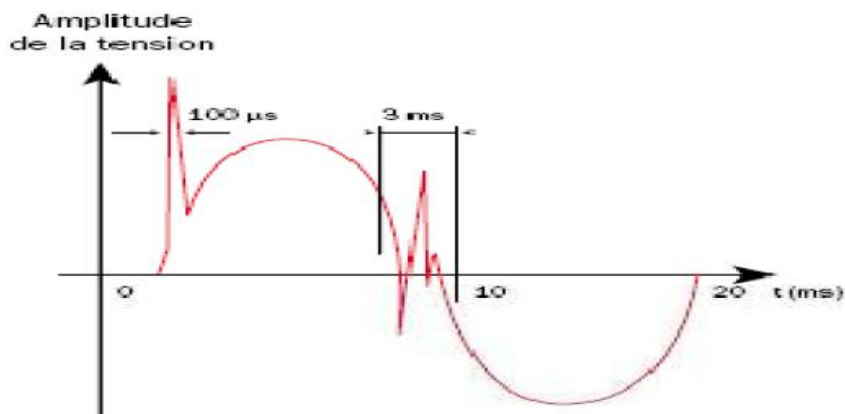


Figure (I.2) : Surtension transitoire

2.2. Creux de tension et coupures brèves [1], [2]

Un creux de tension est une chute brutale de l'amplitude de la tension. Il est caractérisé par :

- Sa profondeur (ΔU).
- Sa durée (Δt).

La norme EN50160 fixe la diminution de la tension à une valeur située entre 1 et 90 % de la tension nominale pendant une durée de 1/2 période à 50 Hz (soit 10ms jusqu'à une minute).

La mesure d'un creux de tension s'effectue par la détermination de la valeur efficace de la tension toutes les 1/2 périodes.

Une coupure brève est un cas particulier du creux de tension. Sa profondeur est supérieure à 90 % et elle est caractérisée uniquement par sa durée (inférieure à 3 minutes).

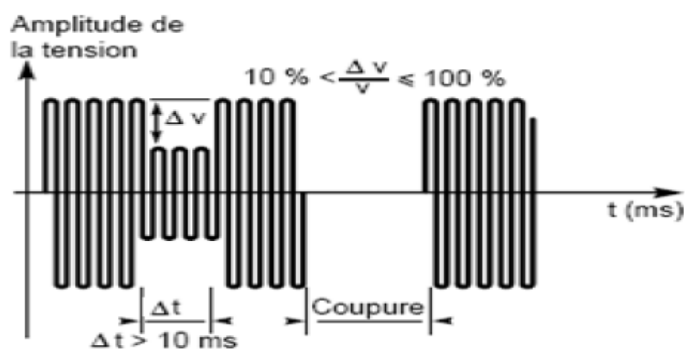


Figure (I.3) : Creux de tension et coupure brève

2.3. Déséquilibre de tension [1]

Le déséquilibre du système triphasé s'observe lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou déphasées de 120 degrés les unes par rapport aux autres.

Il peut être décomposé (selon Fortescue) en degré de déséquilibre inverse et degré de déséquilibre homopolaire :

- Le degré de déséquilibre inverse est le rapport entre la composante inverse du fondamental de la tension et sa composante directe

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \quad (\text{I.3})$$

- Le degré de déséquilibre homopolaire est le rapport entre la composante homopolaire du fondamental de la tension et sa composante directe :

$$\Delta U_0 = \frac{|U_{10}|}{|U_{1d}|} \quad (\text{I.4})$$

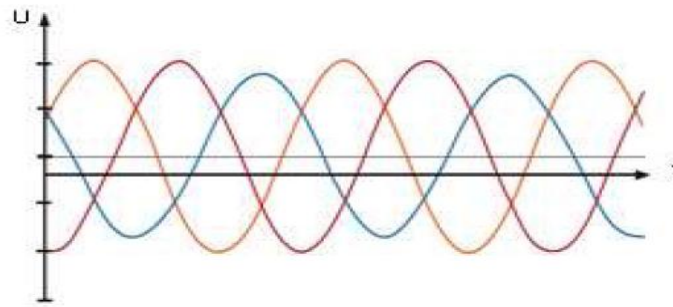
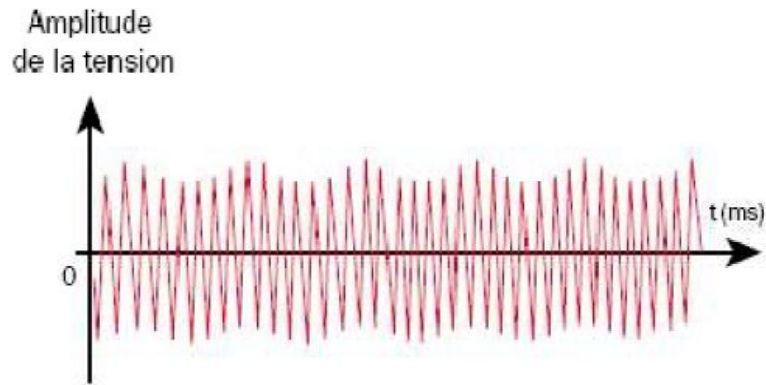


Figure (I.4) : Déséquilibre de tension

2.4. Fluctuation de la tension [1]

La fluctuation lente de la tension est une diminution de la valeur efficace de la tension de plus au moins de 10 %. La tension est modulée en amplitude par une enveloppe dont la fréquence est comprise entre 0,5 et 25 Hz.



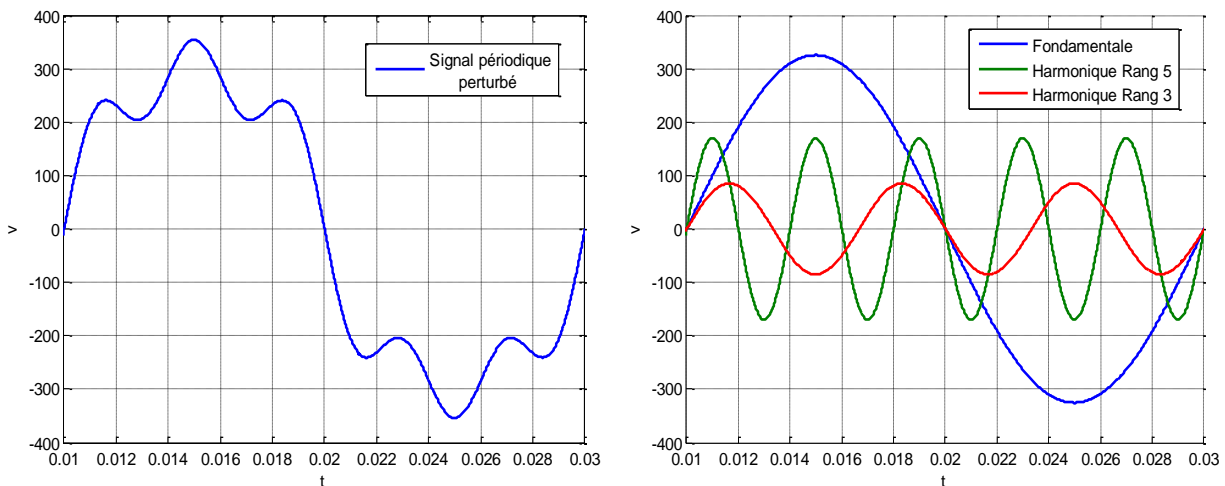
Figure(I.5) : Fluctuation de tension

Le phénomène est dû à la propagation sur les lignes du réseau d'appels de courant importants à la mise en service ou hors service d'appareil dont la puissance absorbée varie de manière rapide (les fours à arcs, les machines à souder, les moteurs à démarrages fréquents, ...).

3. Définition des harmoniques [2]

Un signal harmonique est une somme de sinusoïdes dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. Elles sont générées par des charges non linéaires.

On peut le décomposer (le signal harmonique) en une somme de signaux sinusoïdaux comprenant ; un signal sinusoïdal à la fréquence fondamentale (qui est le fondamental), et des signaux sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers du fondamental



Figure(I.6) : décomposition d'un signal périodique

4. Les inters harmoniques et les infra harmoniques [5]

4.1. Inter harmonique

Les inters harmoniques sont des signaux de fréquences non multiples de la fréquence fondamentale (donc situées entre les harmoniques).

4.2. Infra harmoniques

Ce sont des composants sinusoïdaux qui sont à des fréquences inférieures à celle du fondamental : 10HZ, 20HZ.

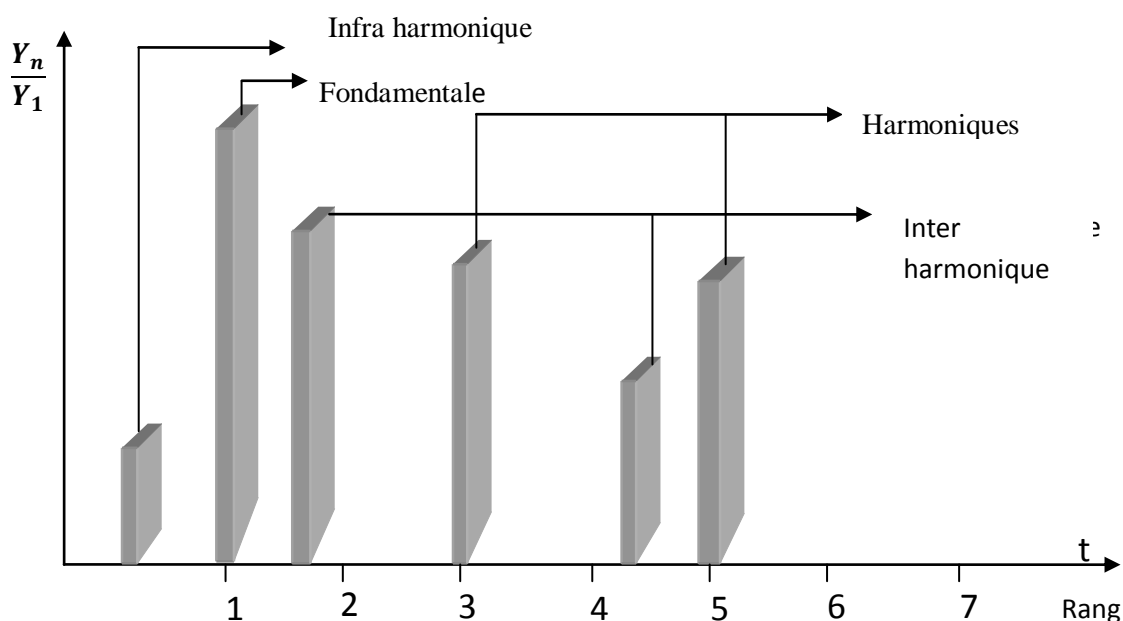


Figure (I.7): Représentation spectrale d'un signal périodique.

La présence d'inter-harmoniques et d'infra-harmoniques est due à des variations périodiques ou aléatoires de la puissance absorbée par certains récepteurs.

5. Origine des harmoniques [4]

Les harmoniques proviennent principalement des charges non linéaires dont la caractéristique est d'absorber un courant qui n'a pas la même forme que la tension.

La reproduction des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

6. Les harmoniques polluant le réseau électrique [1]

En pratique les harmoniques les plus gênants, sont les harmoniques de rangs impairs.

Au-delà du rang 50, les courants harmoniques sont négligeables et leur mesure n'est plus significative. Ainsi, une bonne précision de mesure est obtenue en considérant les harmoniques jusqu'au rang 30.

Les distributeurs d'énergie surveillent les harmoniques de rang 3, 5, 7, 11 et 13.

Aussi, la compensation des harmoniques jusqu'au rang 13 est impérative, une bonne compensation prendra également en compte les harmoniques jusqu'au rang 25.

7. Influence des harmoniques sur les réseaux électriques [5]

Lorsque l'amplitude d'une fréquence harmonique atteint une valeur significative, elle peut entraîner tant des dégâts immédiats où à long terme ; Les câbles et les transformateurs s'échauffent plus que de coutume, les condensateurs sont endommagés, la consommation électrique s'accroît, le bon fonctionnement des appareils sensibles devient incertain et les disjoncteurs de protection peuvent se mettre à fonctionner de manière excessive.

Des calculs ont montrés que ; du fait de la présence d'harmoniques, la durée de vie des machines monophasées est réduite de **32%**, celle des moteurs triphasés de **18%** et celle des transformateurs de **5%**.

8. Le courant harmonique [5]

Les courants harmoniques présents sur le réseau électrique sont causés par l'utilisation des charges non linéaires. Ces charges se comportent approximativement comme des sources d'harmoniques, l'amplitude de ces courants ne dépend que de la charge, elle est plus élevée si la charge est importante.

❖ Les principales sources du courant harmonique [6]

1. Les bobines saturées :

Elles ont une impédance qui varie en fonction de l'amplitude du courant qui les traverse. Ainsi, elles provoquent une déformation notable de ce courant.

2. L'éclairage :

L'éclairage public par les lampes à décharge où les tubes fluorescents est générateur de courants harmoniques.

3. Les convertisseurs statiques :

La présence de convertisseurs statiques (pont de graëtz) engendre un courant en créneaux.

4. Les appareils à arc électrique :

Ils regroupent les fours à arc à courant alternatif et les machines de soudures à arc à courant alternatif ou continu. Il contient plus d'inter harmoniques.

9. Harmoniques de tension [5]

Le raccordement de la charge non linéaire en un point du réseau revient à connecter une source de courant harmonique à une impédance, d'après la loi d'**Ohm** il ya apparition d'une tension harmonique.

❖ Les principales sources de la tension harmonique [6]

1. Les machines tournantes :

Elles génèrent des harmoniques de rang élevé et d'amplitude très faible, les petites machines synchrones sont génératrices de tension harmonique de rang 3.

2. Les alternateurs :

Le contenu harmonique de la tension générée par les alternateurs est lié à la qualité du bobinage et des pièces polaires. Le taux de distorsion harmonique en tension est généralement inférieur à 5% pour le fonctionnement à vide et inférieur à 1% pour le fonctionnement en charge.

3. Les transformateurs :

Ils peuvent être générateurs de tension harmonique lorsqu' ils fonctionnent en régime saturé. Sur les réseaux ; le taux de distorsion harmonique en tension dû à ces appareils reste toujours inférieur à 1%.

10. Grandeurs caractéristiques d'un signal déformé

10.1. Le rang harmonique [1]

Chaque composant est caractérisé par son rang. Le rang harmonique h représente le rapport entre la fréquence harmonique et celle du fondamental :

$$h = \frac{f_h}{f_1} \quad (I.5)$$

10.2. Les rangs pairs et impairs [3]

Les harmoniques se distinguent par leur rang de type pair et impair.

Les harmoniques de rang pair (2, 4, 6, 8...), très souvent négligeables en milieu industriel, s'annulent en raison de la symétrie du signal ; et ils n'existent qu'en présence d'un composant continu.

Par contre, les harmoniques de rang impair (3, 5, 7, 9...) sont fréquemment rencontrés sur le réseau électrique.

10.3. Spectre de fréquence [1]

C'est la représentation graphique des amplitudes des harmoniques en fonction de leur rang.

En général la valeur de chaque harmonique est exprimée par son taux individuel (en pourcentage du fondamental).

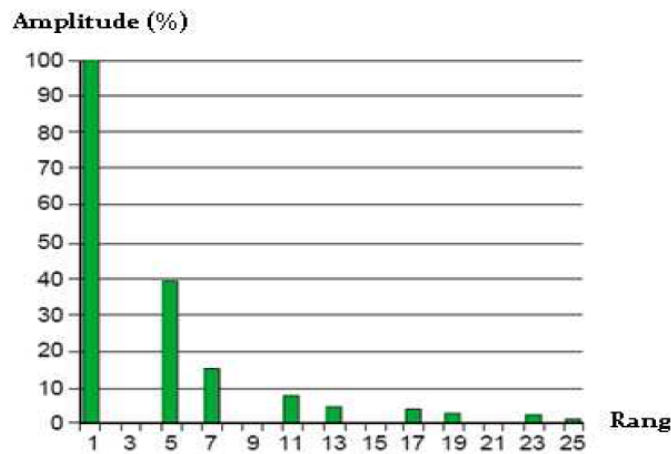


Figure (I.8) : Spectre d'amplitude harmonique

10.4. Décomposition en série de FOURIER [5]

La théorie de FOURIER indique que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être décomposable. La formule correspondant à la décomposition harmonique d'une fonction $f(t)$ de période T et de fréquence $f = \frac{1}{T}$ et de pulsation $\omega = 2\pi f$ est la suivante :

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} [a_h \cos(h \omega_0 t) + b_h \sin(h \omega_0 t)] \quad (\text{I.6})$$

$$\text{Où : } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{I.7})$$

$$\text{Sa valeur moyenne : } f_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (\text{I.8})$$

Sa valeur efficace : $f_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$ (I.9)

Pour $h \geq 1$
$$\begin{cases} a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(h\omega_0 t) dt. \\ b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(h\omega_0 t) dt. \end{cases}$$
 (I.10)

Nous pouvons simplifier (I.6) comme suite :

$$f(t) = C_0 + \sum_{h=1}^{\infty} C_h \sin(h\omega_0 t + \varphi_h) \quad (I.11)$$

Avec :
$$\begin{cases} C_0 = \frac{a_0}{2} \\ C_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \\ \varphi_h = \tan^{-1} \left(\frac{a_h}{b_h} \right) \end{cases}$$
 (I.12)

10.5. Taux de distorsion harmonique : [5]

Le taux de distorsion est un paramètre qui définit la déformation de la grandeur sinusoïdale

10.5.1. Taux de distorsion harmoniques en courant noter THD_i

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2} \quad (I.13)$$

10.5.2. Taux de distorsion harmonique en tension

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{V_h}{V_1} \right)^2} \quad (I.14)$$

10.5.3. Taux de distorsion pondéré [5]

Afin de tenir compte de la spécification de certains types de matériels, tels que les condensateurs, les inductances ou les moteurs, des taux de distorsion pondérés en tension D_ω sont définis de la manière suivante

1. Pour les condensateurs :

$$D_{\omega c} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} h^2 U_h^2} \quad (I.15)$$

Avec : $u_h = \frac{U_h}{U_1}$ (I.16)

Si I_c est le courant circulant dans le condensateur ; I_{c1} correspond au fondamental alors:

$$I_c = I_{c1} \sqrt{1 + D_{\omega c}^2} \quad (\text{I.17})$$

2. Pour les inductances :

$$D_{\omega L} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} \frac{U_h^2}{h^2}} \quad (\text{I.18})$$

I_L Est le courant circulant dans l'inductance ; I_{L1} correspond au fondamental donc :

$$I_L = I_{L1} \sqrt{1 + D_{\omega c}^2} \quad (\text{I.19})$$

3. Pour les moteurs :

$$D_{\omega M} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=13} \frac{U_h^2}{h}} \quad (\text{I.20})$$

10.6. Facteur de crête [7]

Le facteur de crête est défini par le rapport entre la valeur de crête d'un signal et sa valeur efficace. Il caractérise la surtension ou la surintensité instantanée maximale subie par un appareil.

$$F_c = \frac{\text{valeur maximale}}{\text{valeur efficace}} \quad (\text{I.21})$$

$F_c > 6$: Pour les ondes très déformées.

$$\text{Pour une tension sinusoïdale : } F_c = \frac{\sqrt{2}V_{eff}}{V_{eff}} = \sqrt{2} \quad (\text{I.22})$$

10.7. Facteur d'amplification ou facteur de qualité [5]

Le facteur d'amplification est utilisé pour évaluer l'effet d'une injection harmonique locale sur un réseau, il permet de calculer la tension harmonique et le courant harmonique dans les condensateurs et les transformateurs à la résonance.

Pour un récepteur (R, L) relié à un réseau de puissance de court circuit S_{CC} et compensé par une batterie de condensateur de puissance Q_C provoquant une résonance.

Son expression approchée est :

$$F \approx \frac{\sqrt{Q_C S_{CC}}}{P} \approx \frac{R}{L\omega} \quad (\text{I.23})$$

11. Expressions des puissances

11.1. La puissance active [1]

La puissance active P d'un signal comportant des harmoniques est la somme des puissances actives dues aux tensions et courants du même rang.

La décomposition de la tension et du courant en leurs composantes harmoniques nous donne :

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos \varphi_h \quad (\text{I.24})$$

φ_h : Étant le déphasage entre la tension et le courant de l'harmonique de rang h .

11.2. La puissance réactive [1]

La puissance réactive est définie pour les régimes purement sinusoïdaux ; elle n'a pas de sens pour un signal non sinusoïdal. C'est-à-dire qu'elle n'est définie que pour le fondamental, soit :

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (\text{I.25})$$

11.3. La Puissance apparente [1]

Elle est donnée par la formule suivante :

$$S = U_{eff} V_{eff} \quad (\text{I.26})$$

11.4. La puissance déformante [1]

En présence d'harmoniques dans un réseau électrique, l'expression du carré de la puissance apparente ($S^2 = P^2 + Q^2$) n'est plus valide ; dans ce cas une autre puissance apparaît c'est la puissance déformante.

Elle est due au contenu harmonique dans le réseau donc l'expression du module de la puissance apparente est :

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (\text{I.27})$$

$$\text{D'où : } D^2 = S^2 - P^2 - Q^2 \quad (\text{I.28})$$

$$\text{Alors : } D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (\text{I.29})$$

11.5. Le facteur de puissance [2]

C'est le rapport entre la puissance active P d'un signal et sa la puissance apparente S aux bornes de la charge.

$$F_P = \frac{P}{S} \quad (\text{I.30})$$

En présence d'harmoniques :

$$F_P = \frac{I_1}{I_{eff}} \cos \varphi = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1+THD_g^2}} \quad (\text{I.31})$$

$$\text{Avec : } I_{eff} = I_1 \sqrt{1+THD_g^2} \quad (\text{I.32})$$

12. Réglementation : [5]

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 les 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:

- **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.1. Cette norme protège les équipements raccordés sur un réseau de basse tension déformée.

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+1.3×25/h				

Tableau I.1 : Niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques individuelles sur les réseaux publics basse tension (norme CEI 61000-2-2). [8]

- **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		Rangs impairs	
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) [8]

Les normes citées sont obligatoires mais reste 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 THD à 1.6%.

13. Effets des harmoniques :

Les harmoniques circulant dans les réseaux détériorent la qualité de l'énergie et sont ainsi l'origine de nombreuses nocivités.

On distingue deux types d'effets des harmoniques

13.1. Les effets instantanés :

Ce sont les effets immédiats, ils se manifestent en même temps que l'apparition des harmoniques.

- Réduction du facteur de puissance (augmentation de l'énergie réactive donc gaspillage d'énergie).
- Augmentation des pertes par effet Joule (accroissement du courant efficace).
- Perturbation des réseaux de télécommunication.
- Dysfonctionnement des appareils électroniques (altération du signal de sortie, dégradation de la qualité d'image des écrans des micro-ordinateurs et de téléviseurs).
- Dégradation de la classe de précision des appareils de mesures.
- Provocation de phénomène de résonance et d'anti résonance.
- Déclenchement intempestif des disjoncteurs.

13.2. Les effets différés (à long terme)

Ce sont des effets qui apparaissent suite à une exposition prolongée au phénomène :

- Vieillissement accéléré des composants et des isolants par échauffement (l'impact dépend de la constante thermique de chaque élément).
- Raccourcissement de la longévité des appareils (usure des machines tournantes sous l'effet des couples pulsatoires, par exemple).
- Augmentation de l'entretien des équipements et de la machinerie.

14. Méthodes et procédés possibles d'atténuation

Il existe plusieurs méthodes pour protéger les installations industrielles et les réseaux électriques vis-à-vis de la pollution harmonique :

On réalise un filtrage des composants harmoniques, qui consiste à filtrer les courants ou les tensions harmoniques.

14.1. Filtrage passif :

Le principe d'un filtre passif est de modifier localement l'impédance du réseau de façon à réduire les courants harmoniques et éliminer les tensions harmoniques là où c'est nécessaire.

On associe des éléments capacitifs et inductifs de manière à obtenir une résonance série accordée sur une fréquence choisie.

13.1.1. Inductance anti-harmonique

Cette solution consiste à installer une inductance en série avec les condensateurs de compensation sur chaque branche monophasée.

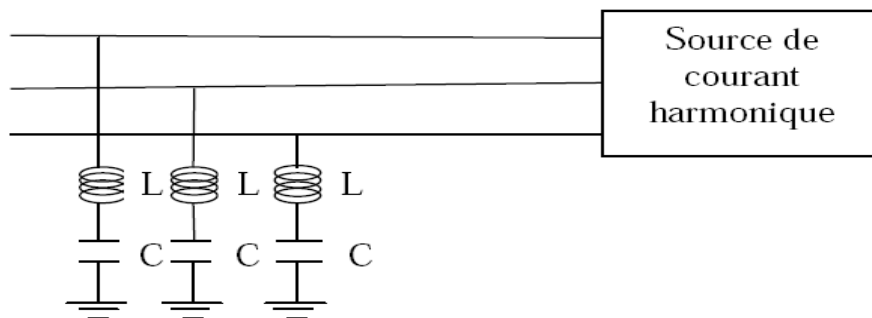


Figure (I.9) : Raccordement d'une impédance anti-harmonique.

Avec :

L : Inductance anti-harmonique.

C : Condensateur anti-harmonique.

L'objectif essentiel de ce dispositif est de protéger les batteries des condensateurs d'une surintensité due aux harmoniques. Et en plus, il réduit les tensions harmoniques aux bornes de ces condensateurs. Il permet aussi de réduire les valeurs d'impédance du réseau.

13.1.2. Filtre résonant :

Le filtre résonant a pour but de présenter une impédance très faible au passage d'un courant harmonique à un rang déterminé, il est constitué d'un ensemble de condensateurs et d'inductances anti-harmoniques.

La figure suivante représente le schéma monophasé équivalent de l'installation d'un filtre résonant en aval d'un transformateur :

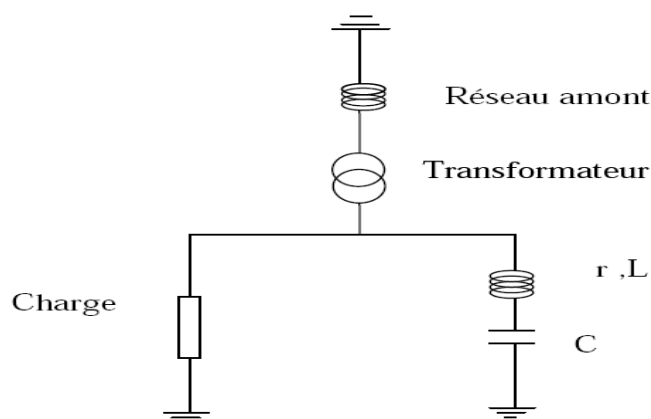


Figure (I.10) : Schéma monophasé équivalent de l'installation d'un filtre résonant.

La fréquence de résonance du filtre est donnée par : $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (I.33)

f : Fréquence de résonance [Hz].

L : Inductance [H].

C : Capacité [F].

13.1.3. Filtre amorti :

Un filtre amorti se compose d'une capacité en série avec un ensemble constitué de la mise en parallèle d'une inductance et d'une résistance appelée résistance d'amortissement. On l'utilise souvent pour filtrer simultanément les plus hautes fréquences du spectre et non pas une fréquence particulière.

La figure suivante représente le schéma monophasé équivalent de l'installation d'un filtre amorti.

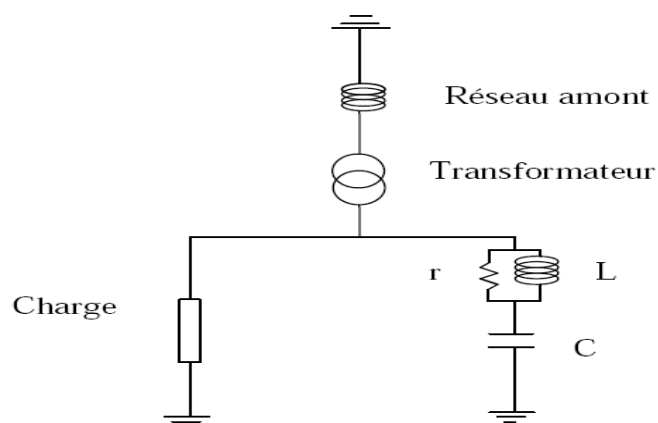


Figure (I.11) : Schéma monophasé équivalent de l'installation d'un filtre amorti.

14.2. Filtre actif :

Le filtre actif est un convertisseur qui élimine les perturbations harmoniques de même amplitude que celles générées par le processus industriel, mais en opposition de phase.

Il s'agit d'une solution qui n'est pas applicable qu'en basse tension pour des installations industrielles de faible puissance.

Il est composé généralement de quatre parties principales. La figure ci-dessous donne un schéma simplifié de ce filtre :

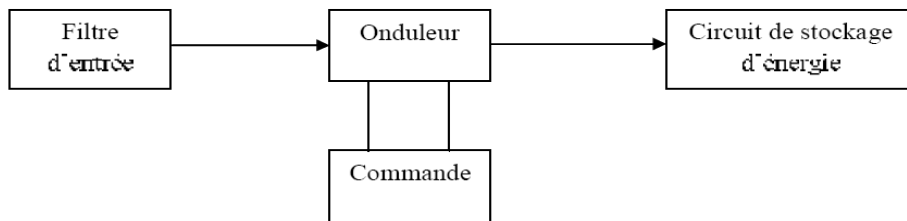


Figure (I.12) : Structure générale d'un filtre actif

Le filtre actif est connecté en série ou en parallèle suivant qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques.

13.2.1. Filtrage actif série :

Le filtre actif série engendre des tensions harmoniques dont la somme avec la tension du réseau donne une onde sinusoïdale.

Il est destiné à protéger les installations sensibles aux perturbations provenant du réseau telles que les harmoniques en tension, les surtensions ...etc.

En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge.

La figure qui suit montre la position du filtre série dans un réseau quelconque :

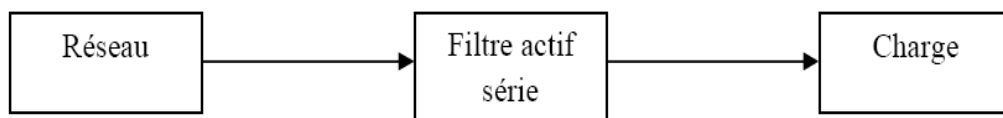


Figure (I.13) : Schéma du principe d'un filtre actif série

13.2.2. Filtrage actif parallèle :

Le filtrage actif parallèle injecte dans les réseaux les courants harmoniques consommés par la charge de telle sorte que le générateur ne fournit plus que le courant fondamental.

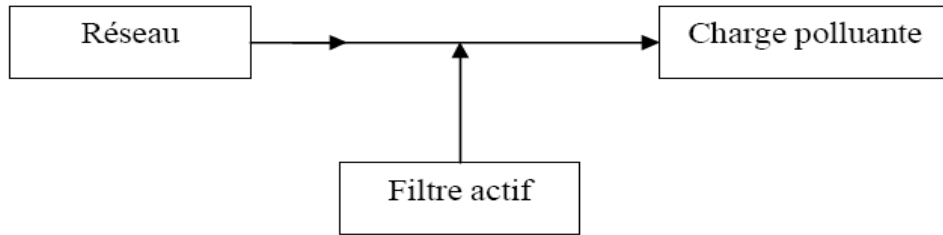


Figure (I.14) : principe d'un filtre actif parallèle

13.3. Combinaison hybride active et passive :

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.

❖ Plusieurs configurations ont été présentées dans la littérature, les plus étudiées sont

13.3.1. Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles

Le rôle du filtre actif série dans ce cas est d'empêcher les courants harmoniques de circuler vers le réseau et de les obliger à passer par les filtres passifs raccordés à leurs fréquences comme le montre la figure ci contre :

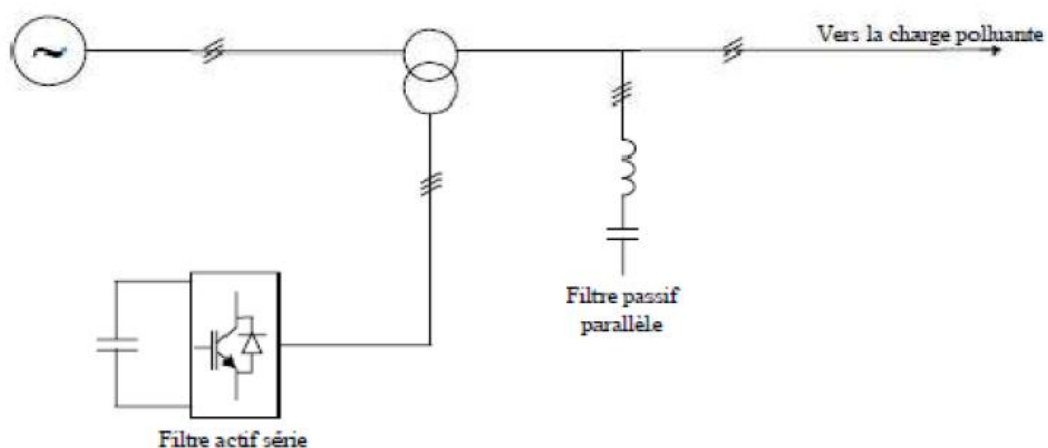


Figure (I.15) : Filtre actif série et filtre passif parallèle

13.3.2. Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles :

Le principe de fonctionnement de cette configuration, est le même que la précédente avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du **filtre actif série** car le courant qui le traverse est plus faible. De plus, ce dernier est à l'abri d'un éventuel court circuit de la charge.

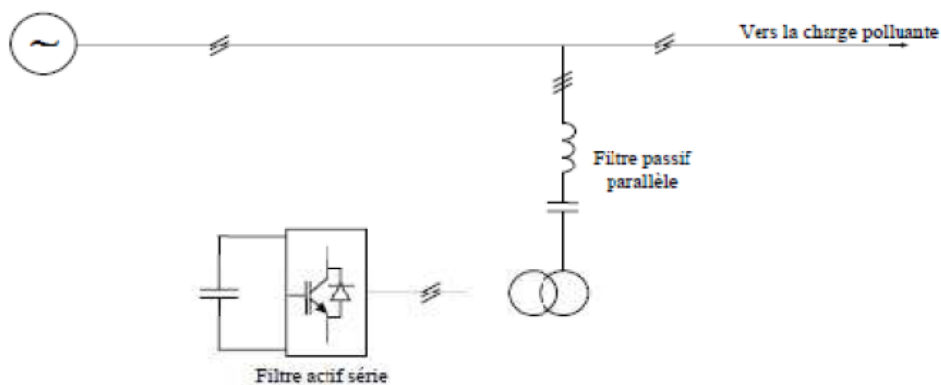


Figure (I.16) Filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle

13.3.3. Le filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle

Le rôle du **filtre actif parallèle** dans cette configuration, est la compensation des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante.

Le filtre passif accordé sur une fréquence élevée, élimine les harmoniques hautes fréquences y compris ceux créés par le **filtre actif parallèle**.

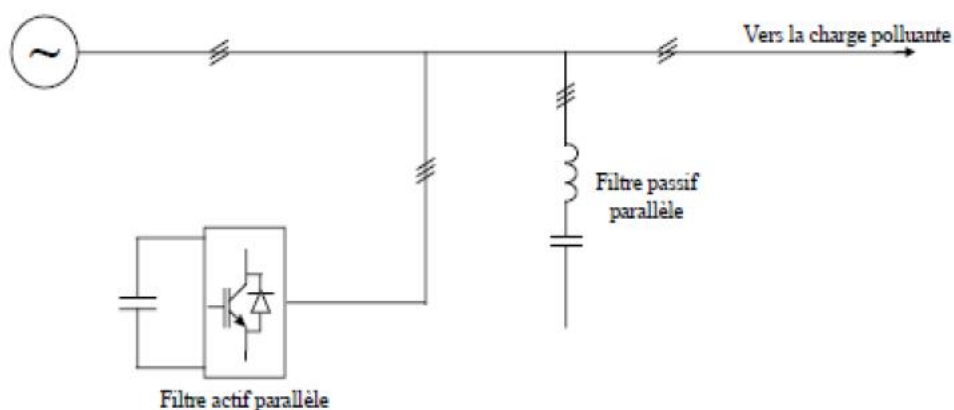


Figure (I.17) : Filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes perturbations qui affectent le réseau électrique, ainsi que leurs origines et leurs effets sur ce dernier ou sur les charges qui y sont connectées. Pour une meilleure prise en charge de ces perturbations, une connaissance des conditions d'exploitation du réseau est nécessaire, d'où l'intérêt d'une étude expérimentale des charges polluantes.



Chapitre II :

Etude d'une charge non linéaire

Introduction :

Dans ce chapitre nous passons à l'étude d'une charge non linéaire et un rappel sur les redresseurs monophasés (simples alternances, doubles alternances), les redresseurs triphasés en pont non commandé (simples alternances, doubles alternances) comme une charge polluante qui perturbe le réseau électrique ainsi que la Simulation d'un redresseur monophasé débitant sur une charge RL, en fin on passe à la présentation de la charge polluante étudiée (lampe basse consommation).

1. Définitions [6]

Une charge est dite **linéaire** si ; alimentée par une tension sinusoïdale, elle consomme un courant sinusoïdal. Cependant, le courant et la tension peuvent être déphasés.

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

2. Redresseur non commandé (à diode) [13]

Les redresseurs sont des convertisseurs de l'électronique de puissance, destinés à produire des tensions ou des courants continus, à partir d'une source alternative de tension ou de courant, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

La diode est un composant électronique modélisé par un interrupteur ; fermé quand le potentiel de l'anode (zone P) est supérieur au potentiel de la cathode (zone N), ouvert dans le cas contraire, elle ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Cette caractéristique est largement exploitée dans les circuits de redressement pour obtenir un courant continu à partir d'une tension alternative, ainsi ces dispositifs ne permettent pas de régler la valeur de la tension de sortie (redresseur non commandé)

Les circuits de redressement sont classés en deux grandes catégories:

2.1. Redresseurs monophasés

2.1.1. Redresseur monophasé simple alternance

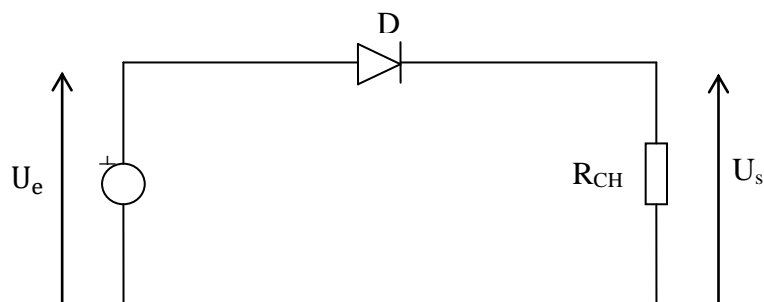


Figure II.1: redresseur monophasé simple alternance.

$$U_e = U_{\max} \sin \omega t$$

- **Courbes obtenues :**

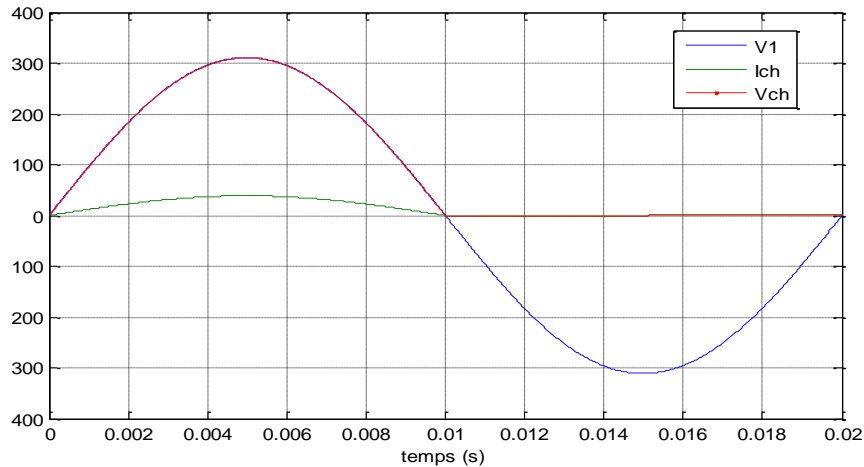


Figure II.2 : signal d'un redresseur simple alternance

- **Grandeurs caractéristiques :**

$$U_{S \max} = U_{e \max} \quad (\text{II.1})$$

$$U_{S \text{ moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} U_{S \max} \cos \theta \, d\theta = \frac{U_{S \max}}{2\pi} [\sin \theta]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\text{D'où : } U_{S \text{ moy}} = \frac{U_{S \max}}{\pi} \quad (\text{II.2})$$

$$U_{S \text{ eff}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} U_{S \max}^2 \cos^2 \theta \, d\theta = \frac{U_{S \max}^2}{4\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (1 + \cos 2\theta) \, d\theta$$

$$\implies : U_{S \text{ eff}}^2 = \frac{U_{S \max}^2}{4\pi} \left[\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\text{D'où : } U_{S \text{ eff}} = \frac{U_{S \max}}{2} \quad (\text{II.3})$$

2.1.2. Redresseurs monophasés bi alternance

Il existe deux montages de base: La structure à pont de Graetz et la structure à point milieu

Redresseur à pont de Graetz

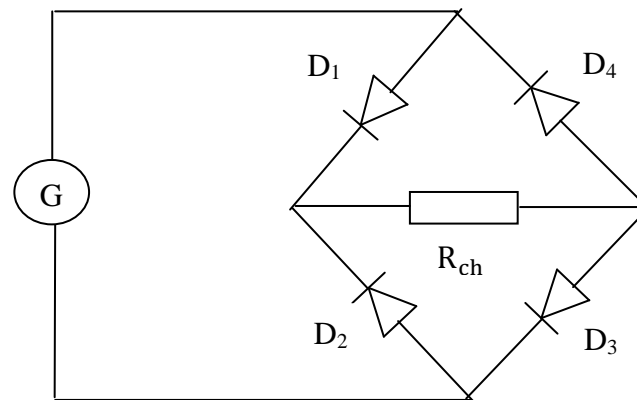


Figure II.3: Redresseur à pont de Graetz.

- **Courbes obtenues :**

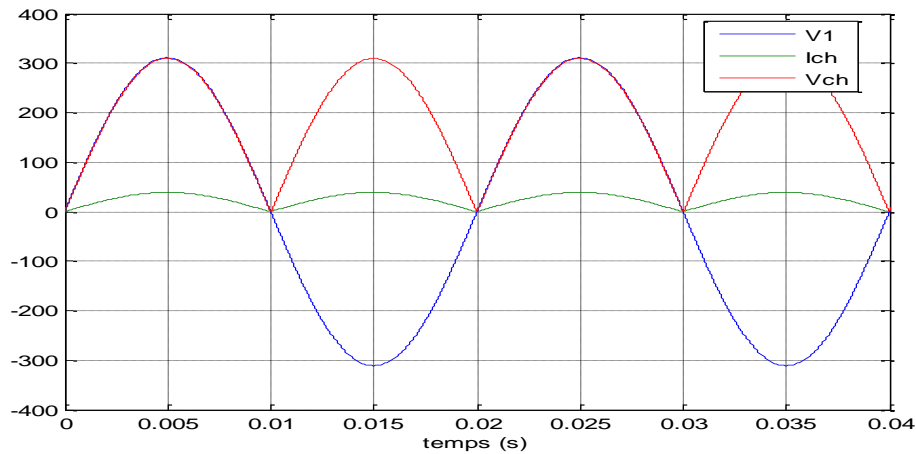


Figure II.4: signal d'un redresseur à pont de Graetz.

- **Grandeurs caractéristiques :**

Similairement à la réponse du redresseur monophasé simple alternance :

$$U_{s \max} = U_{e \max} \quad (\text{II.4})$$

$$U_{s \min} = 0 \quad (\text{II.5})$$

$$U_{s \text{ moy}} = \frac{2 U_{s \max}}{\pi} \quad (\text{II.6})$$

$$U_{s \text{ eff}} = \frac{U_{s \max}}{\sqrt{2}} \quad (\text{II.7})$$

Redresseur à point milieu

Les résultats et courbes obtenus sont strictement identiques au montage précédent.

Soit : $U_e = U_m \sin \omega t$

$$U_e' = -U_e$$

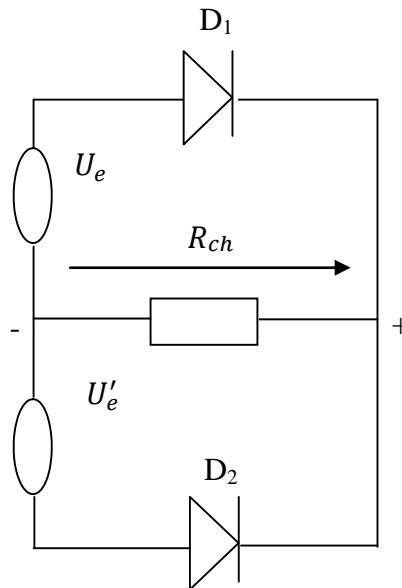


Figure II.5: Redresseur à point milieu.

2.2. Redresseur triphasé

2.2.1. Redresseur triphasé simple alternance [9]

Le montage redresse les courants entre les phases et le neutre, comme c'est montré dans la figure (II.6)

Les tensions simples des réseaux triphasés équilibrés directs sont :

$$V_{1N} = V_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (\text{II.8})$$

$$V_{2N} = V_m \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{-2\pi}{3}\right) \quad (\text{II.9})$$

$$V_{3N} = V_m \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{-4\pi}{3}\right) \quad (\text{II.10})$$

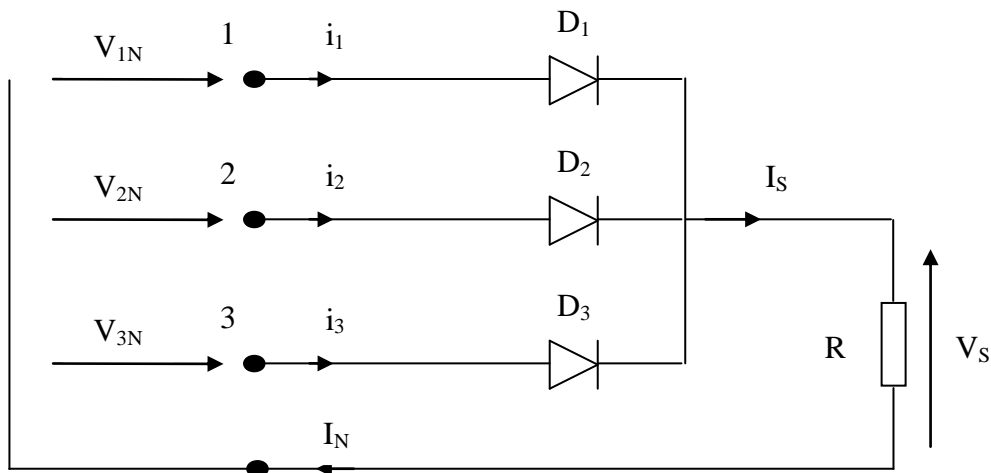


Figure II.6: redresseur triphasé simple alternance.

• Courbes obtenues :

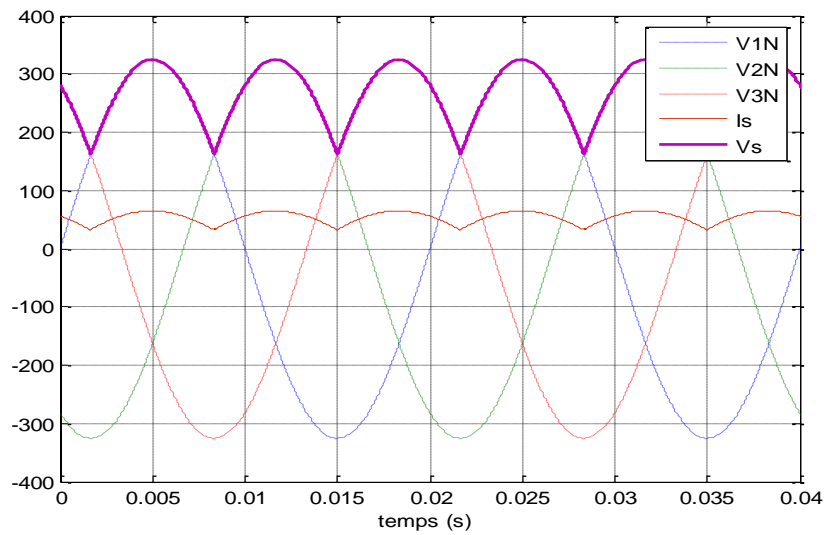


Figure II.7: signal d'un redresseur triphasé simple alternance.

• Grandeurs caractéristiques :

$$V_{S \text{ moy}} = \frac{3}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} V_{S \text{ max}} \cos \theta \, d\theta$$

$$D'où : V_{S \text{ moy}} = \frac{3\sqrt{3}V_{S \text{ max}}}{2\pi} \tag{II.11}$$

$$V_{S \text{ eff}}^2 = \frac{3}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} V_{S \text{ max}}^2 \cos^2 \theta \, d\theta$$

$$D'où : V_{S\text{ eff}} = V_{S\text{ max}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}} \tag{II.12}$$

2.2.2. Redresseur triphasé double alternance [9]

Le pont triphasé à diodes alimenté par un système de tensions sinusoïdales triphasées, est représenté par la figure (II.8)

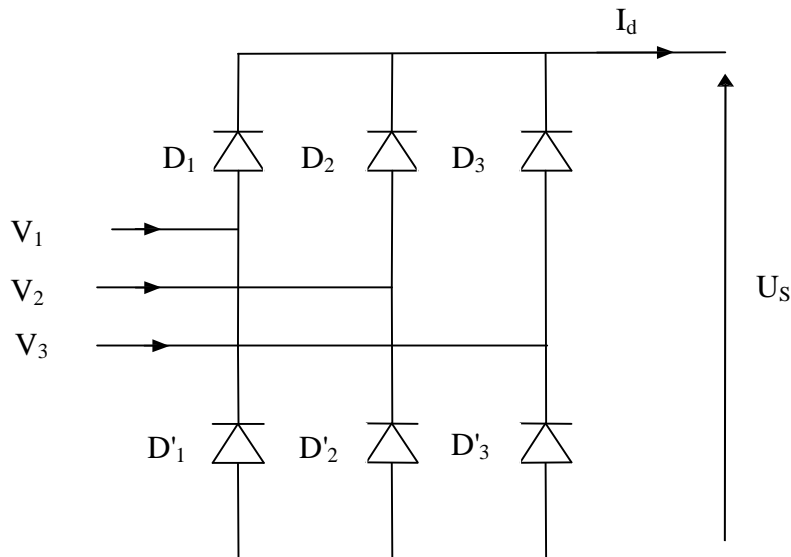


Figure II.8: Redresseur triphasé double alternance en pont.

Deux diodes d'un même bras ne peuvent conduire simultanément ; Lorsque D_1 conduit l'une des deux diodes D'_2 et D'_3 conduit également. Il en vient que D_1 conduit lorsque V_1 est supérieur à V_2 et V_3

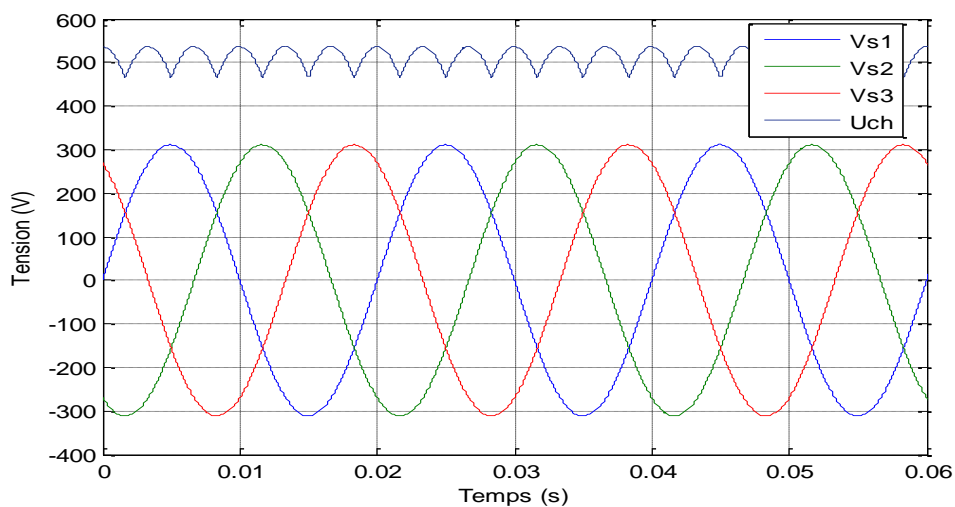


Figure II.9: Signal d'un redresseur triphasé double alternance en pont

- **Grandeurs caractéristiques :**

$$U_{S \text{ moy}} = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} U_{S \text{ max}} \cos \theta \, d\theta$$

$$\text{D'où : } U_{S \text{ moy}} = \frac{3U_{S \text{ max}}}{\pi} \quad (\text{II.13})$$

$$U_{S \text{ eff}}^2 = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} U_{S \text{ max}}^2 \cos^2 \theta \, d\theta$$

$$\text{D'où : } U_{S \text{ eff}} = U_{S \text{ max}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}} \quad (\text{II.14})$$

3. Simulation d'un redresseur monophasé débite sur une charge RL

La simulation est effectuée sur le montage suivant, avec $R = 100\Omega$, $L = 10\text{mH}$.

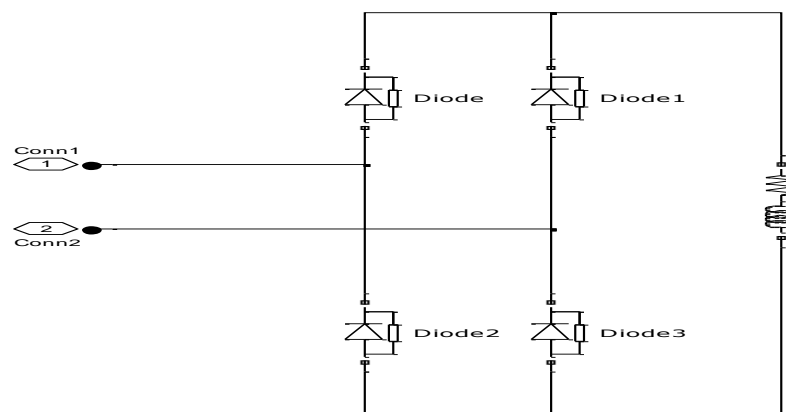


Figure II.10: redresseur monophasé avec charge RL.

3.1. Alimentation monophasée

Les figures (II.11), (II.12) représentent la tension et le courant de source avec leurs spectres d'harmoniques respectifs.

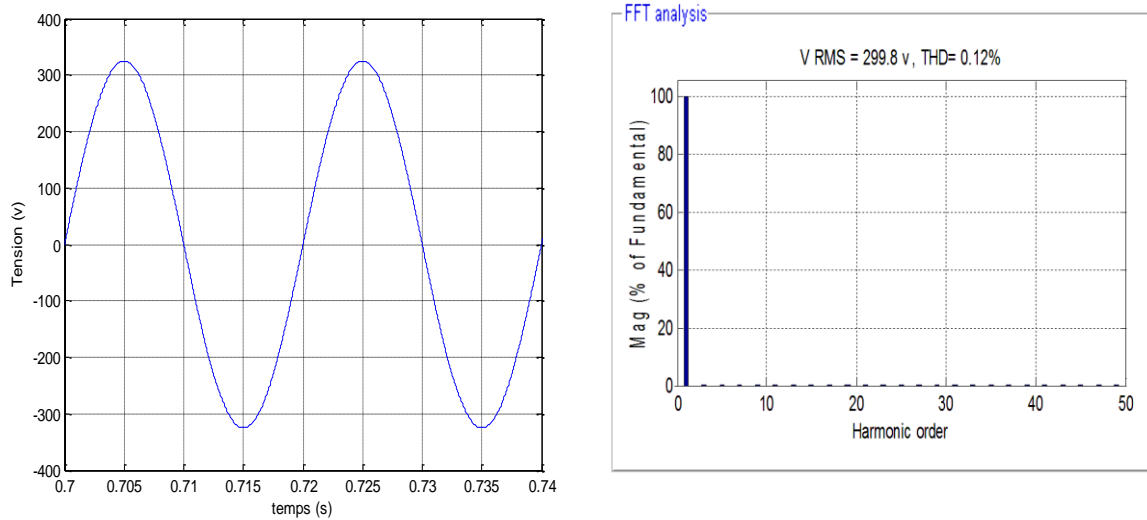


Figure II.11: Tension de source V_s et spectre d'harmoniques.

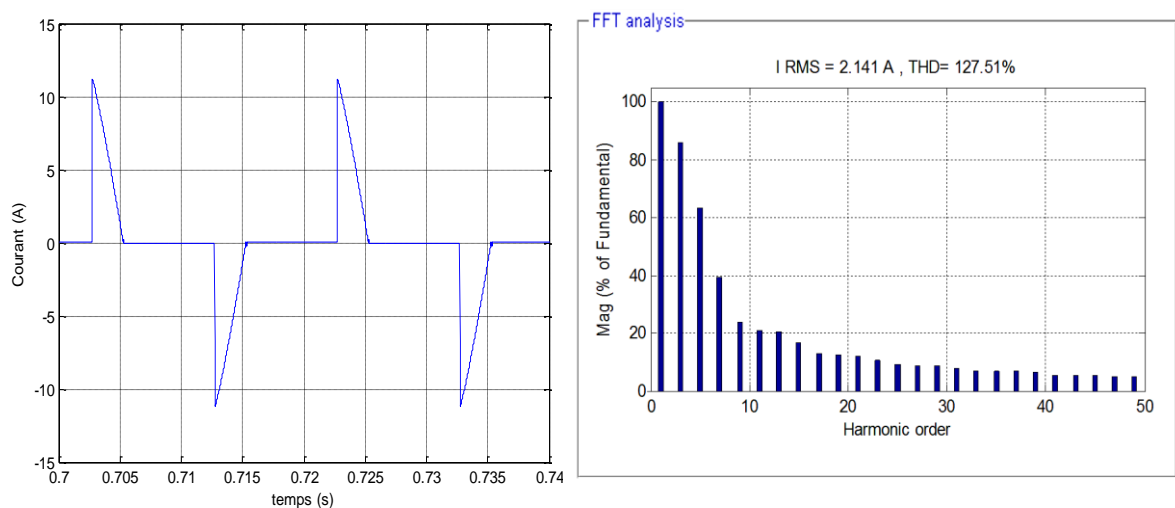


Figure II.12: Courant de source I_s et spectre d'harmoniques.

D'après l'analyse spectrale du signal de courant de charge, on constate que le THD global est au voisinage de 127.51%, cette valeur montre qu'une telle charge est une source génératrice d'harmoniques, son fonctionnement conjugué avec d'autres charges même linéaires peut engendrer des perturbations remarquables sur le réseau électrique.

3.2. Alimentation triphasée équilibrée

La simulation maintenant est effectuée sur une source triphasée, alimentant chacune des phases par un redresseur monophasé débitent sur une charge RL.

Les figures (II.13), (II.14), (II.15) représentent la tension, le courant de source, et le courant du neutre avec son spectre d'harmonique.

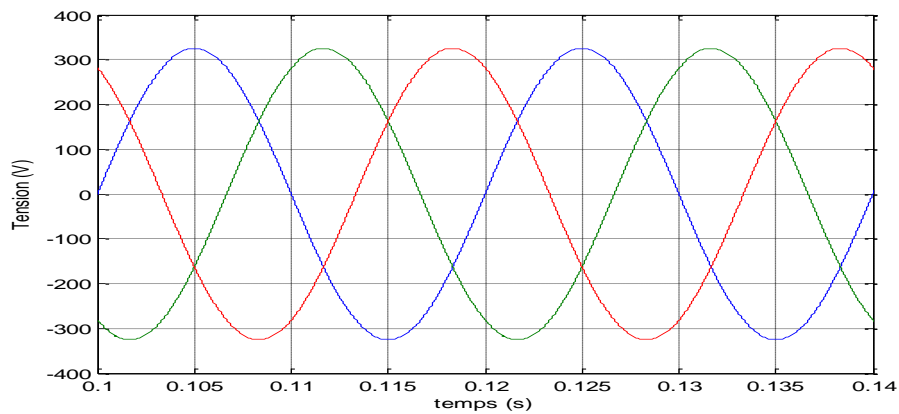


Figure II.13 : Tension de source triphasée.

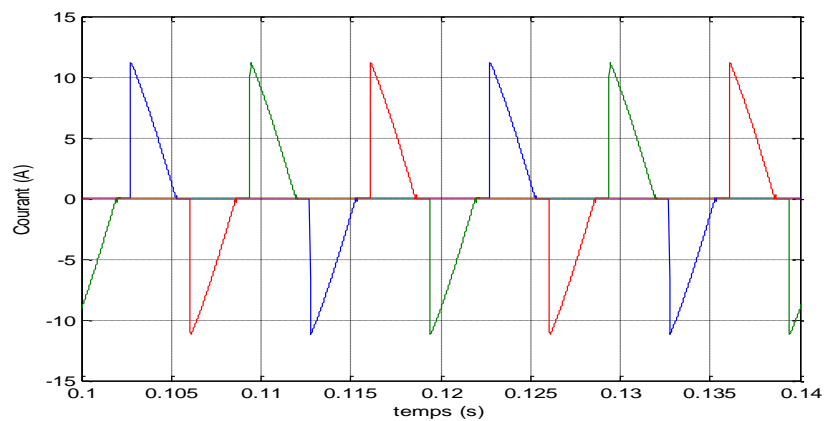


Figure II.14 : Courant de source des trois phases.

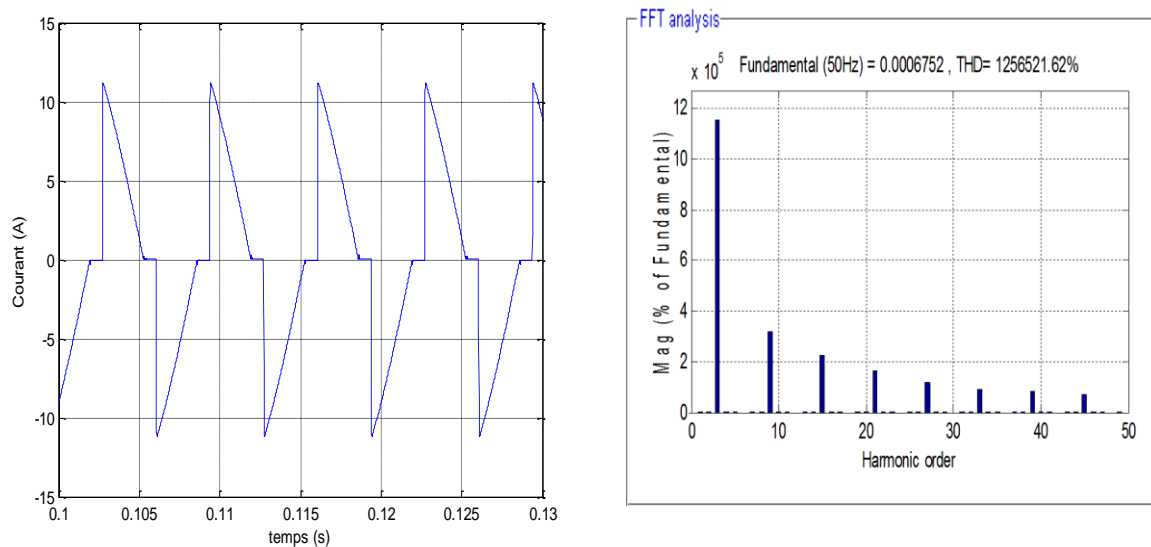


Figure II.15 : Courant du conducteur neutre et spectre d'harmoniques

Les trois charges identiques non linéaires sur chaque phase d'un réseau triphasé, engendrent des distorsions remarquables de la forme d'onde des courants de phase.

L'analyse fréquentielle des courants du neutre montre que ce dernier n'est plus nul, malgré que la charge soit équilibrée, et en plus le neutre véhicule des courants harmoniques multiples de 3, ce qui renforce le courant homopolaire, ce qui peut causer des dysfonctionnements de la source de puissance, (baisse de tension, déséquilibre...)

4. Présentation de la charge étudiée

4.1. Lampe Basse Consommation (L.B.C) [1]

Les lampes basse consommation sont les lampes fluorescentes, appelées également lampes fluo-compactes, elles se composent d'un tube de verre miniaturisé (diamètre 10 à 15 mm) et rempli d'un gaz inerte additionné de vapeur de mercure.

Ces lampes basse consommation, comme leur nom l'indique, sont plus économiques que les lampes classiques car elles bénéficient d'un rendement meilleur à celle-ci, et consomment beaucoup moins d'énergie



Figure II.16 : lampe basse consommation.

4.2. Principe [1]

Ces lampes fonctionnent grâce au principe de la fluorescence : Lorsque l'interrupteur est fermé, les deux électrodes placées aux extrémités du tube sont chauffées par un starter qui provoque la surtension des deux filaments. Stabilisé par une bobine de fil appelée ballast, un flux d'électrons parcourt alors le tube, transformant le gaz inerte en un plasma qui conduit le courant. Excités dans ce plasma, les atomes de mercure émettent de la lumière visible et des rayons ultraviolets qui viennent frapper le revêtement de phosphore. Ce dernier réagit en produisant un intense rayonnement de lumière visible.

4.3. Avantages

La lampe à fluorescence présente plusieurs avantages par rapport à lampe à incandescence classique :

- Une longue durée de vie ; La durée de vie moyenne d'une lampe basse consommation est dix fois plus élevée que celle des lampes traditionnelles (par foi elle peut arriver jusqu'a 15).
- un meilleur coefficient de performance : la lampe à incandescence a une efficacité de 14 à 25 lumens par watt, alors que la lampe fluorescente a une efficacité de l'ordre de 60 à 70 lumens par watt (ainsi une lampe fluorescente de 13 W produira le même éclairage qu'une lampe à incandescence de 75 W).
- L'échauffement étant réduit, les risques de dégâts dus à la chaleur sont réduits (incendie, déformation des luminaires ...etc.).

4.4. Inconvénients

Les inconvénients des lampes basses consommation sont :

- En raison de l'absence quasi généralisée de circuits correcteurs de facteur de puissance dans la partie redresseur des ballasts électroniques incorporés dans leurs culots, ces lampes absorbent un courant très déformé, conduisant à un taux de distorsion harmonique pouvant atteindre 150 % et un facteur de puissance très inférieur à l'unité (de l'ordre de 0,5).
- Ces lampes sont ; notamment ; polluantes pour l'environnement en cas de rejet non contrôlé ou de casse (les baladeuses par exemple) à cause du mercure qu'elles contiennent.
- Coût énergétique de fabrication bien supérieur à celle d'une lampe à incandescence à cause du ballast.
- L'allumage répétitif de la lampe augmente la consommation d'électricité, car comme pour le tube néon ; c'est l'allumage qui nécessite le plus d'énergie.

Cette lampe, contrairement au néon est choisie pour son moindre coût énergétique par les entreprises la laissant toujours allumée le temps du travail, est donc le plus souvent inadaptée aux besoins des résidences privées.

- Les interférences créées par les tubes (courants harmoniques et déphasage dus entre autres à la bobine du ballast), sous forme de parasites, sont nuisibles pour les équipements électroniques et informatiques tels que les câbles du réseau.
- Un petit défaut cependant: les lampes basse consommation mettent un certain temps ; quelques dizaines de secondes ; pour atteindre une intensité lumineuse maximale.

5. Simulation de la lampe L.B.C

Dans cette partie nous présentons la simulation d'une lampe (L.B.C) sur un réseau monophasé (230V-50Hz), et triphasé (380V-50Hz).

Ce modèle obtenu est identifié à partir du ballast électronique de la lampe.

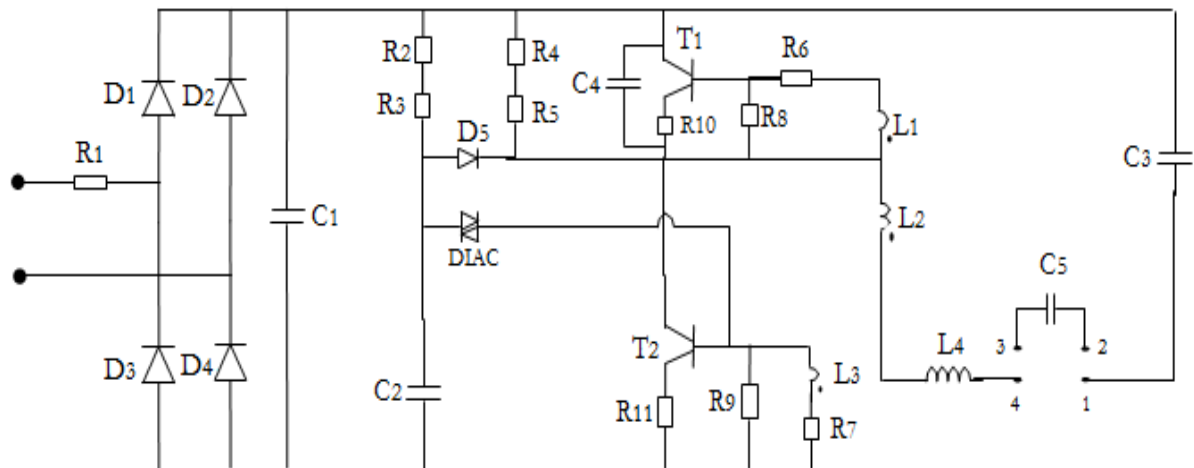
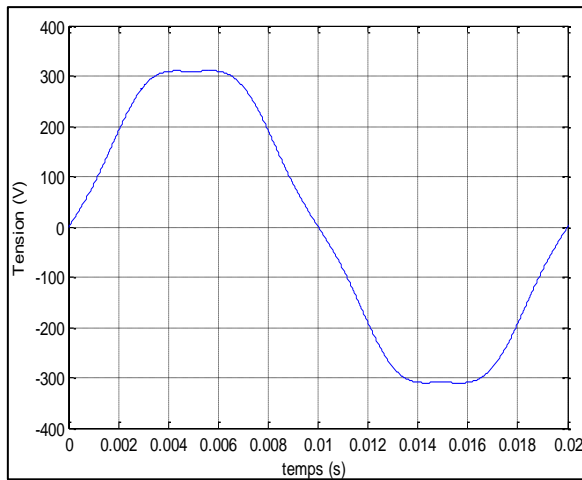


Figure II.17 : modèle d'une la lampe (L.B.C).

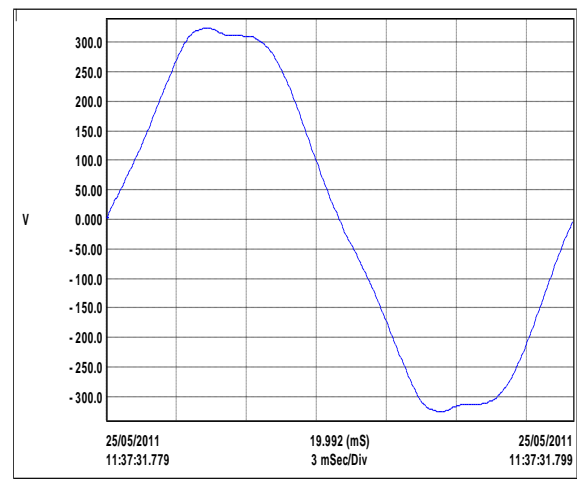
5.1. Alimentation monophasée

La tension appliquée est similaire à celle utilisée lors des essais expérimentaux, son THD est de 4.9%.

Les figures (II.18) et (II.19) représentent les tensions de source avec leurs spectres d'harmoniques.

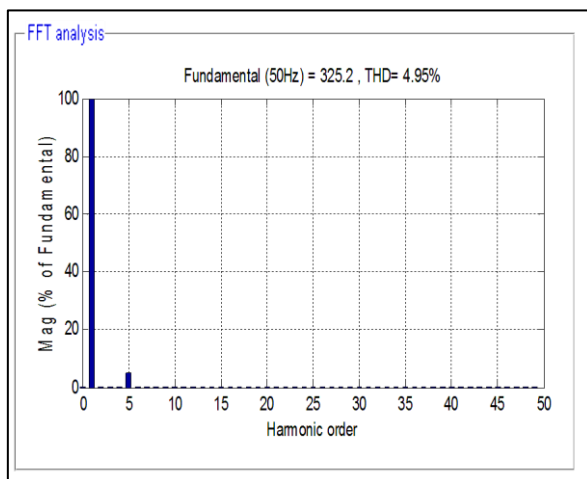


a : Simulation

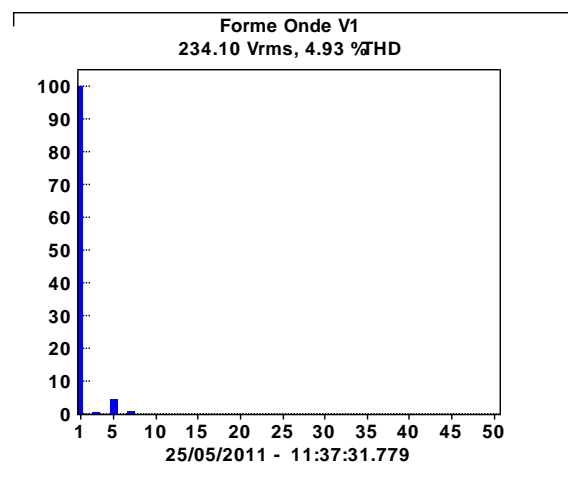


b : Expérimentation

Figure II.18 : tension de source Vs.



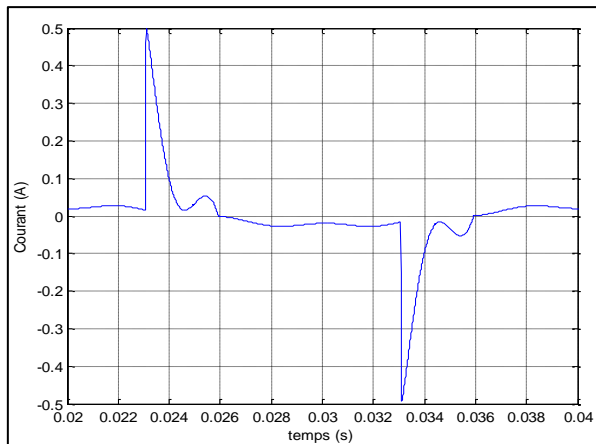
a : Simulation



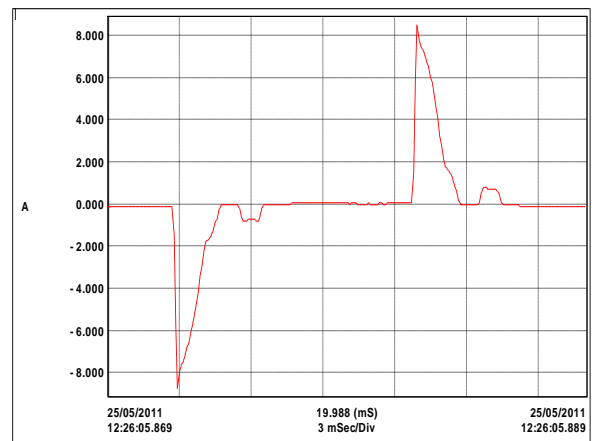
b : Expérimentation

Figure II.19 : spectre d'harmonique de la tension de source Vs.

Le courant absorbé par la lampe avec son spectre d'harmonique est illustré sur les figures (II.20), et (II.21).

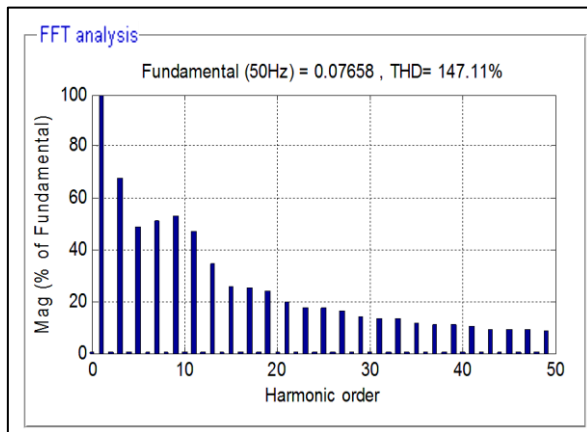


a : Simulation

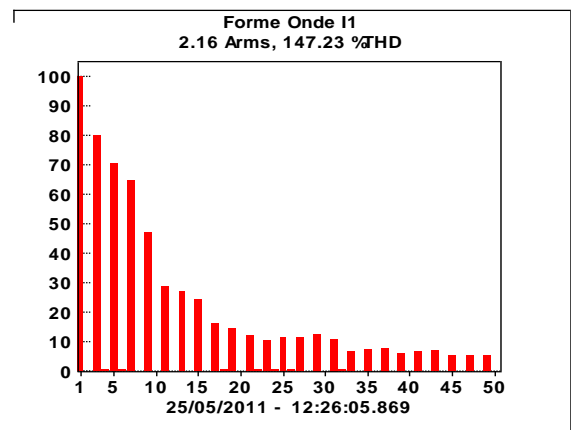


b : Expérimentation

Figure II.20 : courant de source Is.



a : Simulation



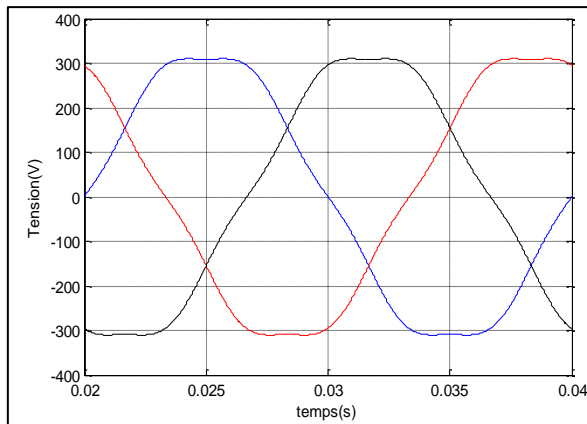
b : Expérimentation

Figure II.21: Spectre d'harmoniques de courant Is.

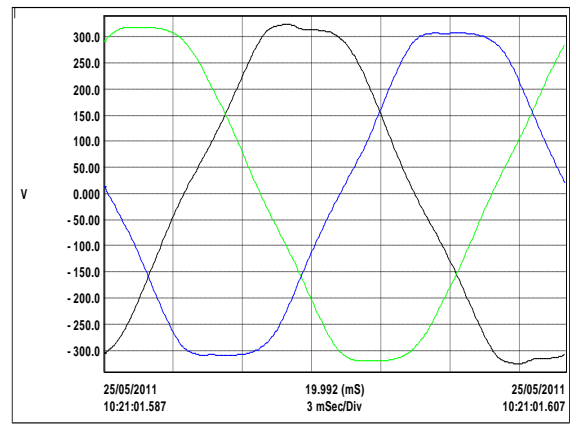
D'après la comparaison des résultats obtenus par simulation du modèle de la lampe et ceux issus de l'essai expérimentale, on conclut que le modèle adopté par la lampe est bien validé.

5.2. Alimentation triphasé équilibré

Dans cette partie, nous apprendrons l'effet de l'alimentation des lampes L.B.C sur une source triphasée.

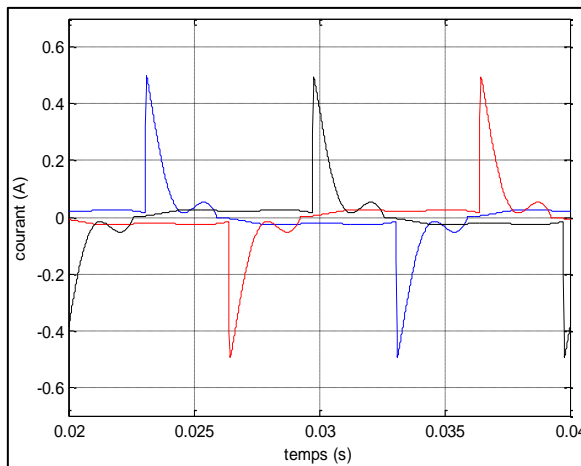


a : Simulation

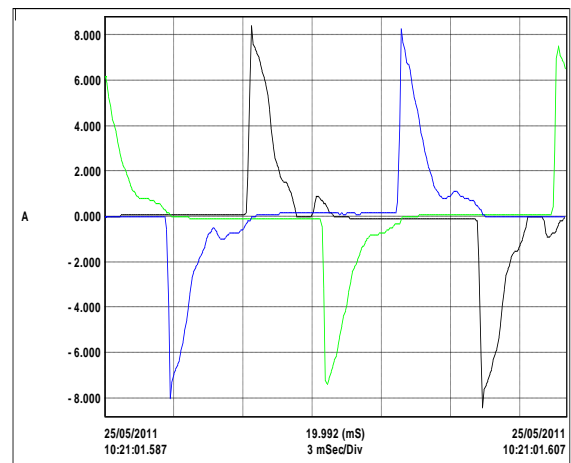


b : Expérimentation

Figure II.22 : tension de source triphasée.

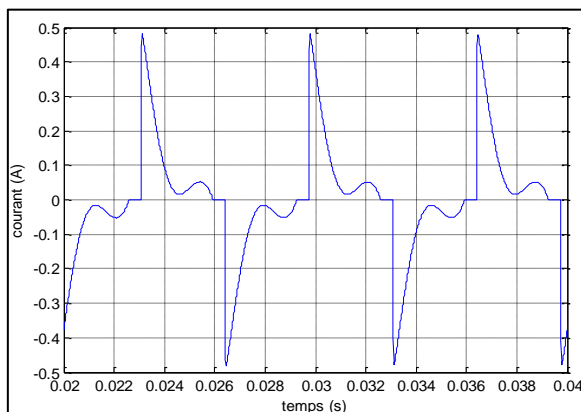


a : Simulation

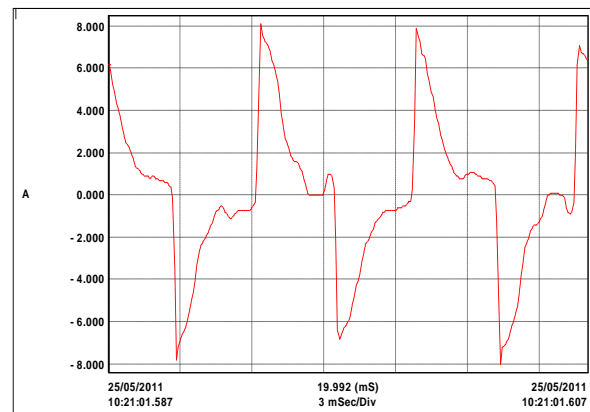


b : Expérimentation

Figure II.23 : courant de source des trois phases.

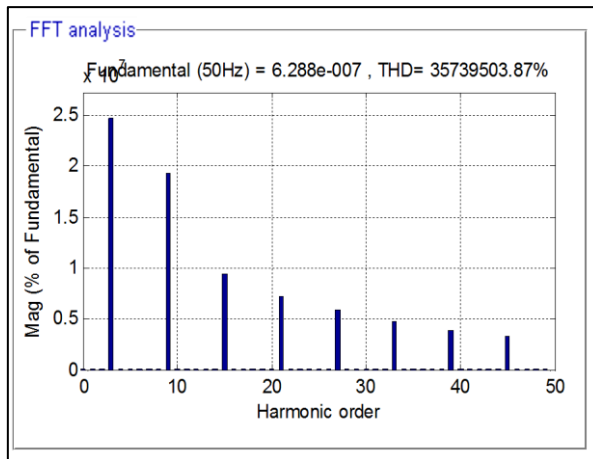


a : Simulation

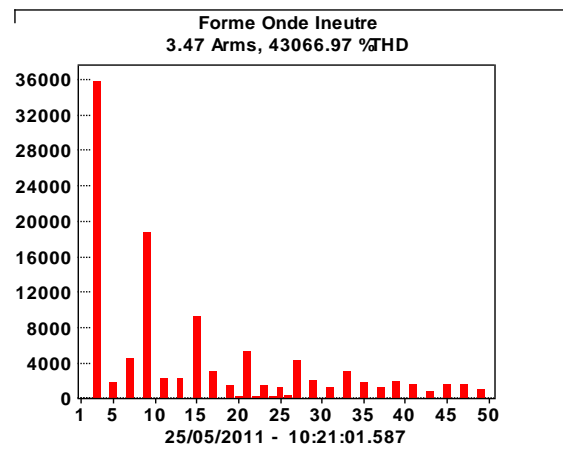


b : Expérimentation

Figure II.24 : courant de conducteur neutre.



a : Simulation



b : Expérimentation

Figure II.25: spectre d'harmoniques du courant du neutre

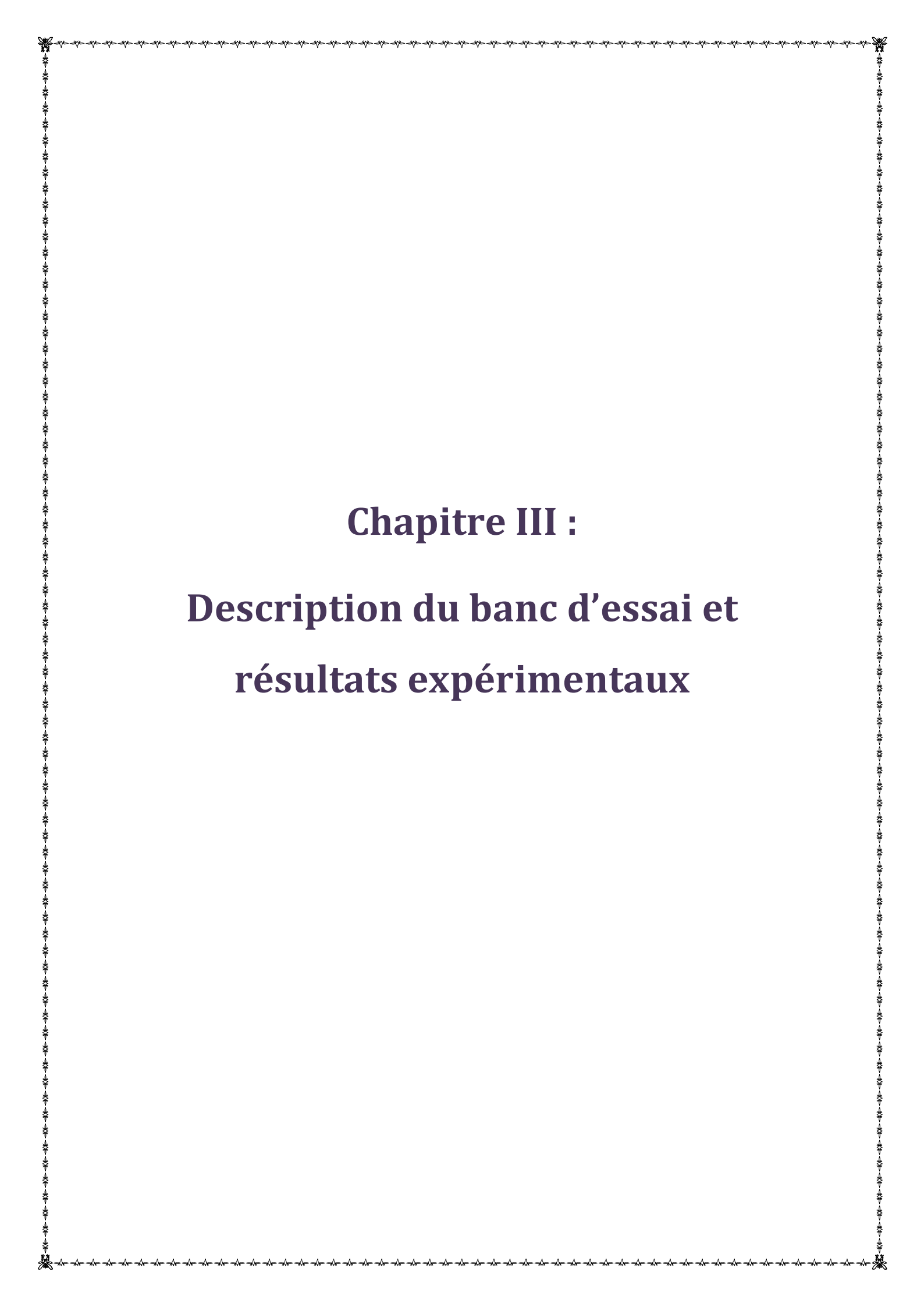
5.3. Interprétation des résultats

La comparaison des résultats pratiques et théoriques en triphasé, confirme que :

- Les courants de rang 03 sont multiples, mais déformés.
- Le neutre véhicule un courant important de fréquence multiple de 3.
- Le modèle adopté par les lampes est validé.

Conclusion

Après avoir modélisé et mis en expérience les lampes L.B.C, on conclues que Ces lampes sont génératrices d'harmoniques (charges non linéaires), si elles sont utilisées en un grand nombre, peuvent être source de désagrément dans le réseau BT



Chapitre III :

Description du banc d'essai et résultats expérimentaux

Introduction

Dans la première partie de ce chapitre, une brève description du banc d'essai expérimental et des divers éléments qui le composent sera donnée en suite une présentation de l'environnement logiciel ; et en fin les résultats expérimentaux obtenus suivis de leurs interprétations.

1. Description du banc d'essai

Le banc d'essai expérimental sur lequel le système proposé a été testé, est composé des éléments suivants :

- Deux maquettes d'essais, l'une pour le montage monophasé et l'autre pour le triphasé
- Six lampes Basse consommation (OSRAM) de 13Wattes chacune.
- Analyseur de réseaux électriques triphasés QUALISTAR C.A 8334
- Un ordinateur équipé de Matlab/Simulink et *DataViewer*.
- Une source de tension alternative triphasée pour alimenter la maquette.
- Communication numérique à liaison optique. (+ câble USB).
- Filtre passif de type résonant (RLC).

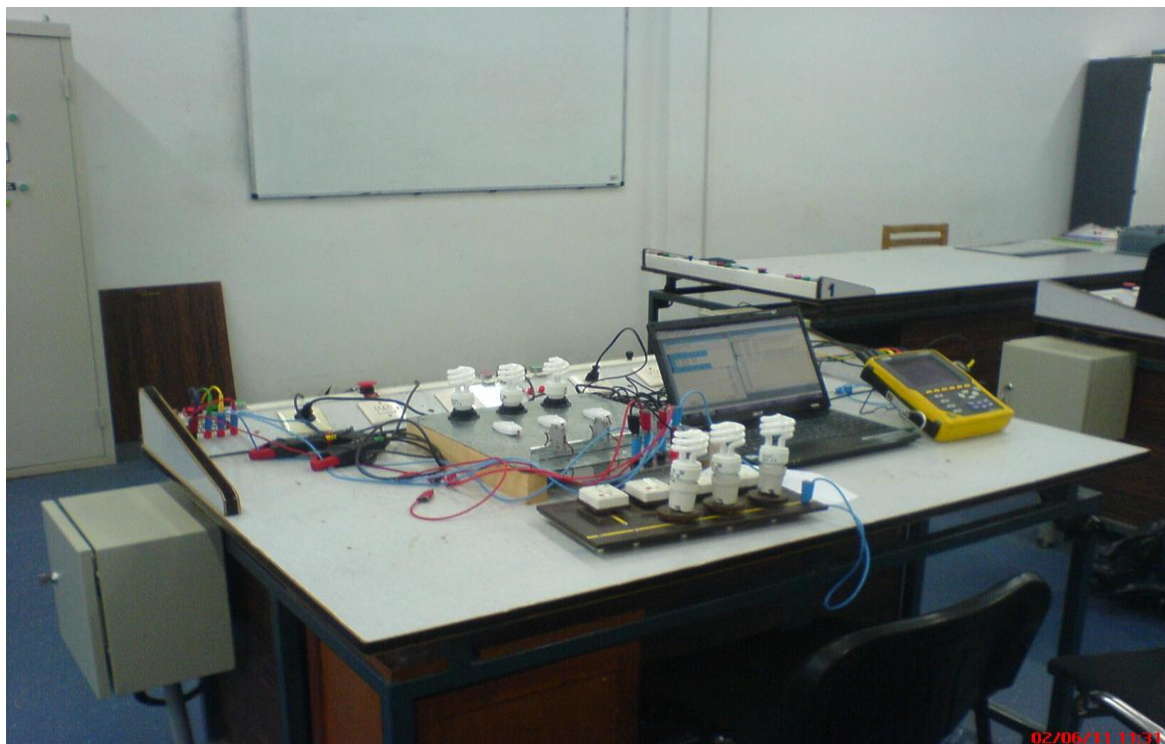


Figure III.1 : Photographie du banc d'essai.

2. Présentation de l'appareil de mesure QUALISTAR C.A 8334 [12]

Le C.A 8334 est un analyseur d'énergie électrique triphasée, résistant au choc.

Il permet d'obtenir non seulement une image instantanée des principales caractéristiques d'un réseau mais aussi le suivi de leurs variations dans le temps. Leur système de mesure multitâche assure simultanément toutes les fonctions de mesure des différentes grandeurs, de détection, d'enregistrement continu et leurs visualisations sans contrainte.

Il est destiné aux techniciens et ingénieurs des équipes de contrôle et de maintenance dans les industries et les administrations pour réaliser des mesures de vérification et de diagnostic sur des réseaux basse tension monophasés, biphasés ou triphasés.



Figure III.2 : QUALISTAR C.A 8334.

Les principales mesures réalisées sont : [12]

- Mesure des tensions efficaces alternatives jusqu'à 480 V (phase-neutre) ou 960 V (phase-phase) pour les réseaux 2 fils, 3 fils ou 4 fils.
- Mesure des courants efficaces alternatifs jusqu'à $6500A_{eff}$.
- Mesure de la fréquence des réseaux.
- Calcul du courant de neutre, par sommation vectorielle des courants de phases pour les montages en étoiles.
- Calcul des facteurs de crête pour les courants et les tensions.
- Calcul du facteur K pour les courants (transformateurs).
- Calcul du déséquilibre entre phases pour les tensions et courants (réseaux triphasés uniquement).

- 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 actives, réactives et apparentes par phase ainsi que le calcul du facteur de puissance, du déplacement et de la tangente.
- Cumul des énergies générées et reçues à partir d'un instant choisi par l'opérateur suivi de la valeur moyenne de n'importe quel paramètre calculé sur une période de 1s à 2 h.
- Stockage des valeurs sur une durée limitée par la mémoire de l'appareil.
- Enregistrement et caractérisation des perturbations : Surtensions, creux et coupures, dépassement de puissances, de seuils harmoniques ...
- Détection des transitoires et enregistrement des formes d'onde associées.

2.1. Caractéristiques Générales

2.1.1. Dimensions et masse

240 x 180 x 55 mm. 2,1 kg avec batteries

2.1.2. Alimentations

- Alimentation réseau alternatif par adaptateur secteur interne
- Domaine d'utilisation : 230 V AC $\pm 20\%$ et 110 V AC $\pm 20\%$
- Puissance max : 30 VA

2.1.3. Capteur de courant

Le QUALISTAR CA8334 est équipé de différentes gammes de capteurs de courant, selon leur utilisation: des capteurs C193, A193, PAC93, MN 93 et mn93a (calibre 100A et 5A)

Le type du capteur utilisé dans notre cas, est « capteurs mn93a », réglé sur un calibre de 5A.

Caractéristiques du capteur mn93a calibre 5 :

- Courant nominal : 5 A. AC
- Domaine de mesure corrigé : 5 mA à 6 A AC
- Rapport sortie / entrée : 200 mV AC / A AC [12].



Figure III.3: Capteurs mn93a

DataViewer

C'est une interface graphique permettant une interactivité simple avec la structure de commande.

Il permet la visualisation, le stockage et le traitement en temps réel des grandeurs physiques mesurées (opérations mathématiques entre signaux, extraction d'harmoniques, calcul de la valeur efficace ...etc.).

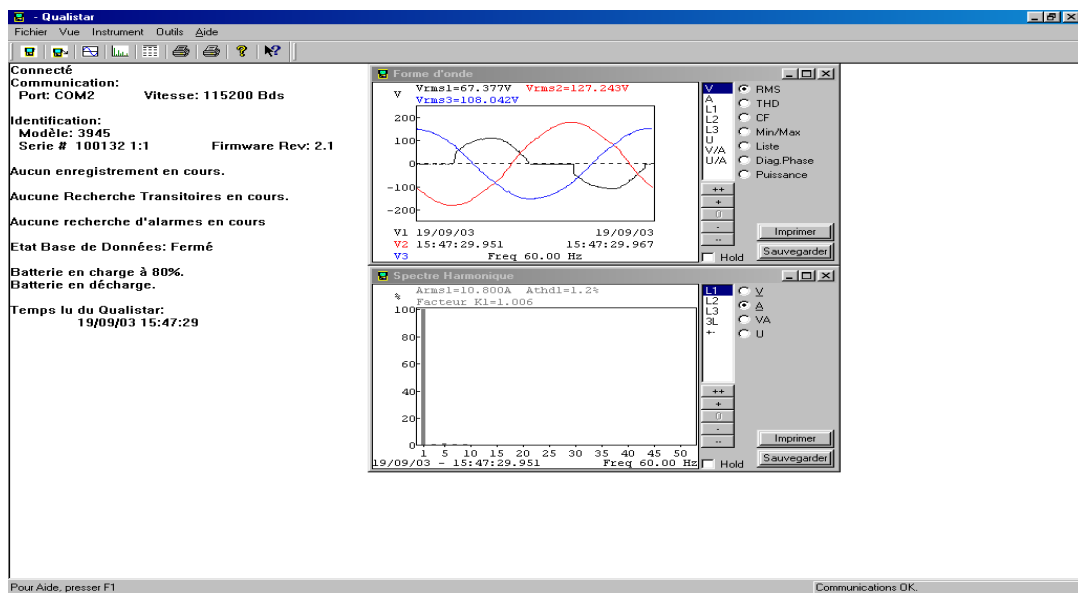


Figure III.4: Interface graphique réalisée sous DataViewer.

DataViewer a deux fonctions principales [17]

- La commande d'appareils de mesure : La commande et la configuration d'appareils sont réalisées via la boîte de dialogue du tableau de bord de l'appareil.

- L'analyse et l'affichage des données : L'affichage et l'analyse des données sont réalisées en utilisant des éléments positionnés sur une ou plusieurs feuilles constituées d'une ou de plusieurs pages.

3. Résultats expérimentaux

Les essais expérimentaux ont été effectués au laboratoire de machines électriques à l'université de Médéa.

Le travail a été divisé en deux parties essentielles :

- Essai en alimentation monophasée.
- Essai en alimentation triphasée.

Les montages effectués, sont illustrées dans la figure (III.1)

3.1. Essai en monophasé

Dans le but de quantifier l'effet du nombre de lampes sur la qualité du courant absorbé, nous avons fait varier leur nombre sur une phase de 1 jusqu'à 6.

Les figures suivantes représentent respectivement la tension d'alimentation, et les courants absorbés par l'installation, pour chacune des situations, ainsi que les analyses spectrales.

Essai d'une lampe :

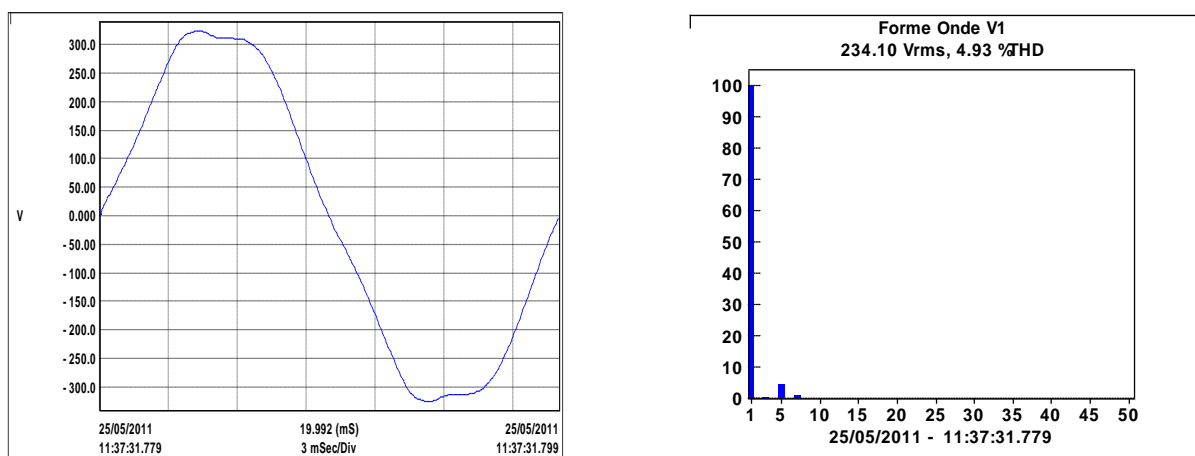


Figure III.5: Tension de source Vs et spectre d'harmoniques.

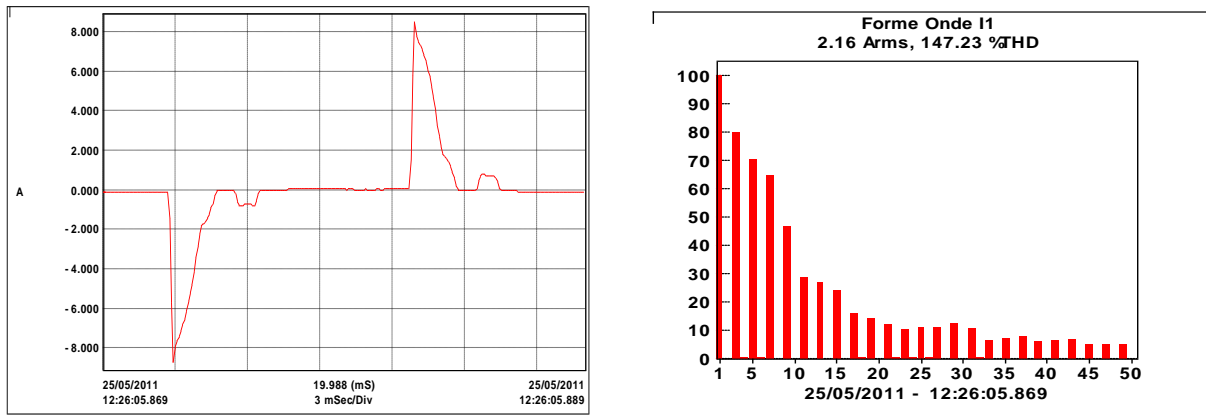


Figure III.6: Courant de source et spectre d'harmonique.

Essai de deux lampes

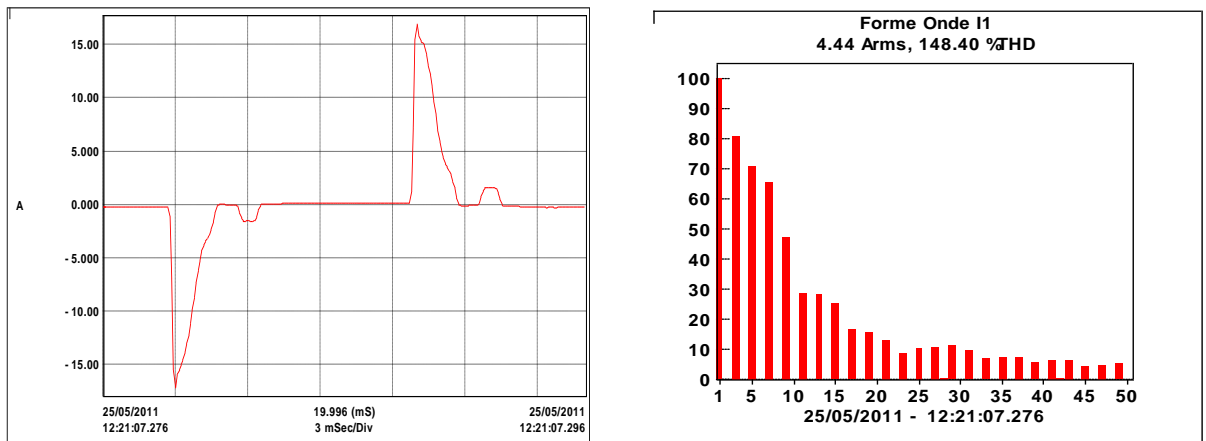


Figure III.7: Courant de source et spectre d'harmoniques.

Essai de trois lampes

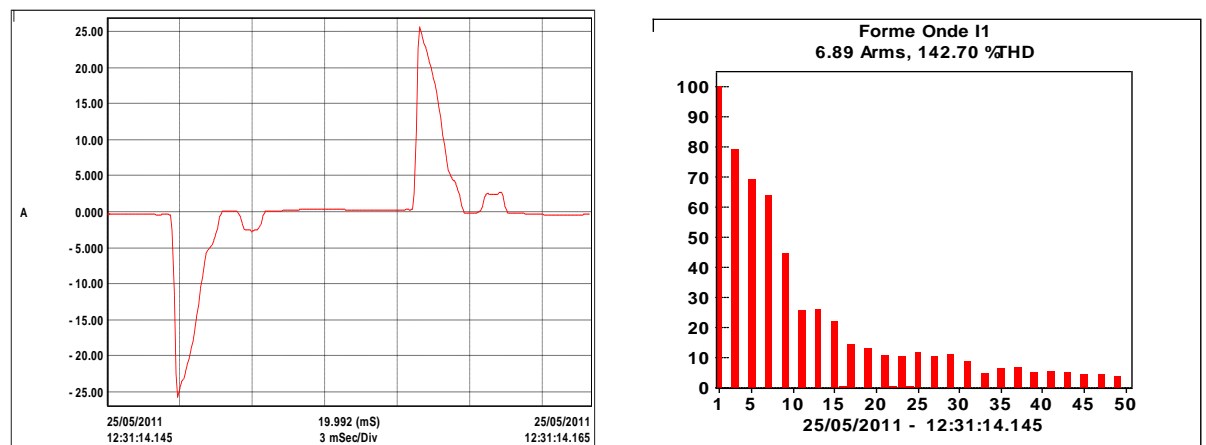


Figure III.8: Courant de source et spectre d'harmoniques.

Essai de quatre lampes

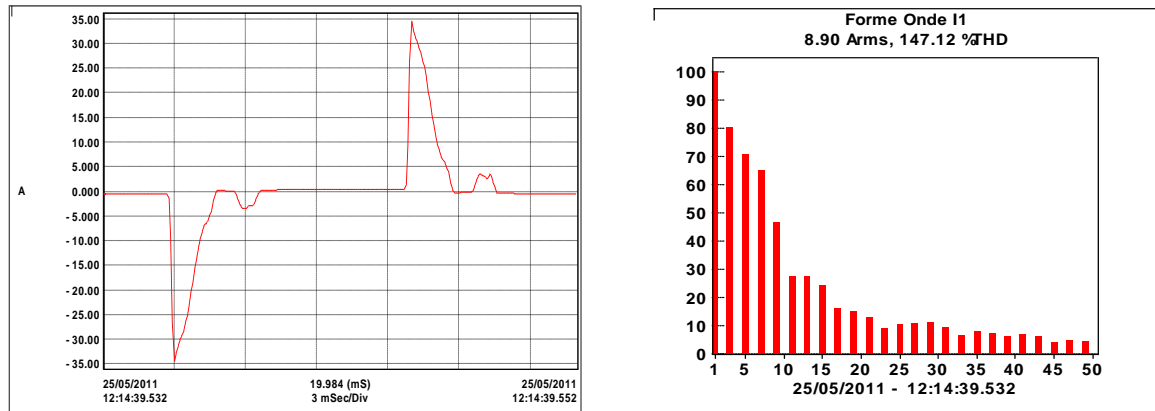


Figure III.9: Courant de source et spectre d'harmonique.

Essai de cinq lampes :

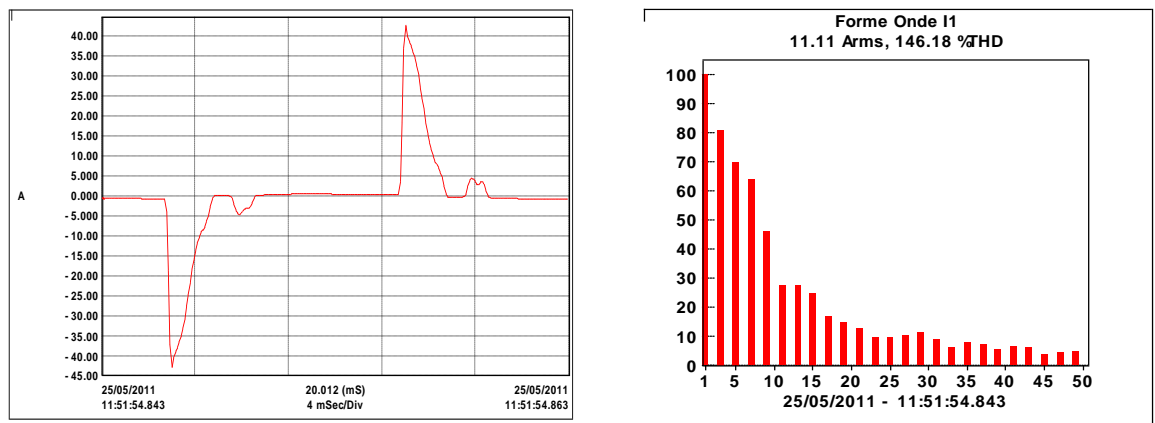


Figure III.10: Courant de source et spectre d'harmonique.

III.4.1.c. Essai de six lampes :

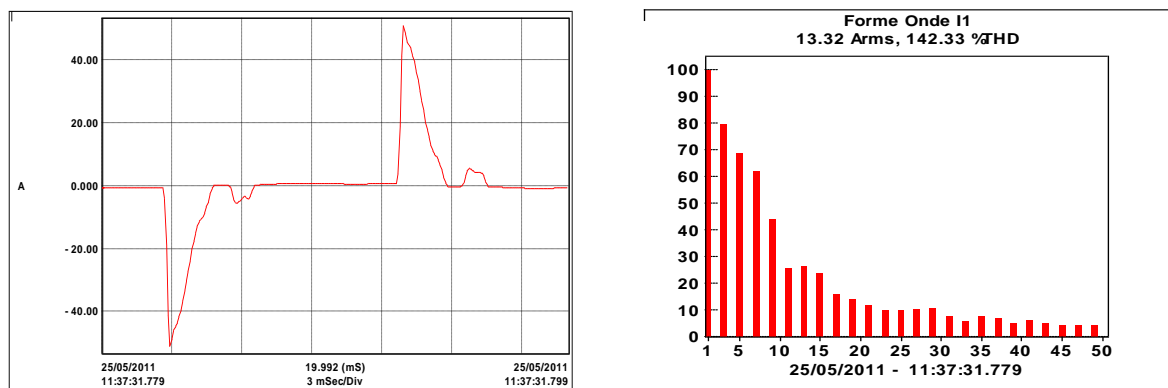


Figure III.11 : Courant de source et spectre d'harmonique.

3.1.1. Interprétation des résultats :

D'après l'analyse spectrale du signal du courant de charge, on constate que le THD global dépasse 147%, On constate aussi que le courant total augmente proportionnellement avec l'augmentation du nombre de lampes, il en est de même pour les courants harmoniques.

La figure (III.12) illustre la variation des courants harmoniques de rang 3,5 et 7 en fonction du nombre de lampes alimentées.

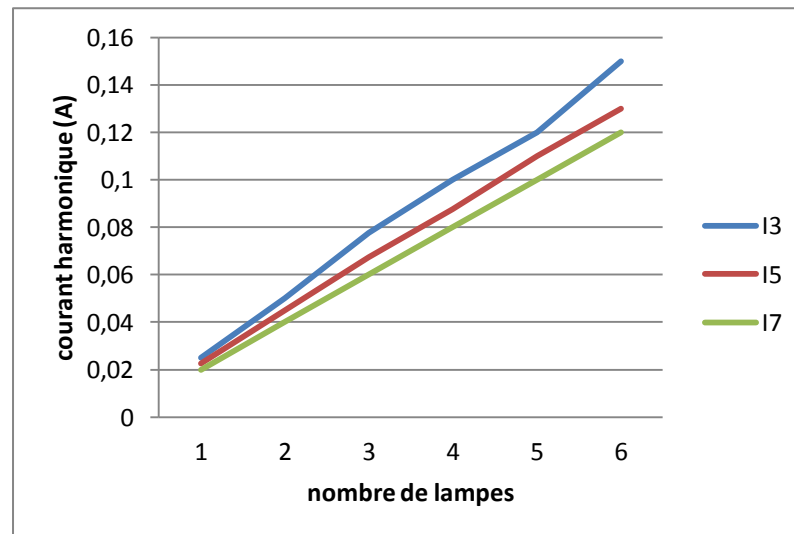


Figure III.12 : Evolution du courant en fonction du nombre de lampes

3.2. Essai en triphasé

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence l'effet des courants harmoniques sur le neutre d'une source triphasée, alimentant dans chacune des phases respectives une et deux lampes de 13W.

3.2.1. Essai d'une lampe dans chaque phase

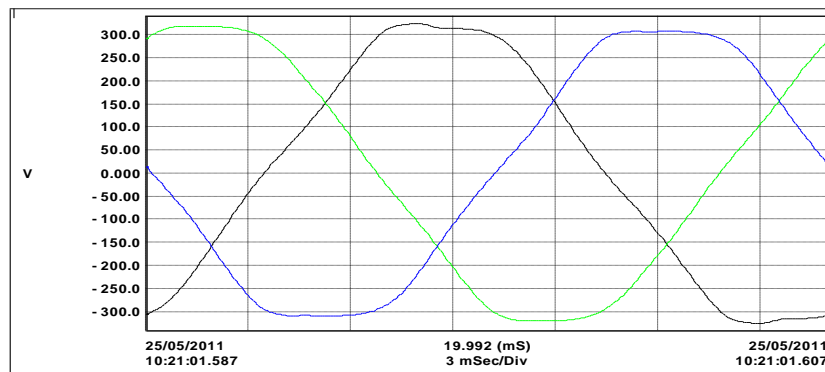


Figure III.13 : tension simple des 3 phases

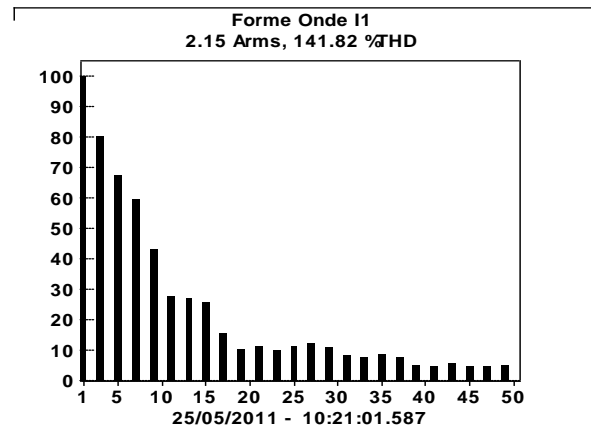
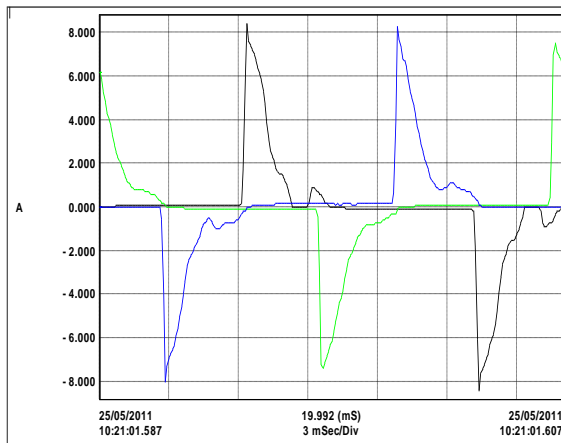


Figure III.14 : Courant de source et spectre d'harmonique

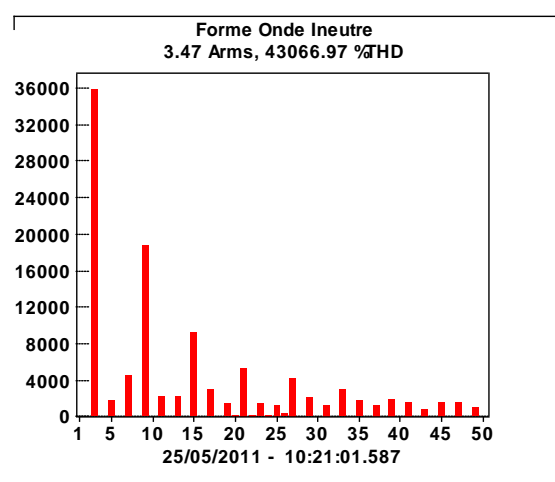
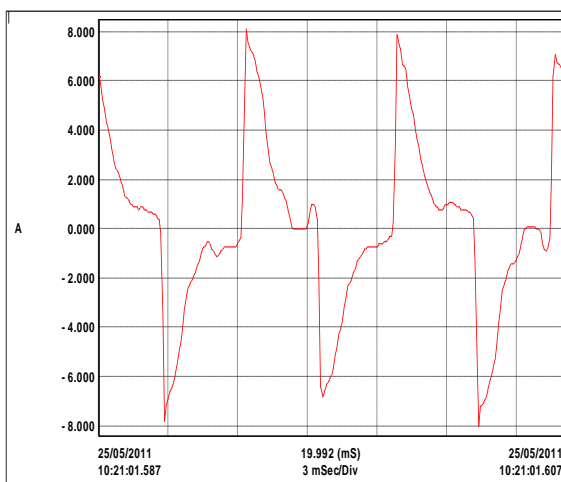


Figure III.15 : Courant de neutre et spectre d'harmonique

3.2.2. Essai de deux lampes dans chaque phase :

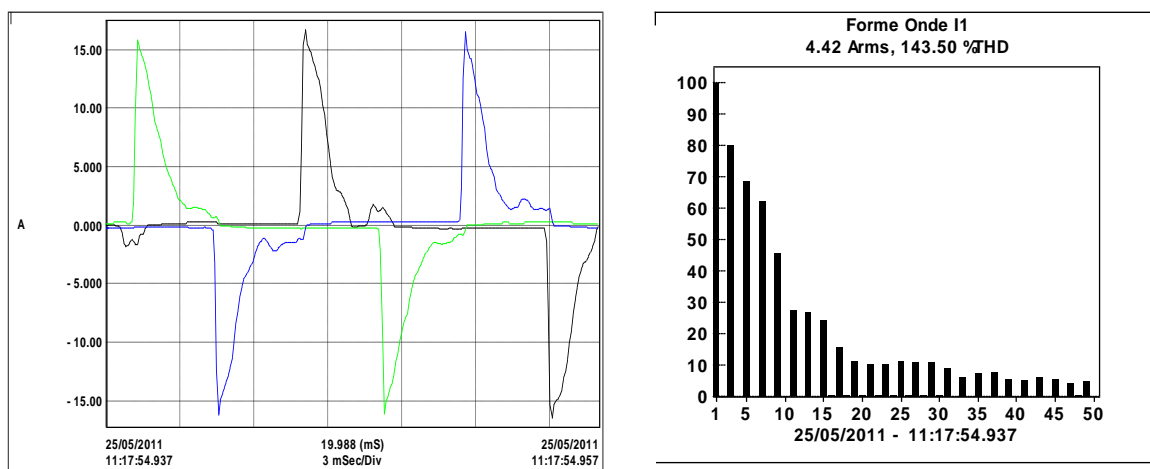


Figure III.16 : Courant de source et spectre d'harmoniques.

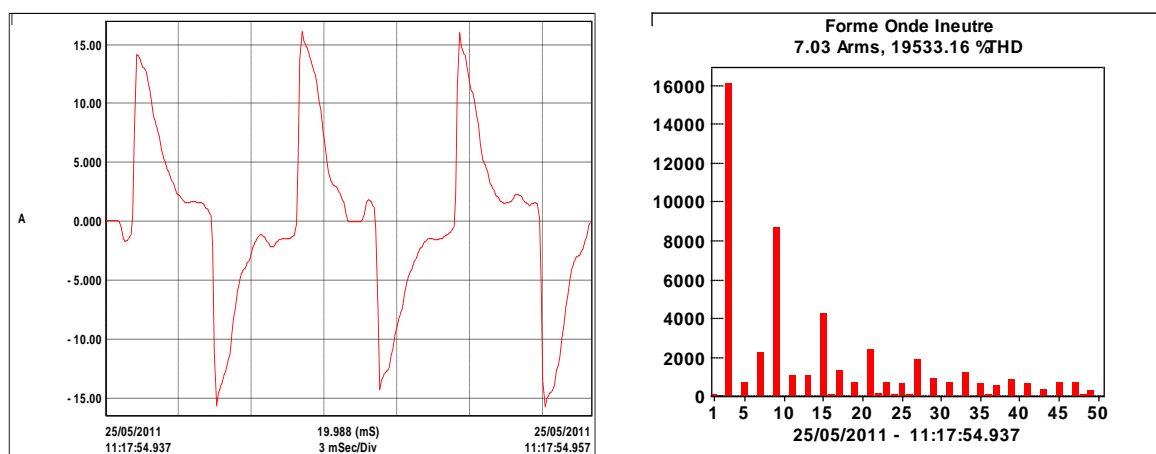


Figure III.17: Courant du neutre et spectre d'harmoniques

Les courants harmoniques de rang multiple de 3 à partir des trois phases vont s'additionner et donner naissance dans le conducteur du neutre à la circulation d'un courant.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détail la maquette expérimentale que nous avons réalisée.

Ensuite, nous avons effectué des essais expérimentaux pour mettre en valeur les harmoniques générés par les lampes fluorescentes sur un réseau basse tension BT (220/380 V).

Dans le prochain chapitre, nous présenterons une des solutions préconisées pour la compensation des harmoniques : filtrage passif.



Chapitre VI :

Filtrage passif des harmoniques

Introduction

Les convertisseurs sont aujourd'hui les principales sources d'harmoniques dans les systèmes de puissance. Le filtrage devient donc indispensable pour tout fonctionnement normal de ces systèmes

Dans ce présent chapitre, nous allons présenter, étudier et mettre en œuvre une des solutions classique à savoir le filtrage passif.

1. Etude du filtre :

Le filtre est un quadripôle linéaire qui ne laisse passer que certaines composants fréquentiels du signal appliqué à l'entrée.

Le domaine de fréquence où le signal est limité par les fréquences de coupures, on l'appelle la bande passante du filtre.

Si un filtre n'est constitué qu'avec des éléments passifs linéaires RLC, on dit que c'est un filtre passif, s'il contient des éléments actifs, on dit que c'est un filtre actif.

1.1. Fonction de transfert

On définit la fonction de transfert complexe d'un quadripôle par :

$$F(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = |F(\omega)|e^{j\varphi(\omega)} \quad (\text{IV.1})$$

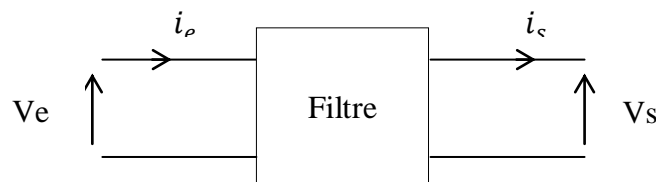


Figure IV.1 : schéma d'un filtre.

Avec :

$$|F(\omega)| = \left| \frac{V_s}{V_e} \right| \quad \text{Le gain du quadripôle.}$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_s(\omega) - \varphi_e(\omega) \quad \text{La phase de la fonction.}$$

1.2. Fréquence de coupure

La fréquence de coupure d'un filtre est définie comme étant la fréquence pour laquelle le module de la fonction de transfert, égale sa valeur efficace.

$$|F(w_c)| = \frac{|F(w)|_{max}}{\sqrt{2}} \quad (IV.2)$$

2. Filtrage Passif

Notre travail est essentiellement basé sur le filtrage passif des harmoniques, ce filtrage consiste à placer en parallèle sur le réseau d'alimentation une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante par rapport à la fréquence fondamentale du réseau Figure (IV.2).

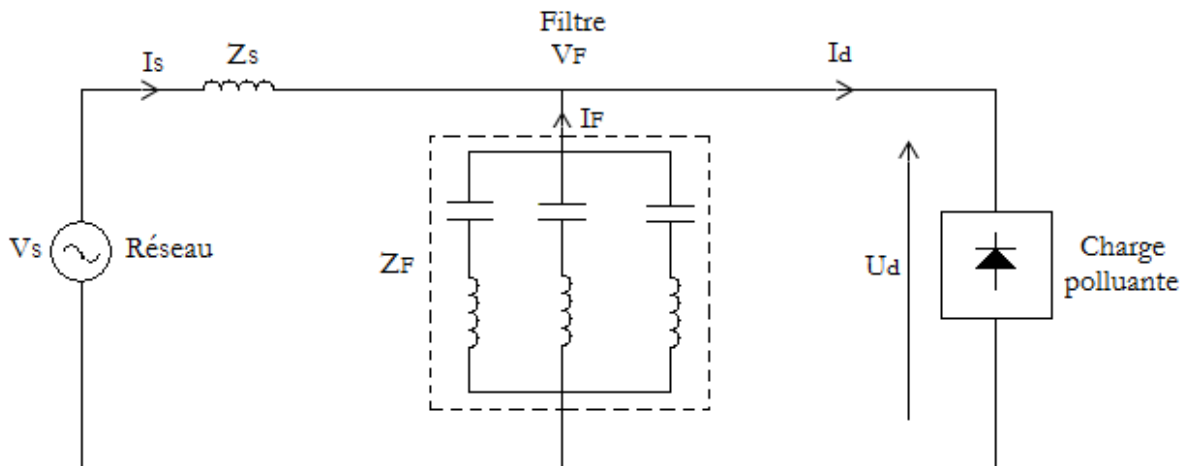


Figure IV.2 : l'emplacement du filtrage passif.

2.1. Principe de fonctionnement [11]

Le principe du filtrage passif est de modifier localement l'impédance du réseau afin de faire dévier les courants harmoniques et ; en même temps ; éliminer les tensions harmoniques résultantes.

Ces filtres sont composés d'éléments capacitifs et inductifs qui sont disposés de manière à obtenir une résonance série sur une fréquence déterminée.

Les types de filtres passifs utilisés sont choisis en fonction de l'atténuation harmonique recherchée

2.2. Conception des filtres passifs

Un filtre passif est utilisé pour:

- Réduire les harmoniques au minimum possible.
- Fournir une puissance réactive à une fréquence fondamentale.
- Atteindre ces objectifs en même temps avec un prix minimum, à la fréquence fondamentale.

- La création de la puissance réactive, ce réactif sert à compenser le réactif absorbé par le convertisseur

2.3. Classification des filtres passifs [7]

Il est possible de classer les filtres passifs selon leur emplacement sur le réseau, leur mode de connexion, leur degré d'amortissement de même que leur fréquence de résonance.

Les filtres passifs peuvent se diviser en deux familles, soit les filtres parallèles et les filtres séries. Selon le type choisi, les harmoniques peuvent être :

- a- littéralement bloqués par une impédance série élevée entre le convertisseur et le réseau
- b- déviés par une faible impédance en parallèle ou une combinaison des deux.

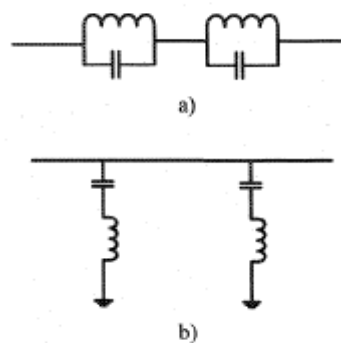


Figure IV.3 : a) Filtre série et b) Filtre parallèle.

Le filtre parallèle est utilisé exclusivement du côté alternatif pour deux raisons :

- Il porte uniquement le courant harmonique et est lié à la terre.
- À la fréquence fondamentale, il possède l'avantage de fournir de la puissance réactive.

Pour une efficacité équivalente au filtre série, le filtre parallèle est beaucoup moins cher, il est surtout utilisé dans le cas des charges génératrices de courants harmoniques alors que le filtre série l'est pour les charges génératrices de tensions harmoniques

2.4. Types de filtres passifs

Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandus, on distingue le filtre passif résonnant, et le filtre passif amorti ou passe-haut.

Le filtre résonnant est un filtre très sélectif. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants.

Le filtre amorti compense les harmoniques supérieurs ou égaux à sa fréquence propre. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants.

Ces dispositifs sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive.

2.4.1. Filtre résonant [7]

Le filtre résonant a comme caractéristique une impédance très faible à un courant harmonique de rang déterminé. Le facteur de qualité F détermine la précision du réglage de l'harmonique correspondant ainsi que son efficacité à l'éliminer. Ce qui implique un facteur de qualité élevé pour ce type de filtre. Le filtre résonant fournit une partie de la puissance réactive au convertisseur par ses capacités.

Le filtre résonant est un filtre très sélectif. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants.

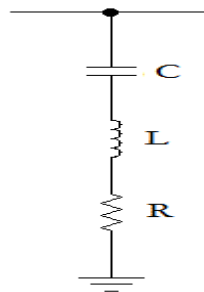


Figure IV.4 : Filtre résonant

L'installation d'un filtre résonant donne naissance pour le réseau à une impédance harmonique dont l'allure est représentée dans la Figure (IV.5), la fréquence d'accord correspond au rang harmonique 5.

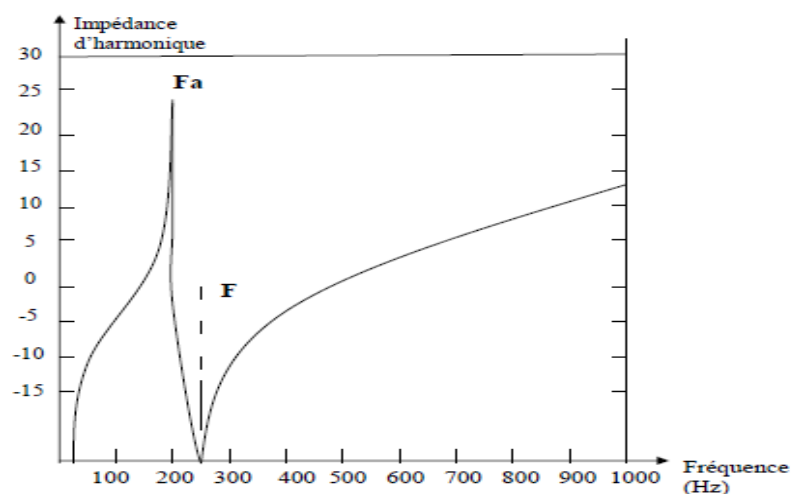


Figure IV.5 : Impédance du filtre résonant.

Dans le cas présent, la fréquence d'accord correspond au rang 5 (250Hz), on remarque qu'à la fréquence de résonance l'impédance est très faible; ce qui dérive les courants harmoniques vers le filtres.

A une fréquence légèrement inférieure à la fréquence de résonance on observe, un accroissement important, une résonance parallèle dite (anti résonance). Cette dernière est due à l'impédance du filtre (Z_f) en parallèle avec l'impédance de la source (Z_s).

Lorsqu'on veut filtrer un rang harmonique élevé il faut toujours prendre garde à ce que l'anti résonance n'amplifie pas les rangs harmoniques faibles ; c'est pourquoi lorsqu'on utilise des filtres accordés sur des rangs harmoniques différents, par exemple 5, 7, 11, leur mise en service doit se faire par ordre croissant aux rangs harmoniques filtrés et inversement lors de la mise hors service.

La présence de résonance au sein d'un réseau électrique entraîne certain nombre de risques vis-à-vis des perturbations harmoniques.

La performance d'un filtre résonnant est caractérisée par la tension harmonique entre ses bornes V_{fh} . Cette tension se calcule à partir du courant harmonique I_{hf} traversant l'impédance du réseau Z_s en parallèle avec l'impédance Z_f du filtre, calculées à une fréquence h fois celle du fondamental :

$$V_{Fh} = \frac{Z_f \cdot h \cdot Z_s}{Z_f + h \cdot Z_s} I_{dh} \quad (IV.3)$$

Or au voisinage de l'accord, le module de Z_f s'écrit :

$$Z_s = \frac{1}{c \omega_1 h} \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 4\sigma} \quad (IV.4)$$

Avec :

$$Q = \frac{L \omega_1 h}{r} \quad \text{Coefficient de qualité de l'inductance série.}$$

$$\sigma = \frac{\Delta \omega}{\omega_1} \quad \text{Précision d'accorde.}$$

Comme: $Z_f \ll h Z_s$, on obtient:

$$V_{fh} = Z_f I_{dh} \quad (IV.5)$$

Le filtre sera plus performant avec Q grand et δ Faible. Il faut noter qu'il existe toujours une antirésonance pour un rang h_a inférieur à celui de l'accord, due à l'inductance L_s du réseau.

$$h_a = \sqrt{\frac{1}{(L_s + L) c \omega_1^2}} \quad (IV.6)$$

2.4.1. Filtre amorti :

Un filtre amorti se compose d'une capacité en série avec un ensemble constitué de la mise en parallèle d'une inductance et d'une résistance appelée résistance d'amortissement. Il est utilisé lorsque les performances demandées ne sont pas trop élevées, on l'utilise souvent pour filtrer simultanément la plus haute fréquence du spectre, et non une fréquence particulière ; c'est un filtre passe haut.

Le schéma monophasé équivalent de l'installation d'un filtre amorti est montré dans la figure (IV.6).

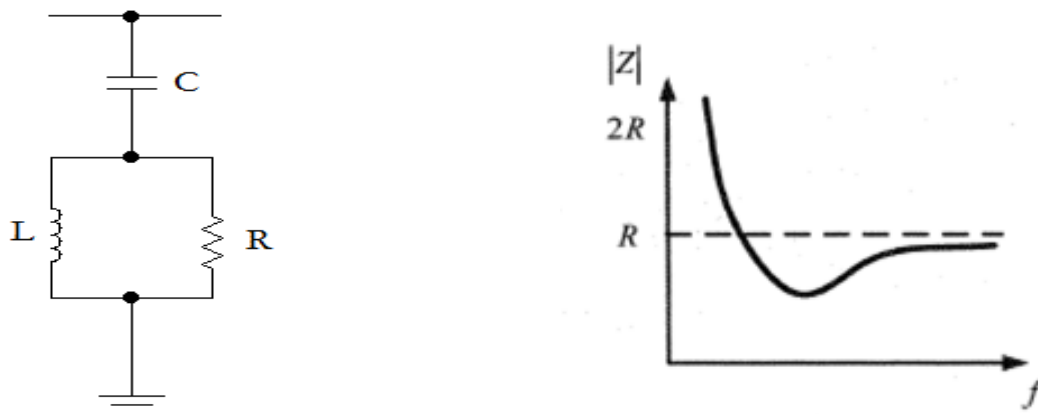


Figure IV.6: Filtre amorti.

Il est moins sensible à la variation de ses éléments (capacité, inductance, et résistance) qu'un filtre résonant. La résistance d'amortissement influe légèrement sur la fréquence d'accord.

Les filtres amortis d'ordre 2 sont les plus répandus. Il existe également des filtres amortis d'ordre 3 qui comportent deux éléments capacitifs par phase au lieu d'un. [7]

2.4.3. Circuits accordés :

Souvent on associe aux filtres résonants un filtre amorti pour filtrer simultanément les plus hautes fréquences du spectre. La Figure (IV.7) ci-dessous montre le schéma d'un filtre passif relié à un réseau électrique.

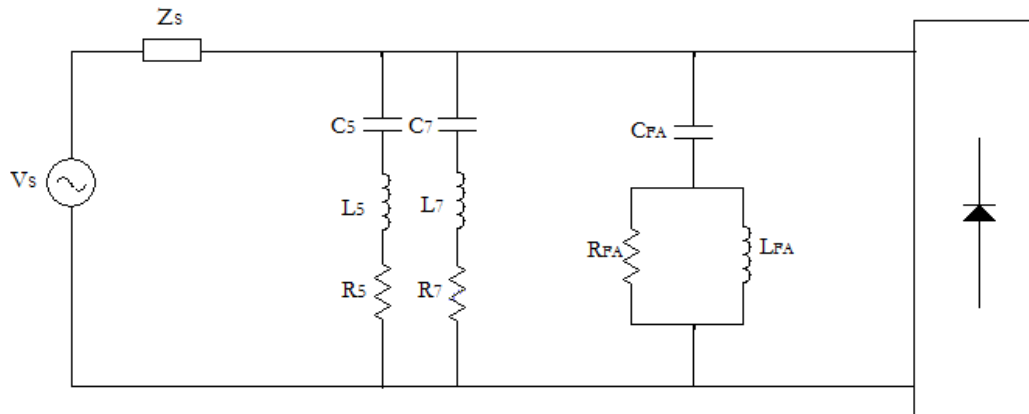


Figure IV.7 : Schéma monphasé d'un réseau avec deux filtres résonants et un filtre amorti.

On utilise les circuits accordés sur les rangs harmoniques (5, 7, 11) parce que ce sont les harmoniques qui ont des amplitudes respectivement élevée dans le spectre de fréquence. En pratique, lorsque le besoin de filtrage devient nécessaire, il est courant de mettre en œuvre des filtres résonants accordés sur les premiers rangs harmoniques (5, 7) où les injections du courant sont importantes. Un filtre amorti peut limiter l'impédance harmonique sur le réseau.

L'antirésonance des filtres provoque une amplification des rangs harmonique inférieure à la fréquence de résonance du filtre. La valeur de l'impédance du réseau à la fréquence d'anti-résonance, conditionne fortement l'allure de la courbe de l'impédance en fonction de la fréquence.

2.5. Calcul des filtres passifs :

Dans notre cas, on a intéressé à l'application d'un filtre résonant sur une charge non linéaire (lampe L.B.C).

Un circuit accorde (RLC) à une impédance :

$$Z = R + j(L\omega - 1/C\omega) \quad (\text{IV.7})$$

Avec :

Z : impédance complexe du circuit.

R : résistance.

L ω : réactance inductive

1/C ω : réactance capacitive

A sa fréquence de résonance son impédance se réduit à une petite valeur soit R, et on peut écrire :

$$LW_r = 1/CW_r \quad (\text{IV.8})$$

W_r est la pulsation de résonance, elle est égale à :

$$W_r = 2\pi F_r \quad (\text{IV.9})$$

F_r est la fréquence de résonance, elle est égale à :

$$F_r = \frac{W_r}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{IV.10})$$

La réactance inductive ou capacitive qui correspond à cette fréquence est :

$$X_r = LW_r = \frac{1}{C W_r} \quad (\text{IV.11})$$

$$D'où : W_r^2 LC = 1 \quad (\text{IV.12})$$

$$X_r = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{IV.13})$$

Dans le cas d'un filtre résonant, le facteur de qualité est défini comme suit :

$$Q = \frac{X_r}{W_r} \quad (\text{IV.14})$$

3. Détermination des paramètres du filtre :

Calcul de la réactance capacitive par la relation suivant :

$$X_c = \frac{(V_{\text{cap}})^2}{Q} \quad (\text{IV.15})$$

Avec :

V_{cap} : la tension aux bornes de capacité.

Q : la puissance réactive.

Par conséquent, la capacité et l'inductance respective du filtre en fonction de X_c sont :

La valeur du condensateur :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (\text{IV.16})$$

La valeur de l'inductance :

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 (h)^2 c/n} \quad (\text{IV.17})$$

Avec :

n : c'est le nombre de rangs qu'on veut éliminer, pour le triphasé en multiple $n*3$.

f : la fréquence fondamentale.

h : le rang de l'harmonique qu'on veut éliminer.

4. Application du filtre sur une charge non linéaire :

Comme on la déjà montrées, les lampes L.B.C sont des charges polluantes, dans cette présente partie du travail, on va s'intéressées au filtrage des courants absorbés par une lampe alimenté en monophasé (230V-50Hz).

Pour cela, on a simulées le modèle des lampes avec et sans filtre, ainsi qu'une mise en pratique de la solution au laboratoire.

5. Partie de simulation :

Dans cette partie, nous avons simulées une installation contenant une lampe L.B.C, et puis une L.B.C avec différents filtres accordés par 3,5 et 7^{ème} harmonique.

5.1. Résultats de simulation :

5.1.1. Charge sans filtre :

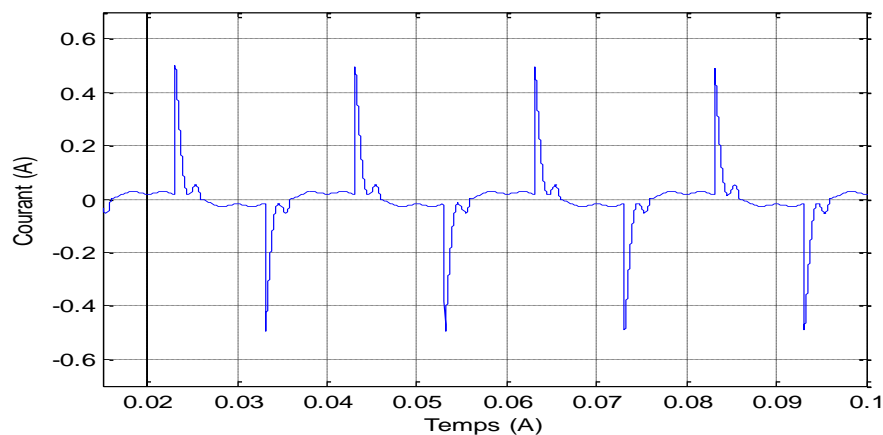


Figure IV.8 : Courant de source I_s sans filtre.

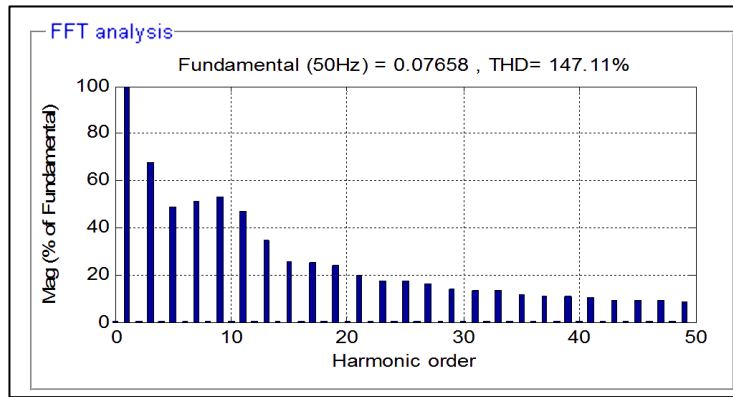


Figure IV.9 : Spectre d'harmonique de courant Is sans filtre.

5.1.2. Charge avec filtre

5.1.2.1. Filtre résonant de rang 3 :

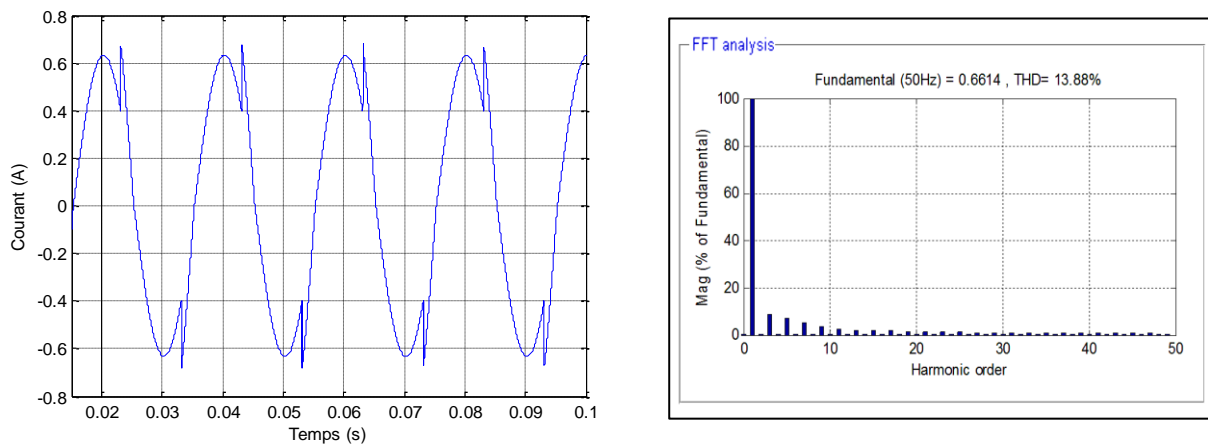


Figure IV.10 : Courant de source Is et spectre d'harmonique avec filtre de rang 3.

5.1.2.2. Filtre résonant de rang 5 :

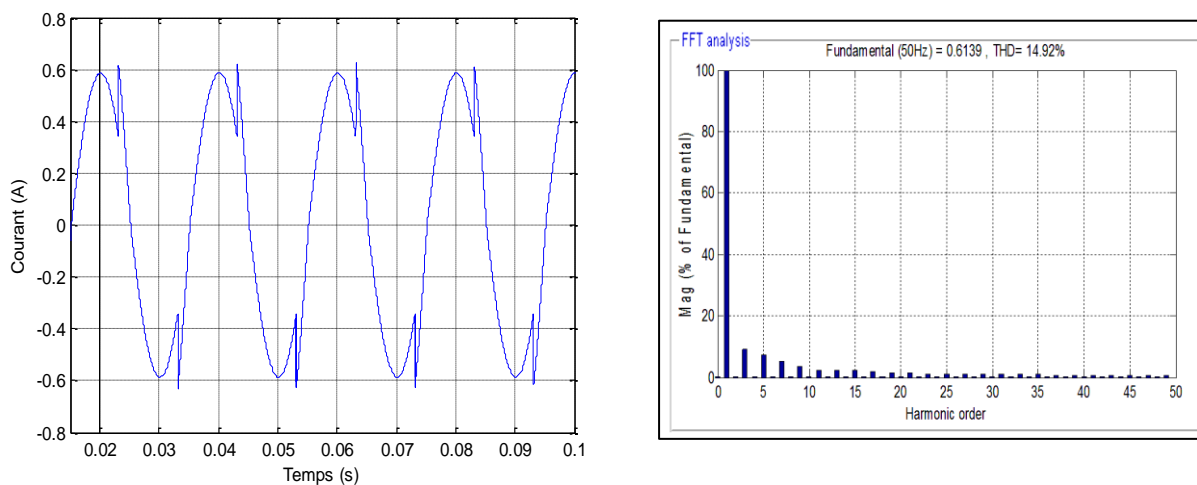


Figure IV.11 : Courant de source Is et spectre d'harmonique avec filtre de rang 5.

5.1.2.3. Filtre résonant de rang 7 :

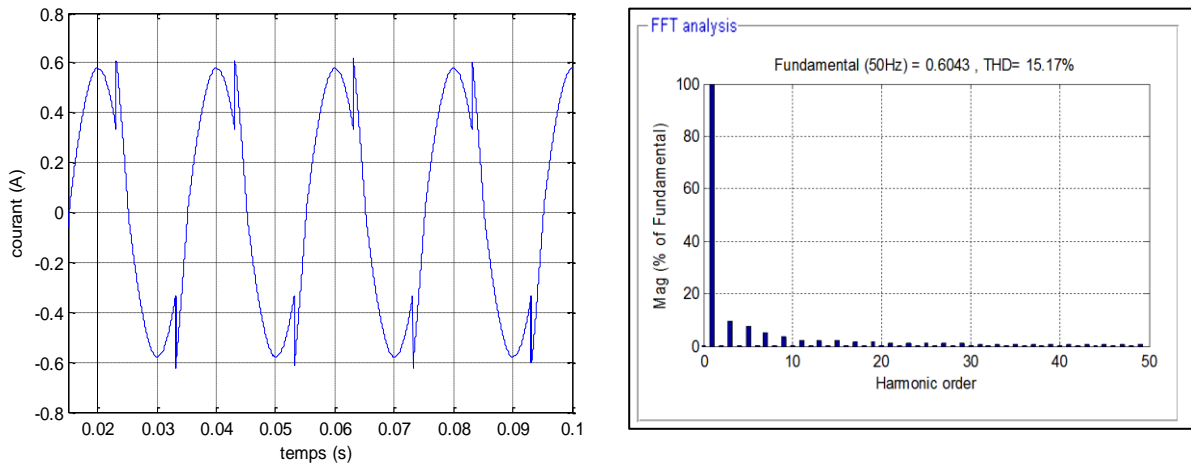


Figure IV.12 : Courant de source I_s et spectre d’harmonique avec filtre de rang 7.

5.2. Interprétation des résultats :

D’après les résultats obtenus, on a constatées que la forme d’onde est nettement améliorée

On a noté que le THD passe d’une valeur de 147% jusqu’à 14%, après l’incorporation d’un filtre résonant à la fréquence 150Hz, 250Hz et 350Hz.

Comme on peut noter encore que le courant absorbé par la charge et son filtre devient plus important, il est passé de 0.05A à 0.4 A, ceci est dû à la consommation du filtre.

6. Partie Expérimentale

6.1. Sans filtre

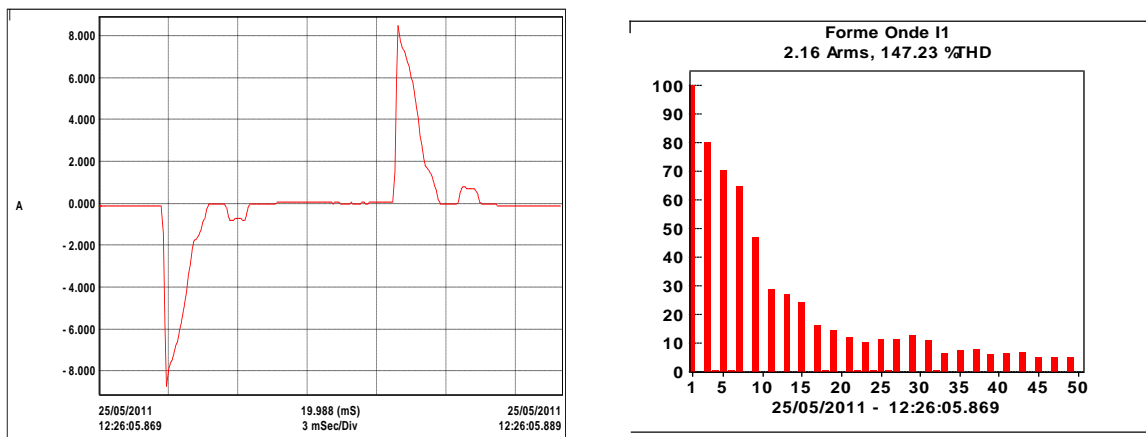


Figure IV.13 : Courant de source I_s sans filtre.

6.2. Avec filtre

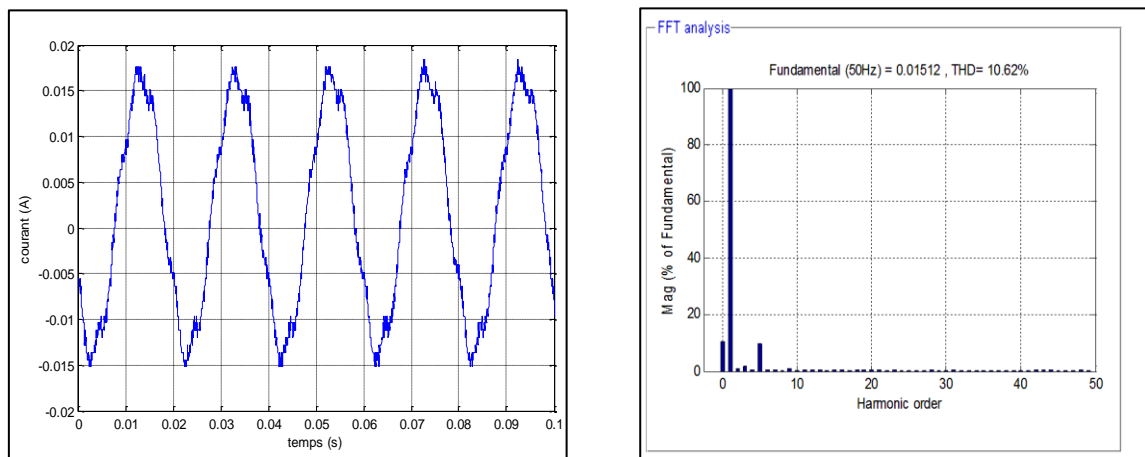


Figure IV.14 : Courant de source I_s et spectre d'harmonique avec filtre de rang 3

6.3. Interprétation

Comme on voit sur les figures présentées, la forme d'onde des courants est devenue quasi sinusoïdale, néanmoins on constate de la même manière en simulation que le courant de source à augmenter.

Il est à signaler que la valeur de la capacité et de l'inductance utilisées ne sont pas adoptées faute de leur non disponibilité au laboratoire.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentées la solution permettant de réduire le courant non sinusoïdale créés par une lampe à basse consommation, cette solution est le filtrage passif.

On s'est intéressées à l'application d'un filtre passif résonant pour différents rangs d'harmoniques tel que 3,5 et 7 coté de simulation. Afin de valider les résultats de simulation on a appliquées un filtre résonant de rang 3 dans la partie expérimentale.

On a vu comment l'utilisation des filtres permet à la fois de réduire les harmoniques et d'améliorer le facteur de puissance.



Conclusion générale

L'énergie électrique est un facteur essentiel pour le développement et l'évolution des sociétés. Le producteur de l'électricité, doit assurer la continuité du service et garantir la qualité de la fourniture sous forme d'une tension parfaitement sinusoïdale.

L'existence des harmoniques dans un réseau électrique, incite à prendre impérativement des dispositions, afin d'atténuer ou d'éliminer leurs conséquences sur les appareils sensibles.

L'objectif de ce travail est le diagnostic d'un réseau BT, alimentant des lampes basses consommation (L.B.C) destinées à une consommation avec économie d'énergie.

Pour cela une étude générale a été présentée sur les perturbations ou distorsions harmoniques générées par des charges non linéaires connectées aux réseaux électriques.

Des normes en vigueur ont été présentées, Ces normes, notamment imposées aux distributeurs d'énergie, autorisent cependant la génération d'harmoniques dans certaines limites. En outre, le respect de ces normes motive l'étude et le développement de méthodes efficaces pour dépolluer les réseaux électriques.

Par ailleurs, des solutions de filtrage des harmoniques, développées dans le chapitre quatre, peuvent, également, être envisagées. Nous avons alors présentées, de manière générale, les solutions traditionnelles et modernes utilisées en filtrage : filtres passifs, filtres actifs ou bien encore la combinaison des deux.

Ces travaux ont été validés par simulation. L'ensemble des simulations ont été effectués à l'aide des outils MATLAB/SIMULINK.

Nous pensons que les résultats de simulation obtenus étaient satisfaisants et ont montrés l'efficacité de la solution adoptée à savoir la baisse sensible des taux de distorsion dans tous les cas de simulation.

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec les grandeurs harmoniques en électrotechnique, de connaître les effets néfastes des courants et des tensions harmoniques et ce, pour prévenir les effets des harmoniques et les solutions à envisager pour les éliminer.



Références bibliographiques

[1] cahiers techniques : Schneider électrique

N° 04 : détections et filtrage des harmoniques

N° 152 : perturbations harmoniques dans les réseaux pollués et leur traitement

N°183 : harmoniques : convertisseurs propres et compensateurs actifs

N°199 : la qualité de l'énergie électrique

N°205: l'alimentation des circuits d'éclairage. Jacques Schonek, Marc Vernay. avril 2002.

[2] N.NAHED, M.HADJI

«Evaluation de perte de puissance due aux harmoniques dans un réseau électrique» Mémoire d'ingénieur. UMMTO.2006

[3] CHAUVIN ARNOUX

«Dossier : puissance, énergie et perturbation » Fiche d'application «harmoniques»-ed1-service communication 05/2008

[4] MOHAND ALAA EDDIN ALALI

«Contribution à l'Etude des Compensations Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension».Université Louis-Pasteur « Strasbourg I »,12 Septembre 2001

[5]THIERRY DEFLANDRE, PHILIPPE MAURAS

«Les harmoniques sur les réseaux électriques» .Direction des études et recherche électriques de France. 5^{ème} édition eyrolles.

[6] S.CHALLAL, N.YASSA

«Analyse de la propagation harmonique dans un réseau électrique »Mémoire d'ingénieur UMMTO .2005

[7] S.MAKHLOUF, C.MOUSSA

«Filtrage des harmoniques dans une liaison AC/DC mono terminale »mémoire d'ingénieur. UMMTO. 2010.

[8] : OULD ABDESLAM.DJ

«Commande numérique d'un convertisseur triphasé à quatre bras par MLI vectorielle à trois dimensions (application au filtrage actif) » thèse de doctorat de l'école doctorale pluridisciplinaire Jean-Henri LAMBERT.2005

[9] : G. CHATAIGNE, M.BOES, D.BOUIX

« Manuel de Génie Électrique : Rappels des cours, méthodes, exemples et exercices »
Paris, 2006

[10] ; STEEVE BEAULIEU

« Etude Et Mise Au Point D'un Filtre Actif D'harmoniques En Vue D'améliorer La Qualité De L'alimentation Electrique ». Thèse de doctorat, Université du Québec a Chicoutimi, 2007

[11] :A.BERTHON, S.SAADATE

« Contribution A L'étude Du Filtrage D'harmoniques Des Réseaux De Distribution A L'aide De L'association De Filtre Actif Et Passif Parallèle » Mémoire d'ingénieur, l'Institut national polytechnique de lorraine ,1995.

[12] : FICHE TECHNIQUE

De QUALISTAR, « notice de fonctionnement ». Et fiche technique de QUALISTAR, « notice d'utilisation »

[13] : THEODORE WILDY

« Electrotechnique "4^{ème} édition de Boeck » Ingénieur, institut de recherche d'Hydro-Québec.

Résumé :

Le transport et l'utilisation de l'énergie électrique dans les réseaux industriels, s'accompagnent d'une déformation de la sinusoïde du courant et de la tension, cette déformation est due essentiellement à des perturbations électriques ou harmoniques, ces dernières sont les plus fréquentes, du fait de la prolifération des charges non linéaires tel que les convertisseurs, les ordinateurs, les lampes basse consommation ... etc.

Cette distorsion détériore la qualité d'énergie offerte par le fournisseur d'électricité et les performances des équipements raccordés au réseau électrique.

L'objectif de ce travail est le diagnostic d'un réseau BT, alimentant des lampes basses consommation (L.B.C) destinées à une consommation avec économie d'énergie.

L'utilisation des filtres permet a la fois de réduire les harmoniques et d'améliorer le facteur de puissance

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec les grandeurs harmoniques en électrotechnique et de connaître les effets néfastes des courants et des tensions harmoniques et ce, pour prévenir les effets des harmoniques et les solutions à envisager pour les éliminer.

Mots clés :

TDH, harmoniques, LBC, spectre harmonique, rang harmonique, capteur, tension harmonique, courant harmonique.