

FST-FES



Rapport de stage

UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

RADEEF



Génie Electrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

# Etude et analyse des harmoniques générées dans le réseau électrique Moyenne Tension (MT) & Basse Tension (BT)

Réalisé par :

Mohammed ALAMI

Encadré par :

Pr Najia ES-SBAI

(FST FES)

Mr. Mohamed EL MOKHTARI

(RADEEF)

Soutenu le 7 Juin 2017 devant le jury

Pr

N. ES-SBAI

(FST FES)

Pr

F.ERRAHIMI

(FST FES)

Pr

H. EL MARKHI

(FST FES)

## *Dédicaces*

J'ai le grand plaisir de dédier ce travail à :

- A mes parents:

Pour toute l'affection et l'encouragement qu'ils m'ont prodigués malgré leur lourde responsabilité, rien ne pourrait compenser ces sacrifices sauf les sentiments d'autosatisfaction et le bonheur de voir les efforts récompensés par mes réussites.

- A mes soeurs :

En témoignage des liens solides et intimes qui nous unissent tout en vous souhaitant un avenir plein de succès et de bonheur.

- Tous mes amis et mes collègues et particulièrement les plus intimes en témoignage des moments inoubliables, des sentiments purs, et des liens solides qui nous unissent.
- Veuillez accepter mes meilleurs vœux de réussite et de prospérité.

## *Remerciements*

En présentant ce travail à la soutenance, je souhaite au préalable accomplir l'agréable devoir d'exprimer mes profondes reconnaissances à tous ceux qui ont prêté leur bienveillance à la réalisation de mon travail.

Avant tout je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Madame ES- SBAI Najia, d'avoir accepté de m'encadrer et de m'orienter durant l'élaboration de ce modeste travail.

Je remercie aussi mon encadrant professionnel Mr. ELMOKHTARI Mohamed pour sa sympathie, sa disponibilité et sa critique constructive sans laquelle mon rapport n'aurait pas le même résultat.

Enfin j'adresse mes sincères et chaleureux remerciements au corps administratif et professoral de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès qui travaillent en symbiose pour assurer un enseignement solide de qualité.

# Sommaire

Liste des figures .....	6
Liste des tableaux .....	7
INTRODUCTION GENERALE .....	8
<b>Partie I : Présentation de la RADEEF .....</b>	<b>9</b>
I. Evolution de la RADEEF .....	10
II. Fiche technique de la RADEEF .....	10
III. Organigramme de la RADEEF .....	10
IV. Département d'exploitation d'électricité .....	11
V. Quelques notions sur les services parcourus .....	12
Service Postes MT/BT .....	12
Service Lignes MT/BT .....	16
<b>Partie II : Thème réalisé Etude des phénomènes harmoniques .....</b>	<b>18</b>
I. Description du phénomène .....	19
II. L'analyse de Fourier .....	19
1. Expressions Mathématiques .....	20
2. Parité des fonctions .....	20
III. Harmoniques et charges électriques .....	21
1. Courant absorbé par les charges non linéaires .....	21
2. Charges non linéaires symétriques .....	21
3. Charges triphasées .....	22
4. Charges monophasées .....	23
5. Caractérisation d'une charge "non linéaire" .....	24
IV. Causes et conséquences des harmoniques .....	26
1. Causes des harmoniques .....	26
2. Effets des harmoniques .....	26
Les effets instantanés .....	29
Effets à long terme .....	27
V. Les solutions générales aux harmoniques .....	28
1. Filtres passifs .....	28
Les filtres résonants .....	28
Les filtres amortis .....	29
Filtres actifs .....	30
Le filtre actif parallèle (F.A.P) .....	30
Le filtre actif série (F.A.S) .....	31
La combinaison parallèle série actifs .....	31
Les Avantages des filtres actifs .....	32
Choix de filtre approprié à utiliser .....	32
VI. Le cas pratique .....	33
1- Applications .....	33
Visualisation des harmoniques .....	33

Tolérance autorisées par la RADEEF des valeurs des harmoniques .....	35
2- Solutions proposées.....	36
3- Etude technico-financière .....	37
Conclusion Générale .....	39

# Liste des figures

Figure 1 : L'organigramme de la RADEEF.....	11
Figure 2 : Exemple des plaques signalétiques des cellules.....	13
Figure 3 : Exemple des fusibles utilisés .....	13
Figure 4 : L'intérieur des cellules .....	14
Figure 5 : Transformateur MT/BT.....	14
Figure 6 Plaque signalétique.....	14
Figure 7 : Cailloux pour repérer les fuites de l'huile .....	14
figure 8: Tableau urbain (T8) .....	15
Figure 9 : Condensateurs de compensation .....	15
Figure 10 : Plaque significatif.....	15
Figure 11 : Détecteur de courant .....	15
Figure 12 : Voyant lumineux .....	15
Figure 13 : Différents type de câble utilisé.....	16
Figure 14 : Groupe Électrogène.....	17
Figure 15 : Image d'une onde déformée .....	19
Figure 16 : Exemple de charge non linéaire quelconque (non symétrique) .....	21
Figure 17 : Charges triphasées.....	22
Figure 18 : Pont redresseur triphasé avec filtrage capacitif.....	23
Figure 19 : Allure du courant absorbé par le schéma de la figure précédente.....	23
Figure 20 : Spectres harmoniques du courant absorbé par le circuit de la figure.....	23
Figure 21 : Allure du courant absorbé .....	24
Figure 22 : Redresseur monophasé avec filtrage capacitif .....	24
Figure 23 : Spectre harmonique du courant absorbé .....	24
Figure 24 : Quelques exemples d'appareils comportent un redresseur monophasé.....	24
Figure 25 : Courant absorbé par un triphasé .....	28
Figure 26 : Structure d'un filtre résonant .....	29
Figure 27 : Structure d'un filtre amorti .....	29
Figure 28 : Montage d'un filtre actif parallèle (FAP).....	31
Figure 29 : Montage d'un filtre actif série (FAS) .....	31
Figure 30 : Combinaison parallèle série actif (UPQC).....	32
Figure 31 : Onde fondamentale .....	33
Figure 32 : Spectre de rang 1.....	34
Figure 33 : Onde des harmoniques des rangs 3, 7, 13, 21.....	34
Figure 34 : Spectre des harmoniques des rangs 1, 3, 8, 13, et 21.....	35
Figure 35 : Cout harmonique toléré de rang 13.....	35
Figure 36 : Courant harmonique toléré de rang 6.....	36

# Liste des Tableaux

Tableau 1: Principales caractéristiques de filtre passif et actif .....	38
Tableau 2: Eléments de comparaison entre les deux filtrages .....	38
Tableau 3: Etude financière des filtres actif et passif.....	39

# Introduction Générale

C'est toujours dans un souci potentiel de former des licenciés hautement qualifié dans plusieurs filières, dont entre autres Génie Électrique, que la Faculté des Sciences et Techniques de Fès accorde une importance majeure aux stages effectués au sein des entités socio-économiques.

Depuis de nombreuses années, les distributeurs d'énergie électrique s'efforcent de garantir la qualité d'électricité fournie. Aujourd'hui, les critères de qualité ont évolué avec le développement des équipements où l'électronique de puissance prend une place prépondérante dans les systèmes de conversion de l'énergie et qui a entraîné une dégradation et des perturbations de la qualité de courant dans les installations électriques. On trouve parmi ces perturbations extérieures les harmoniques. L'objectif de ce projet est d'évaluer la pollution harmonique causée par ces équipements au sein d'un réseau électrique et de proposer des solutions pour les atténuer.

C'est ainsi que j'ai eu la possibilité d'effectuer mon projet de fin d'études au sein de la Régie Autonome de Distribution des Eaux et Electricité de Fès (RADEEF). Tout au long de ces 8 semaines j'ai été amené d'une part à suivre les différentes équipes du Département d'Exploitation d'Electricité afin de prendre connaissance des tâches quotidiennes et parallèlement j'ai pu mener des recherches sur les problèmes des harmoniques en basse fréquence sous le guide de mon encadrant.

Dans le présent rapport, je vais tracer mon parcours qui n'a pu être que bénéfique et avantageux pour moi autant sur le plan professionnel que social. Ainsi, je vais commencer dans le 1<sup>er</sup> chapitre par une présentation de la structure d'accueil. Dans le second chapitre, sera consacrée à l'étude des phénomènes harmoniques, leurs origines, leurs causes, leurs conséquences ainsi que la détermination des solutions permettant de réduire les effets indésirables. Ensuite, pour le 3<sup>ème</sup> chapitre, je vais citer quelques applications pour visualiser les harmoniques. .



# Chapitre I :

## Présentation de la RADEEF

Dans cette partie, je vais donner une présentation générale de la RADEEF afin d'avoir une idée sur le fonctionnement interne de cet établissement ainsi je vais citer les différents services dont j'ai vécu pendant ma période de stage.

## **I. Evolution de la RADEEF :**

La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la ville de Fès (R.A.D.E.E.F) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle a été créée par la délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date du 30 Avril 1969 et avait comme mission principale la gestion du réseau électrique de la ville. A partir de 1970, la régie assurait aussi la distribution de l'eau potable. En 1993, la régie a commencé l'étude, la réalisation ainsi que l'entretien liquide du réseau d'assainissement. Par conséquent, la R.A.D.E.E.F réponds aux besoins de la population en matière d'eau potable et d'électricité. Elle s'occupe de la gestion du patrimoine dans le but d'offrir un service de qualité aux clients ou aux abonnés. La régie bénéficie d'un monopole d'Etat dans les zones urbaines de Fès puisqu'elle assure ses besoins en Eau et en Electricité à partir de l'Office National de l'Electricité et de l'Eau potable (ONEE).

## **II. Fiche Technique de la RADEEF :**

**Dénomination** : Régie Autonome intercommunale de Distribution D'Eau et d'Electricité de FES.

**Siège social**: 10, rue Mohammed El KAGHAT B.P:2007, FES.

**Date de création** : 1er Janvier 1970.

**Forme juridique** : établissement Public à caractère Commercial doté de l'autonomie financière.

**Exercice comptable** : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre.

**L'activité** : la production, la distribution de l'eau potable et l'assainissement liquide et la distribution d'électricité.

**Principal fournisseur** : ONEE.

**L'effectif** : 1109 agents.

**Téléphone** : 05-35-62-50-15.

## **III. Organigramme générale de la RADEEF :**

Il est à noter qu'à la RADEEF il existe, selon l'importance des tâches et des effectifs, des divisions et des services. Cependant ils sont tous pilotés par la direction générale. Les divisions sont plus importantes que les services en termes de tâches et d'effectif. L'organigramme général de la RADEEF se présente comme suit:

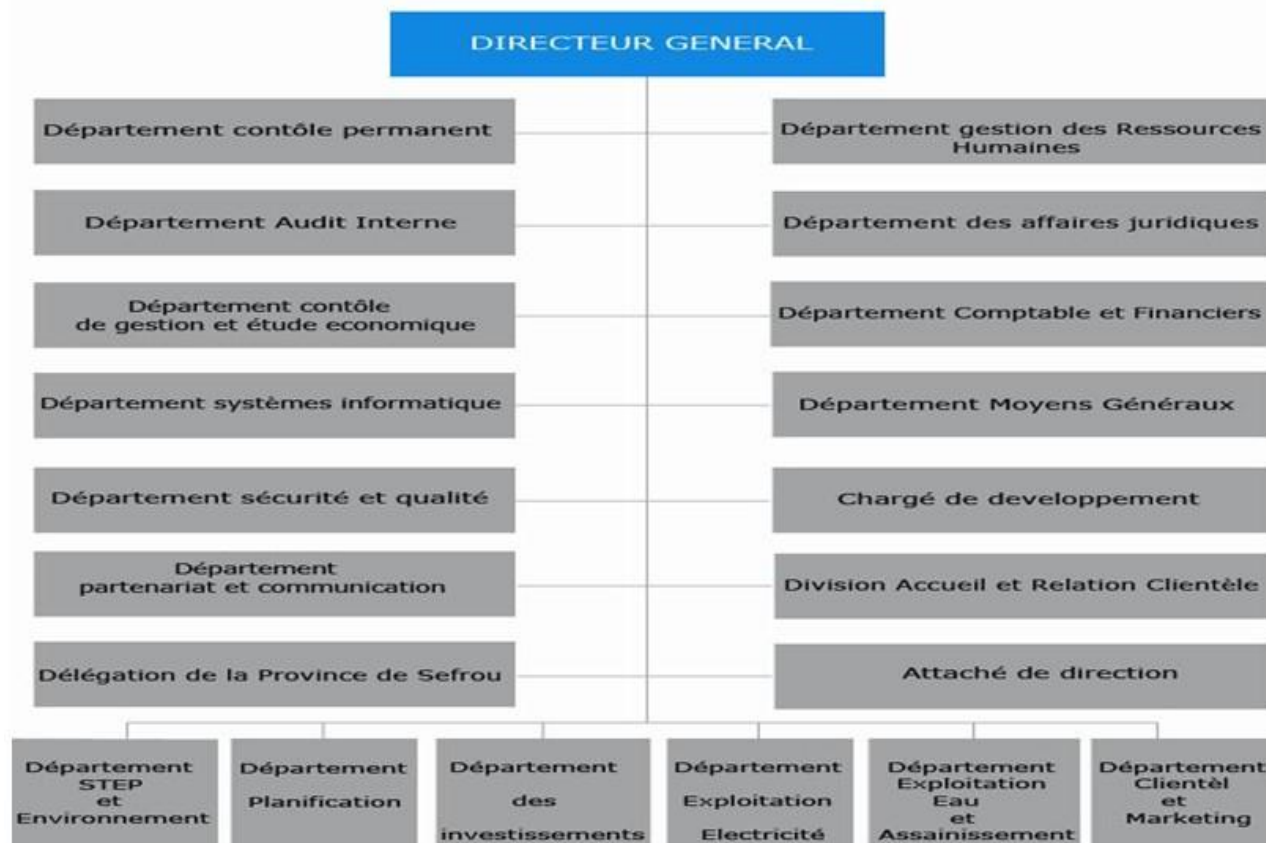


Figure1 : Organigramme de Direction

#### IV- Département d'exploitation d'électricité :

Il est chargé d'assurer en quantité et en qualité la distribution d'électricité selon le besoin de la ville de Fès.

Le département d'exploitation électricité a connu de profondes mutations, grâce à la réalisation du projet innovant BCC (Bureau Central de Conduite). Cette innovation permet, à partir d'un bureau central de conduite, de gérer en temps réel l'ensemble du réseau d'électricité moyenne tension de la ville de Fès. Cet accès à distance est réalisé par l'intermédiaire des postes asservis(PA), ces derniers permettant au BCC de commander tous les postes réseaux qui sont éloignés.

Le département d'exploitation électricité s'occupe principalement des travaux d'exploitation électricité, de la gestion du réseau électrique et assure aussi la mise en conformité de l'éclairage public de la ville de Fès

Ce département possède quatre divisions :

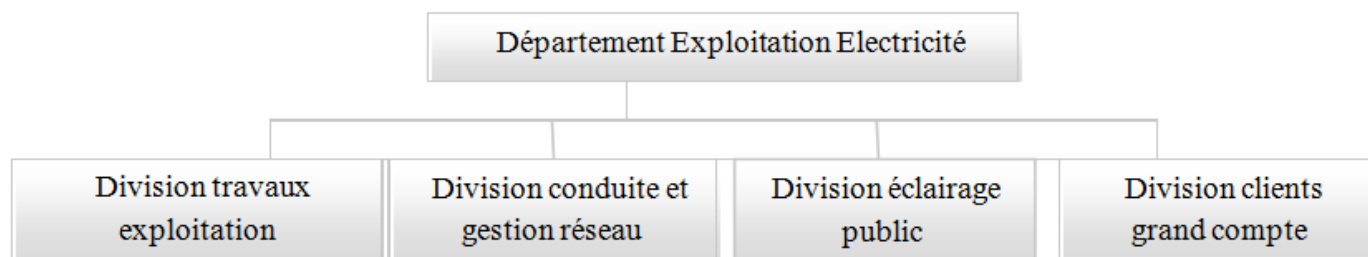


Figure : Organigramme du Département Exploitation Electricité

- **Division conduite et gestion réseau :**

Ce stage s'est déroulé dans la division conduite et gestion réseau, cette division se compose de 3 services :

❖ **Service conduite du réseau :** est chargé des interventions rapides basses et moyennes tension et ses activités principales sont :

- ✓ Recherche des défauts.
- ✓ Réparation des défauts HTA & BT.
- ✓ Les dépannages simples.

Ce service se compose de 5 bureaux :

1. **Bureau des réclamations:** est chargé de la réception des réclamations téléphoniques des abonnés et de la coordination avec le bureau intervention rapide.
2. **Bureau intervention BT :** Il effectue les tâches suivantes :
  - ✓ Interventions sur le réseau HTA/BT.
  - ✓ Réparations des défauts HTA/BT.
  - ✓ Contrôle des charges et des tensions des départs BT.
  - ✓ Réparations des fils coupés.
3. **Bureau opérateur HTA :** s'occupe de la réception des nouveaux postes HTA/BT et de l'établissement des réseaux HTA en cas de déclenchement ainsi que du suivi des défauts signalés par la télégestion en coordination avec le BCC.
4. **Bureau Central de Conduite BCC :** Ses activités principales sont :
  1. La supervision des réseaux HTA.
  2. Suivi des puissances appelées.
  3. Commande à distance des postes HTA/BT.
5. **Bureau administrateur système SCADA:** Un SCADA, acronyme de l'anglais Supervisory Control And Data Acquisition (télésurveillance et acquisition de données) ce bureau a pour but :
  - ✓ Administration du système SCADA.
  - ✓ La mise à jour des bases de données du système SCADA.
  - ✓ Développement des programmes informatique relatifs à la télégestion du réseau.
  - ✓ La configuration des équipements de téléconduite.
  - ✓ L'élaboration des consignes d'exploitations des postes télécommandés.

❖ **Service mesure & protection :** a pour mission de vérifier quotidiennement les postes sources et les réglages des protections et la recherche des défauts HTA & BT.

❖ **Service Télécoms :** ce service a plusieurs tâches à savoir : la surveillance du réseau radio, la maintenance la réparation et installation des équipements radiocommunication, la gestion du parc radiocommunication, la programmation des émissions/réceptions radio administratif.

## V- Quelque notions sur les services parcourus :

❖ **Service postes MT/BT :**

Ses attributions peuvent se résumer comme suit :

- Aménager et entretenir les postes de distribution
- Changer les transformateurs MT/BT
- Confectionner les postes de jonction et d'extrémité
- Réparer les défauts au niveau des postes

### Description d'un poste de transformation :

Un poste de transformation se compose des éléments suivants :

- **Le passage en coupure :**

Formé par deux cellules munie chacune par un interrupteur à grand pouvoir de coupure, shunté en haut par un jeu de barres. Sur la première on raccorde le câble d'arrivé et sur le deuxième on raccorde le câble de départ.

- **La protection du transformateur :**

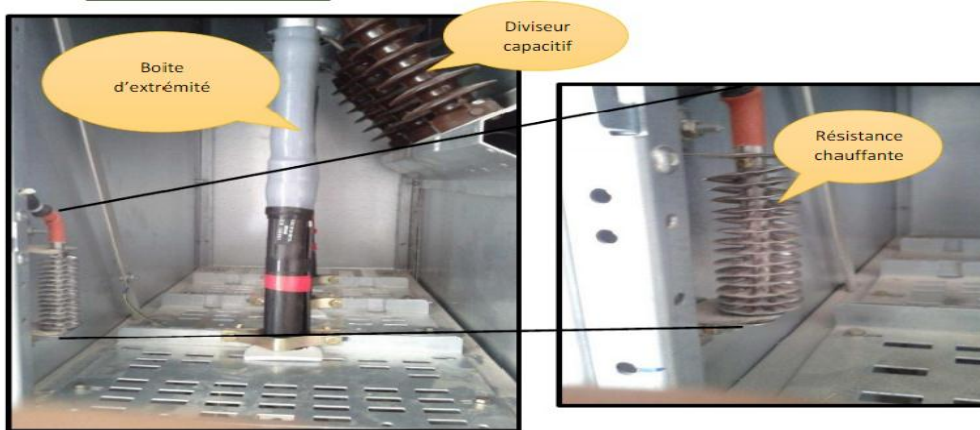
Elle est constituée par un interrupteur combiné avec fusible



Figure 2: Exemple des plaques signalétiques des cellules



Figure 3: Exemple des fusibles utilisés



**Figure 4: L'intérieur des cellules**

La boîte d'extrémité a pour rôle de ne pas laisser le champ magnétique disperser.  
La résistance chauffante pour laisser les câbles secs.

- **Le transformateur de puissance**

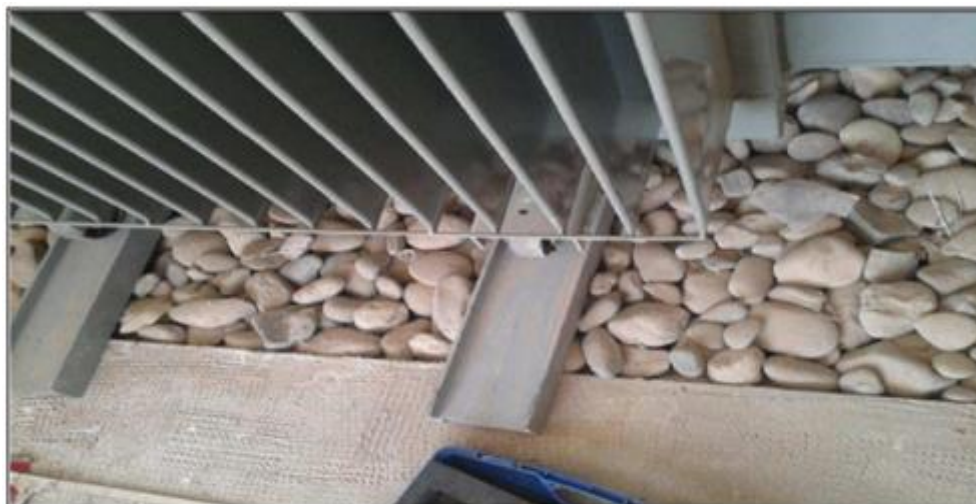
Il est constitué principalement par 3 enroulements primaires et 3 enroulements secondaires, le tout est placé à l'intérieur d'une cuve baignée dans l'huile pour l'isolation des enroulements  
Il est utilisé pour transformer de la moyenne tension 20KV vers la basse tension 220V/380V



**Figure 5: Transformateur MT/BT**



**Figure 6: Plaque signalétique**



**Figure 7: Cailloux pour repérer les fuites de l'huile**

- **Tableau urbain :**

Il est constitué de 8 départ pour distribuer l'électricité vers les abonnés



Figure 8: Tableau urbain (T8)

- **Les condensateurs de compensation :**



Figure 9: Condensateurs de compensation



Figure 10: Plaque significatif

- **Détecteur de courant de défaut :**



Figure 11: Détecteur de courant



Figure 12 : Voyant lumineux

## ❖ Service ligne :

Le rôle de ce service consiste à :

- L'entretien des lignes aériennes MT/BT.
- Renouveler les poteaux bois ou béton en mauvais état.
- Entretien des groupes électrogènes.
- Assurer l'inventaire du matériel.

- **Type de câble utilisé :**

Nom	utilisation	
Câble armée	Souterrain	
Câble torsadé	Surface	
Câble aérienne	aérienne	

Figure 13: Différents type de câble utilisé

- **Groupe électrogène :**

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur.





**Figure 14: Groupe Electrogène**

**Conclusion :** Dans cette partie, j'ai présenté l'organigramme et la fiche technique de la RADEER et le département d'exploitation d'électricité dont lequel j'ai effectué mon stage.

## Chapitre II :

# Etude des phénomènes d'harmonique

Dans ce chapitre, je vais étudier la problématique de la propagation des harmoniques dans les réseaux électriques, notamment l'impact de cette propagation sur les différents secteurs (industriel, domestique, tertiaire), ainsi les solutions pour les atténuer

## I. Description du phénomène:

Les réseaux électriques ainsi que la quasi-totalité des appareils raccordés à ce dernier sont soumis à de nombreuses perturbations depuis l'arrivée sur le marché des composants d'électronique de puissance tels les thyristors, les triacs, ou les transistors de forte puissance.

Ces composants ont permis le développement de convertisseurs statiques qui assurent le réglage et la transformation de l'énergie électrique d'une forme à une autre. Ces convertisseurs vis-à-vis du réseau sont vus comme étant des charges non linéaires. Ils injectent des courants harmoniques dans le réseau électrique.

Une harmonique est une onde multiple produite par une autre onde. Cette dernière a une amplitude et une fréquence. La fréquence fondamentale utilisée dans nos réseaux électriques est de 50 Hz. Les harmoniques ont une valeur correspondant à des multiples pairs ou impairs de la 50Hz. Ainsi, la fréquence de la cinquième harmonique est de 250Hz (5 x 50Hz). Son amplitude peut se mesurer en volts ou en ampères.

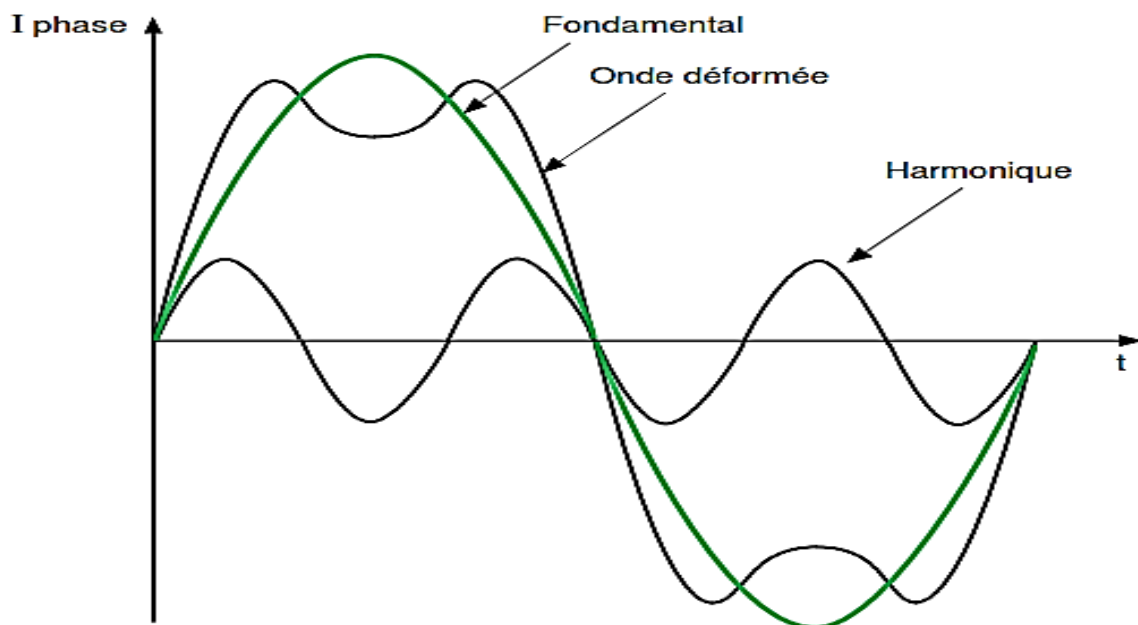


FIGURE 15 : Image d'une onde déformée

## II. L'ANALYSE DE FOURIER

L'analyse de Fourier permet la décomposition de la forme d'onde non sinusoïdale de courant en somme de signaux sinusoïdaux, avec différentes fréquences et amplitudes.

## 1. Expressions Mathématique :

La forme la plus couramment utilisée de la décomposition en série de Fourier d'une fonction  $f(t)$  est la forme algébrique suivante :

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n \omega t + b_n \sin n \omega t) \quad (1)$$

Où  $n$  : un entier naturel et  $\omega = 2 \pi f$ .

$a_0$  : Une constante qui représente la moyenne de la fonction.

Le calcul des coefficients  $a_n$  et  $b_n$  se fait à partir des relations suivantes :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} f(t) dt \quad (2)$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n \omega t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cos(n \omega t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} f(t) \cos(n \omega t) dt \quad (3)$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n \omega t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin(n \omega t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} f(t) \sin(n \omega t) dt \quad (4)$$

## 2. Parité des fonctions

Le calcul des coefficients de la décomposition en série de Fourier d'une fonction  $f(t)$  se simplifie lorsque la fonction à décomposer est paire ou impaire.

Pour les fonctions paire où  $f(t)=f(-t)$ , il en résulte que :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} f(t) dt \quad (5)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n \omega t) dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cos(n \omega t) dt \quad (6)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n \omega t) dt = 0 \quad (7)$$

La décomposition en série de Fourier d'une fonction paire ne contient que des termes en cosinus avec éventuellement la moyenne .

Pour le cas des fonctions impaires  $\langle f(-t)=-f(t) \rangle$ , il en résulte que :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = 0 \quad (8)$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n \omega t) dt = 0 \quad (9)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt \quad (10)$$

La décomposition en série de Fourier d'une fonction impaire ne contient que des termes en sinus. De plus, elle ne possède pas la constante

### III. Harmoniques et charges Électrique:

#### 1. Courant absorbé par les charges non linéaires :

Les courants harmoniques sont générés par les charges non-linéaires, c'est-à-dire, absorbant un courant n'ayant pas la même forme que la tension qui les alimente. Les charges de ce type les plus courantes sont celles à base de circuits redresseurs.

Une charge non-linéaire quelconque, comme celle représentée sur la **figure 16**, absorbe un courant qui contient tous les rangs d'harmoniques, pairs et impairs.

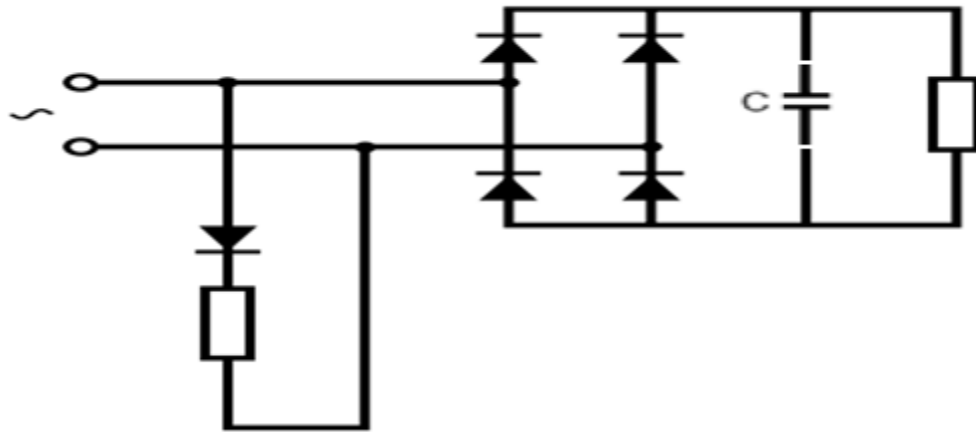


FIGURE 16 : Exemple de charge non linéaire quelconque (non symétrique)

#### 2. Charges non linéaires symétriques :

La plupart des charges connectées au réseau sont toutefois symétriques, c'est-à-dire que les demi-alternances de courant sont égales et opposées.

Ceci peut s'exprimer mathématiquement par la relation :  $f(\omega t + \pi) = -f(\omega t)$

Dans ce cas, les harmoniques de rangs pairs sont nuls. En effet, en supposant que le courant comporte une harmonique de rang 2, il est possible d'écrire par exemple :

$$I(\omega t) = I_1 \sin(\omega t) + I_2 \sin(2\omega t) \quad (11)$$

$$I(\omega t + \pi) = I_1 \sin(\omega t + \pi) + I_2 \sin 2(\omega t + \pi) \quad (12)$$

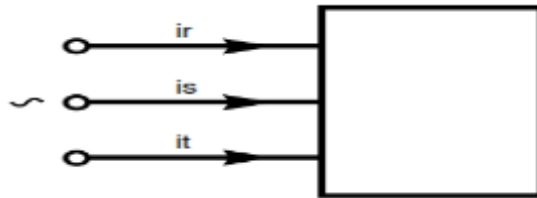
$$I(\omega t + \pi) = -I_1 \sin(\omega t) + I_2 \sin(2\omega t) \quad (13)$$

Ceci ne peut être égal à  $-I(\omega t)$  que si  $I_2$  (amplitude de l'harmonique 2) est nulle.

Le raisonnement peut être étendu à tous les harmoniques de rang pair.

### 3. Charges triphasées :

Considérons une charge triphasée non linéaire, équilibrée, symétrique, sans raccordement au neutre, comme représentée sur la **figure 17**.



**FIGURE 17 : Charges triphasées**

Supposons que les courants absorbés par cette charge contiennent de l'harmonique 3.

Dans les systèmes triphasés, chaque tension entre phases présente un déphasage de  $120^\circ$ , ce qui provoque un déphasage de  $120^\circ$  pour le courant par phase.

Les courants harmoniques de rang 3 de chacune des phases peuvent s'écrire de la manière suivante :

$$i_{r3} = I \sin(3\omega t) \quad (14)$$

$$i_{s3} = I_3 \sin(\omega t - 2\pi/3) = I_3 \sin(3\omega t - 2\pi) = i_{r3} \quad (15)$$

$$i_{t3} = I_3 \sin(\omega t - 4\pi/3) = I_3 \sin(3\omega t - 4\pi) = i_{r3} \quad (16)$$

Les courants harmoniques de rang 3 des trois phases donc égaux. Or, en absence de conducteur de neutre,  $\mathbf{I_r + I_s + I_t = 0}$ . La somme des courants harmoniques de rang 3 en particulier doit être nulle, ce qui n'est pas possible que si chacune des composantes est nulle.

Les charges triphasées, équilibrées, symétriques, ne génèrent donc pas d'harmoniques de rangs 3. Le raisonnement peut s'étendre à tous les harmoniques des rangs multiples de 3. Les courants harmoniques non nuls sont donc de rang 5, 7, 11, 13,...

Ce résultat est illustré par le schéma constitué d'un redresseur à diodes avec filtrage capacitif (figure 18), dont le courant absorbé est représenté par la courbe de la figure 19 et son spectre sur la figure 20.

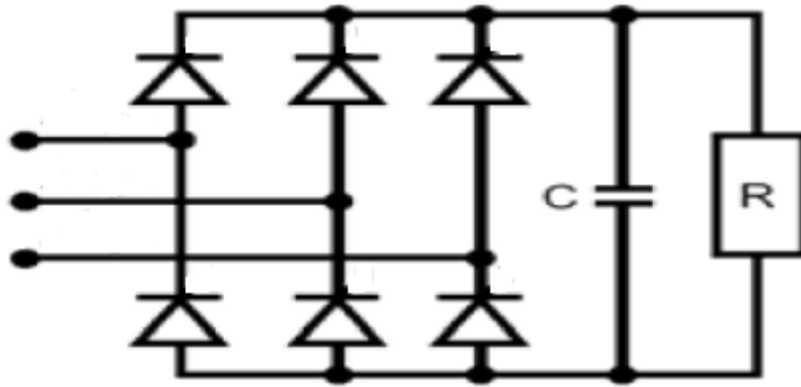


Figure 18 : Pont redresseur triphasé avec filtrage capacitif

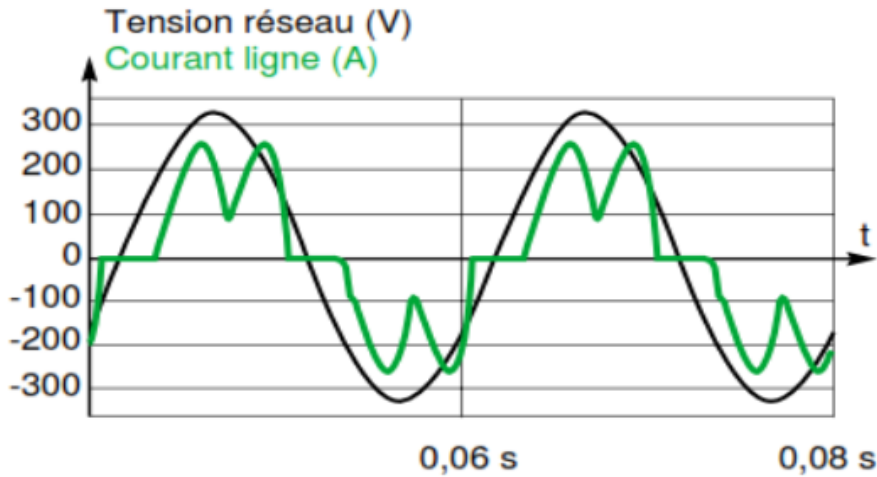


Figure 19 : Allure du courant absorbé par le schéma de la figure précédente

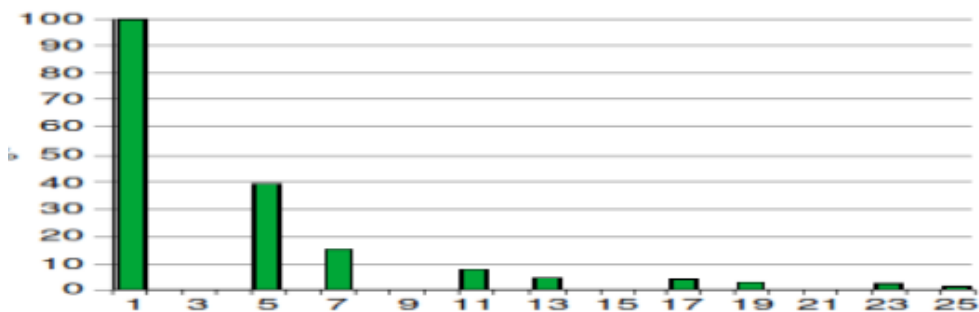


Figure 20 : Spectres harmoniques du courant absorbé par le circuit de la figure 16

#### 4. Charges monophasées :

Rappelons que les charges symétriques ne génèrent pas d'harmoniques de rang pair. Le spectre étant en général décroissant, l'harmonique de rang 3 est donc l'harmonique prépondérant pour les charges monophasées. Ainsi, pour les charges très répandues de type redresseur monophasé à diodes avec filtrage capacitif (figure 22), l'harmonique de rang 3 peut atteindre 80 % du fondamental. La forme de l'onde du courant qu'elles absorbent et son spectre harmonique sont représentés par les figures 21 et 23.

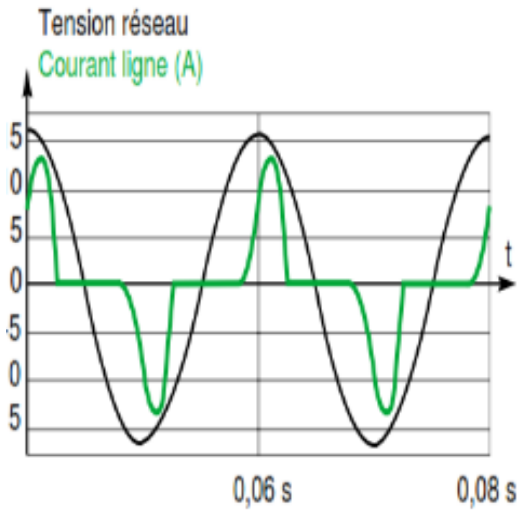


Figure 21 : Allure du courant absorbé.

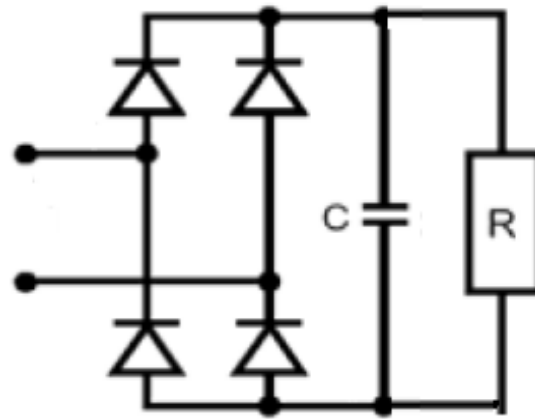


Figure 22 : Redresseur monophasé avec Filtrage capacitif.

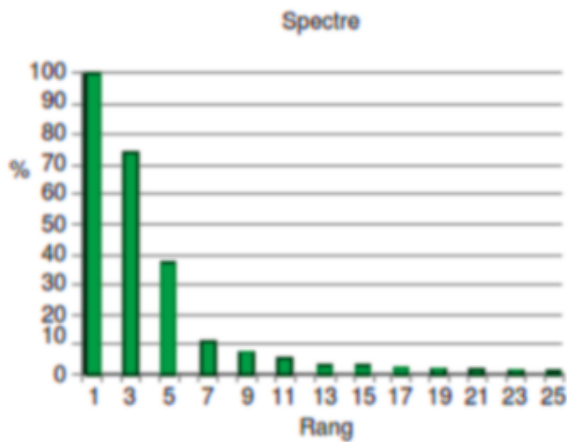


Figure 23 : Spectre harmonique du courant absorbé

Domaine d'activité	Appareils
Domestique	TV, hi-fi, vidéo, fours à micro-ondes, ...
Tertiaire	Micro-ordinateurs, imprimantes, photocopieuses, télécopieurs, ...
Industriel	Alimentations à découpage, variateurs de vitesse

Figure 24 : Quelques exemples d'appareils comportent Un redresseur monophasé avec filtrage capacitif

### 5. Caractérisation d'une charge non linéaire :

Une charge non linéaire est alimentée par une tension de forme :

$$V(t) = V \sin(\omega t) \quad (17)$$

Elle absorbe un courant  $i(t)$  non sinusoïdal de forme :

$$i(t) = I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_n) \quad (18)$$

○ De valeur efficace :  $I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad (19)$

○ De fondamental :  $i(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_1) \quad (20)$



## ❖ Expressions de ses puissances par phase :

$$\begin{array}{l}
 \text{L'apparente } S: \quad S = VI \quad (21) \\
 \text{L'active } P: \quad P = VI_1 \cos(\varphi_1) \quad (22) \\
 \text{La réactive } Q: \quad Q = VI_1 \sin(\varphi_1) \quad (23)
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} S \\ P \\ Q \end{array}} \right\} \sqrt{P^2 + Q^2} = VI_1 = S_1 < S \quad (24)$$

Il existe de la puissance déformante D :

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)} \quad (25) \quad \Rightarrow \quad D = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (26)$$

La puissance déformante est liée aux harmoniques de courant.

## ❖ Expression des grandeurs utiles de caractérisation :

L'une des solutions destinées à déceler la présence d'harmoniques est le calcul des taux de distorsion harmonique. Lorsque le THD est égal à zéro, on peut conclure qu'il n'y a pas d'harmoniques sur le réseau.

Le taux de distorsion harmonique :

$$THD = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (27)$$

Le facteur de puissance  $f_p$  est le suivant :

$$f_p = \frac{P}{S} \quad (28)$$

On définit le facteur de déplacement :

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (29)$$

Le facteur crête  $F_c$  :

L'une des caractéristiques permettant d'identifier un signal déformé est son facteur de crête.

Dans le cas d'un signal sinusoïdal, non déformé, ce dernier correspond à :

$$F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{eff}}} = \sqrt{2} \quad (30)$$

Lorsque le courant est déformé, le facteur de crête est supérieur à cette valeur.

### ❖ Expression de S et $F_p$ en relation avec THD :

$$\text{La puissance déformante } D : \quad D = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (31) \quad \Rightarrow \quad D = S_1 T_{dh} \quad (32)$$

$$\text{La puissance apparente } S : \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (33) \quad \Rightarrow \quad S = S_1 \sqrt{1 + (T_{dh})^2} \quad (34)$$

$$\text{Le facteur de puissance } F_p : \quad f_p = \frac{P}{S} \quad (35) \quad \Rightarrow \quad f_p = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + (T_{dh})^2}} \quad (36)$$

## IV. Causes et conséquences des harmoniques:

### 1. Causes des harmoniques :

Les dispositifs électroniques de puissance (les convertisseurs) intégrés dans les équipements sont principale cause des harmoniques.

Pour alimenter les composants électroniques en courant continu, l'équipement dispose d'une alimentation à découpage avec redresseur à l'entrée qui génère des courants harmoniques.

Il s'agit, par exemple d'ordinateurs, de variation de vitesse, etc.

Les autres charges causent une distorsion du courant à cause de leur mode de fonctionnement et génèrent aussi des harmoniques. Il s'agit par exemple : Des lampes fluorescentes, des lampes à décharger, des machines à souder, des dispositifs comportant un cœur magnétique qui peut être saturé.

Toutes les charges qui provoquent une distorsion du courant sinusoïdal normal créent des harmoniques, et sont appelées des charges non linéaires.

### 2. Effets des harmoniques:

Les tensions et les courants harmoniques superposés à l'onde fondamentale conjuguent leurs effets sur les appareils et équipements utilisés. Ces grandeurs harmoniques ont des effets différents selon les récepteurs rencontrés :

- Soit des effets instantanés.
- Soit des effets à terme dus aux échauffements.

#### ❖ Les effets instantanés :

Ils apparaissent immédiatement dans certains appareillages.

- Pertes énergétiques :

Les courants harmoniques provoquent dans les conducteurs et les équipements des pertes supplémentaires par effet Joule. Par exemple :

- ✓ Réduction de la puissance des moteurs.
- ✓ Surcharges des câbles, transformateurs et moteurs.
- ✓ Augmentation du bruit dans les moteurs.

- **La perturbation des lignes à courant faible :**

Les appareils à courant faible se voient perturber lorsqu'on les utilise à côté d'une ligne de distribution électrique ayant une forte puissance. C'est le cas par exemple des téléphones portables, on entend mal.

- **Déclenchements intempestifs et arrêts d'installation:**

Les disjoncteurs d'une installation sont soumis à des pointes de courant dues aux harmoniques. Ces pointes de courants peuvent provoquer des déclenchements intempestifs, et induire des pertes de production ainsi que des coûts liés au temps de remise en marche de l'installation.

- **Vibration et bruit:**

Les courants harmoniques génèrent des vibrations, des bruits acoustiques, surtout dans les appareils électromagnétiques (transformateurs, inductances). Des couples mécaniques pulsatoires, dus aux champs tournants harmoniques, donneront des vibrations dans les machines tournantes. Ils peuvent entraîner une destruction du matériel.

❖ **Les effets à long terme:**

Ils se manifestent après une longue exposition au phénomène et se traduisent par une perte partielle des fonctionnalités ou une destruction complète de l'appareil.

Parmi ces effets, on trouve :

- **Echauffement, vieillissement:**

Il y'a un risque de résonance avec le circuit amont (l'inductance du réseau), suite à la circulation de certains rangs harmoniques. Ce phénomène peut entraîner un facteur d'amplification du courant dans le condensateur provoquant sa surcharge et pouvant conduire à son claquage.

- **Les échauffements dans les conducteurs et les équipements électrique :**

Les conducteurs électriques véhiculent les courants harmoniques qui produisent, par effet Joule, un échauffement des conducteurs au même titre que le courant fondamental. Malheureusement, les harmoniques ne contribuent pas au transfert de la puissance active, ils créent uniquement des pertes électriques et participent à la dégradation du facteur de puissance de l'installation.

Les condensateurs sont particulièrement sensibles à la circulation des courants harmoniques du fait que leur impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques présents dans le signal déformé.

- **Conséquences sur le conducteurs de neutre :**

Dans un système équilibré, les composantes homopolaires dans le neutre sont nulles. Ceci n'est pas le cas des systèmes comportant une charge non linéaire.

En effet, les courants homopolaires des harmoniques de rang multiple de 3 vont s'additionner dans le conducteur neutre. L'intensité de ces courants superposés peut endommager sérieusement le câble du neutre (voir figure 25).

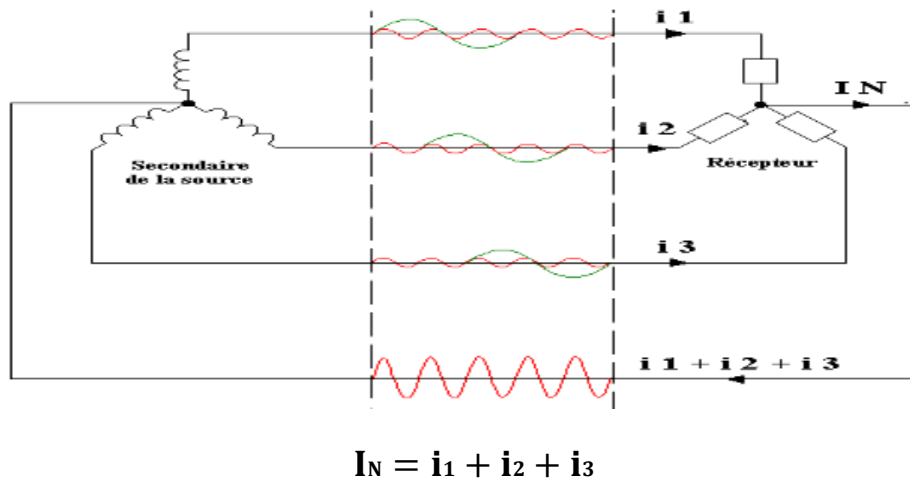


Figure 25 : Courant absorbé par un triphasé

## **V. Les solutions générales aux harmoniques :**

Il y a plusieurs méthodes pour limiter les effets harmoniques et réactifs d'un courant perturbé, parmi ces méthodes il y'a le filtrage. Différents types de filtres ont été développés, on peut distinguer deux types de filtres :

### **1. Filtres passifs :**

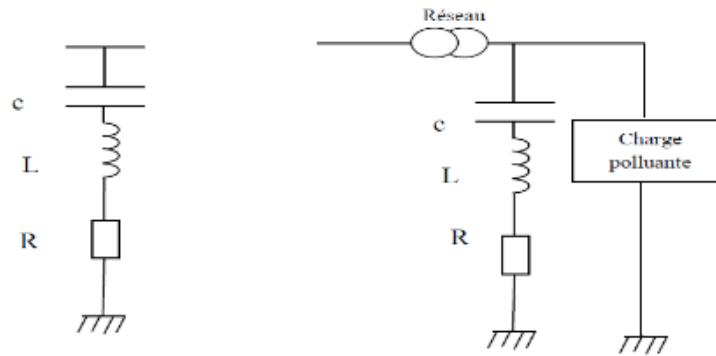
Le principe est de piéger les courants harmoniques dans les circuits LC, accordés sur les rangs d'harmoniques à filtrer, donc il se comporte comme court-circuit pour l'harmonique considéré.

Un filtre comprend 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. Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source d'énergie.

Il existe deux classes de filtres passifs permettant de réduire les harmoniques :

#### **➤ Les filtres résonants :**

Ils sont constitués par la mise en série d'une inductance, d'une résistance, et d'un condensateur (figure 26).



**Figure 26 : Structure d'un filtre résonant**

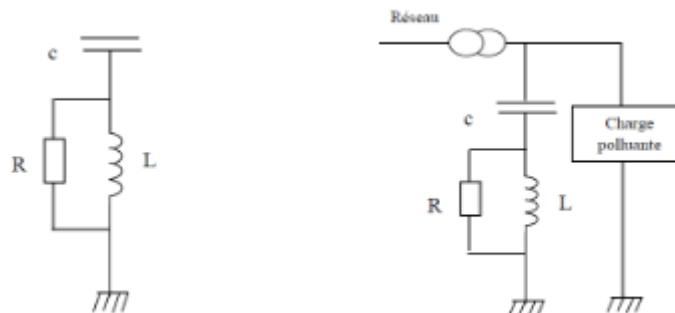
Ce type de filtre est caractérisé par l'emplacement de trois filtres, deux pour les harmoniques d'ordre inférieur et un filtre pour les harmoniques d'ordre supérieur, c'est-à-dire pour un pont triphasé nous avons besoin d'un filtre passe bas pour le cinquième et l'autre pour le septième harmonique et d'un filtre passe haut pour tous les harmoniques au-delà du 11<sup>ème</sup>.

L'emploi du filtre shunt résonant impose les préparations suivantes :

- S'assurer que la fréquence d'antirésonance est suffisamment éloignée du rang harmonique à piéger pour ne pas amplifier la déformation de la tension à cette fréquence.
- Penser que l'existence d'harmoniques sur le réseau peut entraîner un échauffement supplémentaire des condensateurs.

### ➤ Les filtres amortis :

La figure 27 donne la structure d'un filtre amorti, ce type n'est efficace que si le rang d'harmonique à éliminer est suffisamment élevé (à partir de H=13).



**Figure 27 : Structure d'un filtre amorti**

Ce dispositif (filtrage passif) empêche les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive.

Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients :

- Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- Equipements volumineux.

- Problème de résonance avec l'impédance du réseau.

Le filtre passif présente des avantages et des inconvénients parmi lesquels on trouve:

### ❖ **Avantages :**

La plus simple

La moins cher

Son adaptation pour des réseaux de forte puissance.

### ❖ **Inconvénient :**

Elle est d'une efficacité moyenne.

Elle n'offre que très peu de flexibilité et quasiment aucune évolutivité.

S'adaptent mal aux variations du réseau et de la charge.

Problèmes de résonance avec l'impédance de réseau.

Equipements volumineux.

Lorsqu'il ya plusieurs rangs harmoniques à filtrer, il est nécessaire de mettre autant de filtres accordés sur les rangs correspondants.

## **2. Filtres actifs :**

Les filtres actifs sont des convertisseurs de puissance, agissant comme source de courants ou de tensions harmoniques, qui injectent en série ou en parallèle dans les réseaux des courants ou des tensions harmoniques en opposition par rapport aux perturbations existantes.

Parmi les filtres actifs, on peut citer : les filtres actifs parallèles, série et série-parallèle

**Filtre actif parallèle :** Conçu pour compensés toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et la puissance réactive.

**Filtre actif série :** Conçu pour compensés toutes les perturbations de courant comme les harmoniques, les déséquilibres et les creux de tension.

**Combinaison parallèle-série :** Solution universelle pour compensés toutes les perturbations en courant et en tension.

- **Le filtre actif parallèle (FAP) :**

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau, comme le montre la figure 28, se comporte comme un générateur de courant. Il injecte dans le réseau des courants perturbateurs égaux à ceux absorbés par la charge polluante, mais en opposition de phase avec ceux-ci. Le courant côté réseau est alors sinusoïdal.

Ainsi l'objectif du filtre actif parallèle (FAP) consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance du réseau, du réseau, située en amont du point de connexion du filtre actif.

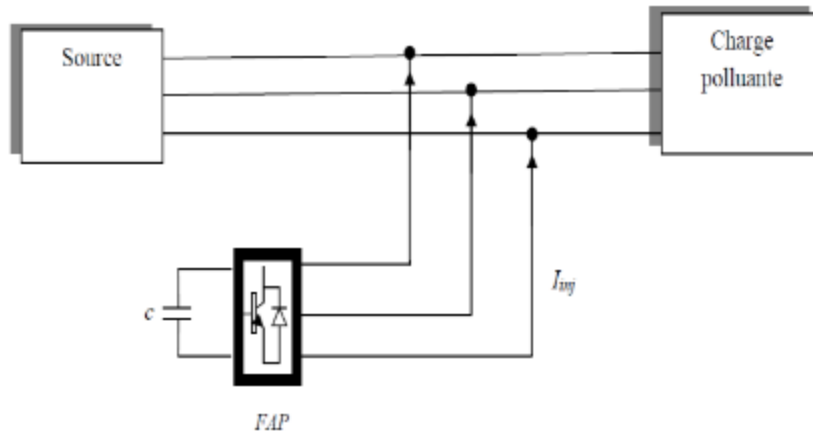


Figure 28 : Montage d'un filtre actif parallèle(FAP)

- **Le filtre actif série (FAS) :**

Le filtre actif série se comporte dans ce cas, comme une source de tension qui s'oppose aux tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmonique) venant de la source et également à celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau.

Ainsi la tension aux bornes de la charge à protéger est purement sinusoïdale.

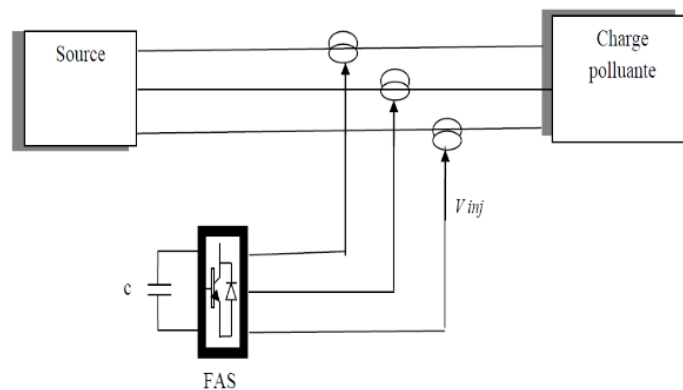


Figure 29 : Montage d'un filtre actif série (FAS)

- **Combinaison parallèle série actifs :**

La combinaison parallèle série actifs, aussi appelée Unified Power Quality Conditioner (UPQC), résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série, comme le montre figure 30.

Profitant des avantages des deux filtres actifs, cette combinaison assure un courant et une tension sinusoïdaux du réseau électrique à partir d'un courant et d'une tension perturbés de celui-ci.

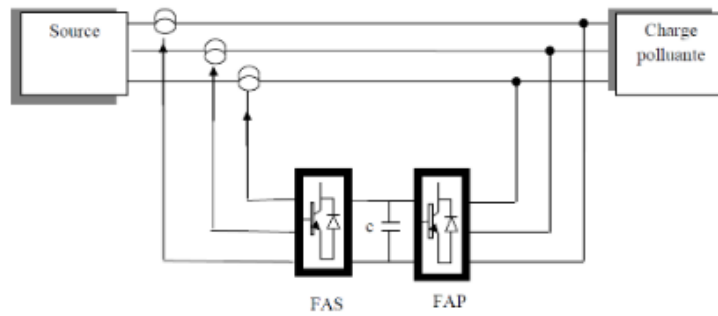


Figure 30 : Combinaison parallèle série actifs (UPQC)

- **Les avantages des filtres actifs :**

Le filtre actif offre de nombreux avantages :

- ✓ Il s'adapte automatiquement à l'évolution des charges et du réseau.
- ✓ Il peut compenser plusieurs rangs harmoniques (dans la limite de sa bande passante).
- ✓ Il ne passe pas à la surcharge lorsque le courant harmonique à compenser dépasse le dimensionnement du filtre actif.
- ✓ Il limite son émission de compensation harmonique au maximum de ses capacités, mais il n'y a aucun risque de destruction.
- ✓ Un compensateur actif peut protéger des condensateurs de compensation par élimination des courants harmoniques générés par une charge. De même, un compensateur actif de tension type série peut protéger des condensateurs ou des filtres passifs contre une distorsion de tension provenant du réseau amont.
- ✓ La compensation d'énergie réactive à 50 Hz est possible, mais elle est coûteuse par rapport à une solution passive ==> Le filtrage actif est donc plus intéressant sur des charges ne nécessitant pas de la compensation réactive.

- **Choix de filtre approprié à utiliser :**

Le filtre passif permet à la fois :

- La compensation d'énergie réactive.
- Une grande capacité de filtrage en courant.

L'installation où est placé le filtre doit présenter une stabilité suffisante, avec peu de fluctuation de charge.

Si la puissance réactive fournie est importante, il est conseillé de mettre hors tension le filtre passif pendant les périodes de faible charge. L'étude de raccordement d'un filtre doit tenir compte de la présence éventuelle d'une batterie de compensation et peut conduire à sa suppression.

- Le filtre actif permet le filtrage des harmoniques sur une large bande de fréquence. Il s'adapte à n'importe quelle charge.
- Le filtre hybride réunit l'ensemble des performances des filtres passifs et actifs.

Le filtrage passif est une solution lourde et non exempte de risque. Une alternative forte séduisante est l'utilisation de compensateur actifs. Ces dispositifs utilisent une structure de type convertisseurs actifs.

Ainsi, grâce aux progrès des semi-conducteurs, les convertisseurs, qui sont habituellement des pollueurs harmoniques, sont capables d'être des dépollueurs efficaces et auto-adaptatifs.



## VI. Le cas pratique :

### 1- Applications :

Mon étude menée au sein de la RADEEF avec un certain nombre de données m'a permis de visualiser pratiquement le comportement du courant fondamental sans courant harmonique et avec les harmoniques des rangs 3, 7, 13 et 17 (ce sont les harmoniques les plus répandus sur le réseau BT de la RADEEF) pour la période allant de 10/04 au 10/05.

Ces rangs précités sont ceux qui produisent des effets néfastes sur les réseaux électriques de la RADEEF.

Un analyseur de réseau de type DASH 8XPM a été utilisé afin de déceler ces harmoniques.

Des analyses ont été menées au préalable par les équipes de la RADEEF afin de pouvoir cerner les problèmes de la qualité d'énergie.

Une application en EXCEL a été créée en collaboration avec les agents de la LYDEC pour pouvoir visualiser (dans un but purement éducatif pour les stagiaires) les courbes théoriques des tensions ainsi que celle des courants.

- **Visualisation des harmoniques :**

On découvre ci-dessous la première partie de ces travaux pratiques en fonction des valeurs des courants maximal et efficace.

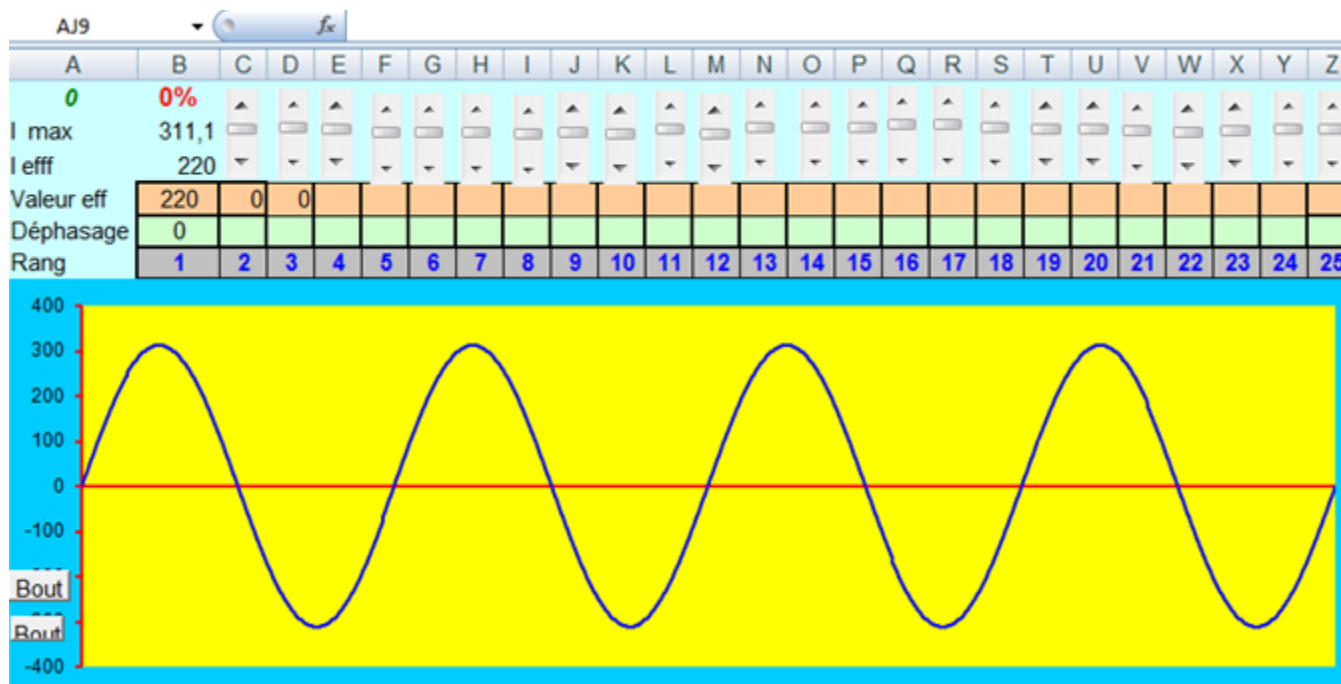


Figure 31 : Onde fondamentale

Cette onde du fondamental a pour caractéristiques :

$$I_{max} = 311.14A ; I_{eff} = 220A ; valeur_{eff} = 220 A et THD = 0\%$$

THD de valeur 0% indique la non présence des harmoniques sur le réseau (cas théorique).

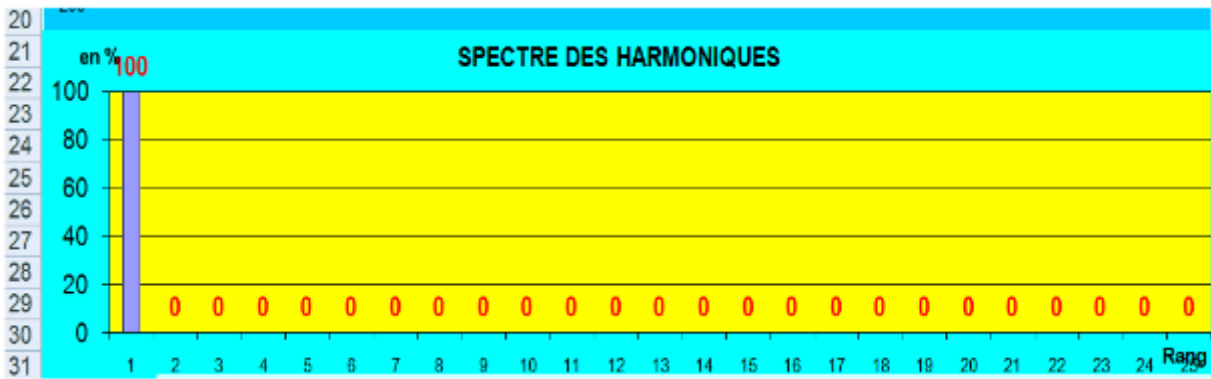


Figure 32 : Spectre de rang 1

C'est le spectre de l'onde du fondamental ci-dessus, il possède une efficacité de 100%.

Sur la figure 33 nous considérons les harmoniques des rangs 3,7, 13 et 17.

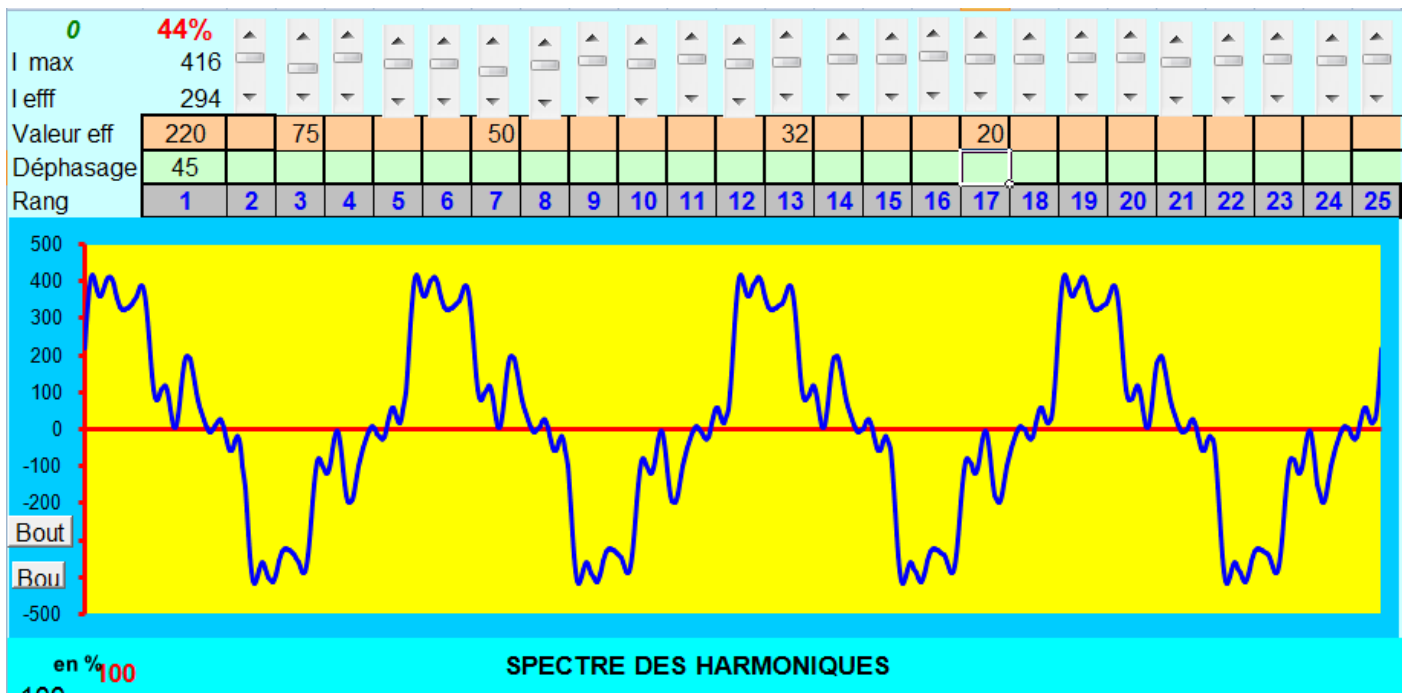


Figure 33 : Onde des harmoniques des rangs 3, 7, 13, 17

Nous remarquons que ces rangs imposent un courant totalement déformé et perturbé et que les perturbations dues aux harmoniques de ces rangs ont entraîné la déformation de l'onde du fondamental. Cela va en effet, porter préjudice au fonctionnement du réseau.

On observe également que les caractéristiques du fondamental sont élevées à  $I_{max}=416A$ ,  $I_{eff}=264A$  et un taux de distorsion augmente de 0% à un THD=44%.

La figure 34 représente les pourcentages de chaque rang par rapport au fondamental, on remarque que l'harmonique du rang 3 possède un THD de 34% et donc celui-ci cause des distorsions plus importantes que les autres harmoniques sur le réseau.

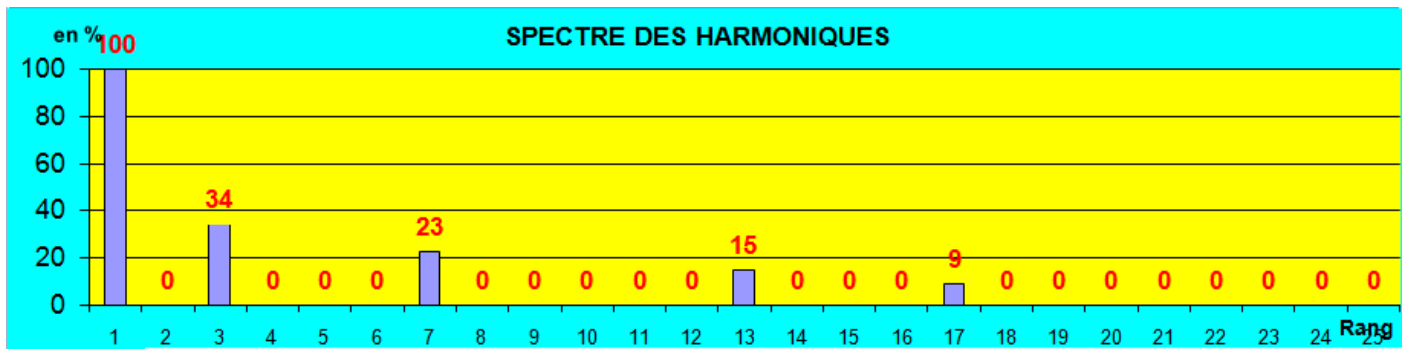


Figure 34 : Spectre des harmoniques des rangs 1, 3, 7, 13 et 17.

On constate avec la présence de ces courants harmoniques une variation croissante du courant max, ainsi la valeur du courant efficace donc une augmentation du taux de distorsion harmonique ce qui a entraîné la déformation de la sinusoïdale du fondamental (fonctionnement normal).

En définitif, l'existence de ces courants harmoniques sur un réseau électrique peut produire de nombreuses perturbations des appareils qui lui sont raccordés et subissent les conséquences décrits précédemment.

- **Tolérance autorisées par la RADEEF des valeurs des harmoniques :**

La deuxième partie traite la variation des courants harmoniques tolérés d'un appareil en fonction des rangs et des indications fixés par le constructeur tels que la puissance souscrite et la tension contractuelle.

Ainsi pour une puissance fixé à 1000 kVa et une tension de 400V, on constate une variation décroissante du courant harmonique toléré en fonction des rangs impaires (1, 3, 7, 13, 17).

Si le consommateur dépasse la valeur du courant harmonique toléré, alors le surplus lui est facturé ce qui augmente le montant de la facture.

	A	B	C	D
1	<b>LES TOLERANCES SUIVANTES SONT DONC COMMUNIQUEES</b>			
2	<b><u>A TITRE INDICATIF</u></b>			
3	<b>PAR LES DISTRIBUTEURS</b>			
4				
5				
6	<b>PUISSANCE SOUSCRITE</b>	<b>1000</b>	<b>KVA</b>	
7	<b>TENSION CONTRACTUELLE</b>	<b>400</b>	<b>Volts</b>	
8	<b>RANG DU COURANT HARMONIQUE</b>	<b>13</b>		
9	<b>COURANT HARMONIQUE TOLERE</b>	<b>43,30</b>	<b>A</b>	
10	<b>PS&gt;100 KVA</b>	$I_{hn} = k_n \frac{P_{Souscrite}}{\sqrt{3} * U_c}$		

Figure 35 : courant harmonique toléré de rang 13

LES TOLERANCES SUIVANTES SONT DONC COMMUNIQUEES A TITRE INDICATIF PAR LES DISTRIBUTEURS		
<b>PUISSANCE SOUSCRITE</b>	<b>1000</b>	<b>KVA</b>
<b>TENSION CONTRACTUELLE</b>	<b>400</b>	<b>Volts</b>
<b>RANG DU COURANT HARMONIQUE</b>	<b>6</b>	
<b>COURANT HARMONIQUE TOLERE</b>	<b>7,22</b>	<b>A</b>
<b>PS&gt;100 KVA</b>	$I_{hn} = k_n \frac{P_{Souscrite}}{\sqrt{3} * U_c}$	

**Figure 36 : courant harmonique toléré de rang 6**

Lorsqu'on a appliqué un rang pair sur le réseau, la valeur du courant toléré est presque négligeable. On trouve 7.22A sur le rang 6 par exemple, et cette valeur reste presque constante pour tous ces rangs pairs.

## 2- Solutions proposées :

Après l'étude pratique qui m'a permis de constater l'existence de ces rangs d'harmoniques capables de perturber le fonctionnement du réseau de la RADEEF, il m'a été demandé de proposer des solutions pour y remédier. Ainsi j'ai suggéré deux solutions de filtrage pour lutter contre ce fléau.

Parmi ces filtres, il y a :

**Les Filtres Actifs Bluewave** éliminent la distorsion harmonique des charges non linéaires et améliorent le facteur de puissance du système. Ils détectent la distorsion harmonique des charges non linéaire et injectent des courants réactifs et harmoniques en opposition de phase afin de rétablir un réseau sinusoïdal optimal et un facteur de puissance=1.

**Les Filtres Passifs NF-HPHF** offrent une solution pratique pour réduire les harmoniques sur des réseaux avec une haute concentration de charges non linéaires reliées au même transformateur. Comme pour les convertisseurs multi-pulses, les filtres passifs NF-HPHF ont un fonctionnement qui dépend de la charge et de la stabilité du réseau.

Le tableau suivant présente quelques critères concernant chaque filtre (son rôle, tension de secteur, gamme de puissance, niveau de protection) pour avoir une idée sur chaque filtre et qui donne au distributeur la possibilité de choisir le plus convenable pour son installation.

Type de filtre	Rôle	Tension secteur	Gamme de puissance	Niveau de protection
<b>Actif Bluewave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Restaurer des réseaux faibles.</li> <li>▪ Augmenter la capacité du réseau.</li> <li>▪ Augmenter la puissance génératrice.</li> <li>▪ Répondre aux recommandations lors de rénovation.</li> <li>▪ Sécuriser les environnements sensibles.</li> <li>▪ Réaliser des économies d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 380-480V AC 50-60 Hz</li> <li>▪ 500-690V AC 50-60 Hz</li> </ul>	190 A, 250 A, 310 A, 400A. Jusqu'à 4 unités peuvent être installées en parallèle pour les variateurs forts puissances.	IP 00, IP 21, IP 5
<b>Passif NF-HPHF</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sécuriser les environnements sensibles.</li> <li>▪ Les réseaux déficients.</li> <li>▪ Réduire les distorsions harmoniques réseau.</li> <li>▪ Les variateurs isolés du réseau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 500-690V AC 50-60 Hz</li> </ul>	250 KW-1 ,4 MW	IP 21, IP 54

**Tableau 1: Principales caractéristiques de filtre passif et actif**

Sur le tableau suivant, je donne quelques éléments de comparaison entre le filtrage passif et le filtrage actif.

Critère	Filtre actif	Filtre passif
Interaction entre filtres voisins	Pas de risque	Risque de destruction de filtres accordés à des fréquences voisins
Rangs Harmoniques compensés	Tous les rangs harmoniques dans sa bande passante	En général, un filtre passif par rang harmonique à compenser
Surcharge	Pas de risque	Risque de détérioration lorsque le courant harmonique à compenser dépasse son dimensionnement
Modification du réseau (variation d'impédance)	Pas d'influence sur les performances	Risque d'amplification des harmoniques (déplacement de fréquence d'anti résonance vers une fréquence harmonique)
Vieillessement	Pas d'influence	Risque de dégradation des performances (dérive de la fréquence d'accord)
Raccordement	Étude préalable simplifiée	Étude au cas par cas parfois complexe
Surveillance de fonctionnement	Réalisée par le système de contrôle – commande	Pas de surveillance particulière
Coût	Coût du filtre plus élevé faible coût d'étude de dimensionnement	Coût du filtre plus faible coût : Étude de dimensionnement parfois complexe obligatoire

**Tableau 2: Eléments de comparaison entre les deux filtrages**

### 3- Etude technico-financière :

Les postes de distribution de la RADEEF sont en nombre d'environ 1600 postes MT/BT. Cependant, les postes les plus touchés par les harmoniques sont au nombre de 443 d'après une étude menée par la RADEEF. Il faut donc prévoir 443 filtres.

Dans le tableau suivant, je donne les coûts de ces deux types de filtre, ainsi le temps de retour de l'investissement estimé.

Type de filtre	Coût de Filtre DH	Coût d'installation des filtres dans 443 postes /DH	Coût d'énergie perdue/DH	Ratio Bénéfice /Coût RBC %	Temps de retour
Actif Bluewave	<b>30 000,00</b>	<b>443*30 000= 13 290 000,00</b>	<b>1 860 000,00</b>	<b>13.99%</b>	100/13.99= 11,32 <b>7ans et 1mois</b>
Passif NF-HPHF	<b>20 000,00</b>	<b>443*20 000= 8 860 000</b>	<b>1 860 000,00</b>	<b>20.99%</b>	100/20.99=4.76 <b>4ans et 7mois</b>

**Tableau 3 : Etude financière des filtres actif et passif**

De point de vue technique un filtre actif rempli bien l'objectif de sa conception, sa fiabilité et sa compensation de tous les rangs harmoniques de sa bande passante.

Un filtre passif certes moins cher, mais vu que le réseau subit des modifications de temps à autre à cause de l'extension et des besoins d'exploitation (surcharge, variation d'impédance...etc.) ce qui a des effets sur sa fiabilité et son bon fonctionnement et demande alors des charges supplémentaires de maintenance (changement ou ajout des filtres détériorés...etc.). Pour toutes ses raisons, la RADEEF opte pour un filtre actif.

#### **Conclusion:**

L'étude pratique présentée dans ce chapitre m'a permis de relever que la circulation des courants harmoniques dans le réseau entraîne une déformation de l'onde de tension. De nombreuses solutions ont été développées pour désensibiliser les installations industrielles et le réseau vis-à-vis de la pollution harmonique. On a pris comme solution le filtrage (actif et passif) en précisant le rôle de chacun ainsi que les coûts et le temps de retour des dépenses de chaque filtre.

# Conclusion Générale

Pratiquement, tous les équipements électriques et électroniques modernes possèdent un système de contrôle de puissance. Il en résulte une charge non linéaire. Ce sont ces équipements qui causent la plupart des problèmes rencontrés dans l'industrie, surtout de part leur nombre et de la production d'harmonique de rang trois.

Suite à l'augmentation du nombre des équipements et sans l'application de normes sévères, il est probable que la pollution harmonique continuera à augmenter. C'est un risque pour les entreprises, qui est peut être géré par des investissements appropriés dès la conception, lors de l'achat des équipements et pour la maintenance.

En somme, j'ai trouvé la mission de la réalisation de ce projet très intéressante et enrichissante puisqu'il s'agissait pour moi d'un domaine inconnu où j'aimerai approfondir mes compétences.

## Bibliographie :

- EL MOKHTARI MOHAMED, PFE 'Etude des harmoniques générées dans le réseau électrique' Juin 2014.
- Principes de Compensation des harmoniques, cours électronique de puissance avancée (année 2008)  
[http://elearning.univ-eloued.dz/courses/EPA02/document/Cours\\_Master2\\_ChapitreII.pdf](http://elearning.univ-eloued.dz/courses/EPA02/document/Cours_Master2_ChapitreII.pdf)
- Hédi Besrou, Présentation sur les harmoniques et leurs effets, mars2007  
<http://www.issatso.rnu.tn/telecharger/cours>