

## II.1 Introduction

L'énergie électrique principalement distribuée sous la forme d'un système triphasé sinusoïdal permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux équipements et matériels de l'électrotechnique. C'est particulièrement l'aspect sinusoïdal de la tension d'origine qu'il est nécessaire de conserver, afin de lui préserver ses qualités essentielles pour la transmission de la puissance utile aux équipements qui représentent les charges. Lorsque la forme de l'onde de tension n'est plus sinusoïdale, on rencontre alors des perturbations qui génèrent des dysfonctionnements et des échauffements des récepteurs et appareillages raccordés sur un même réseau d'alimentation électrique. Afin d'éviter ces problèmes les moyens de compensation sont mis en place, tels que les compensateurs passifs, actifs ou hybrides [33].

## II.2 Perturbation des réseaux

Les tensions d'un réseau électrique constituent un système alternatif triphasé qui est caractérisées par [34]:

- La fréquence de 50Hz ou 60 Hz selon la norme du pays.
- L'amplitude des trois tensions,
- La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'une sinusoïde,
- La symétrie du système triphasé, caractérisée par l'égalité des modules des trois tensions et de leurs déphasages relatifs.

Tout phénomène physique affectant un ou plusieurs de ces paramètres est considéré comme une perturbation. Les principaux phénomènes pouvant l'affecter sont :

- Déséquilibre du système triphasé
- Creux de tension de courte durée
- Coupures de courte durée
- Surtensions de courte durée
- Fluctuations de tension (ou flicker)
- Perturbations transitoires
- Perturbation harmonique

Ce dernier est l'un des phénomènes importants entraînant la dégradation de la qualité de l'énergie, notre étude dans ce chapitre s'intéresse particulièrement à ce phénomène ses origines, leurs effets et les normes de référence qui définit les limites à ne pas dépasser, ainsi les solutions pour les compenser.

## II.3. Perturbations harmoniques

### II.3.1. Définition

Les harmoniques sont des phénomènes périodiques équilibrés qui engendrent la déformation des formes d'onde de tension et de courant. Ces formes d'ondes périodiques non sinusoïdales sont décrites en termes de leurs harmoniques, dont les amplitudes et les angles de phase sont calculés utilisant l'analyse de Fourier. L'analyse permet à une forme d'onde périodique déformée d'être décomposée en série infinie contenant la fréquence fondamentale (50Hz), le deuxième harmonique (100Hz), le troisième harmonique (150Hz), et ainsi de suite. Les différents harmoniques additionnés pour reproduire la forme d'onde originale sont illustré sur la figure II.1. Le rang le plus haut et qui a un intérêt pour les systèmes d'alimentation est habituellement le 25 ème .Le rang  $n$  d'une harmonique est défini comme étant :

$$n = \frac{f_n}{f} \quad (\text{II.1})$$

Où  $f_n$  et  $f$  désignent respectivement la fréquence de l'harmonique et la fréquence fondamentale.

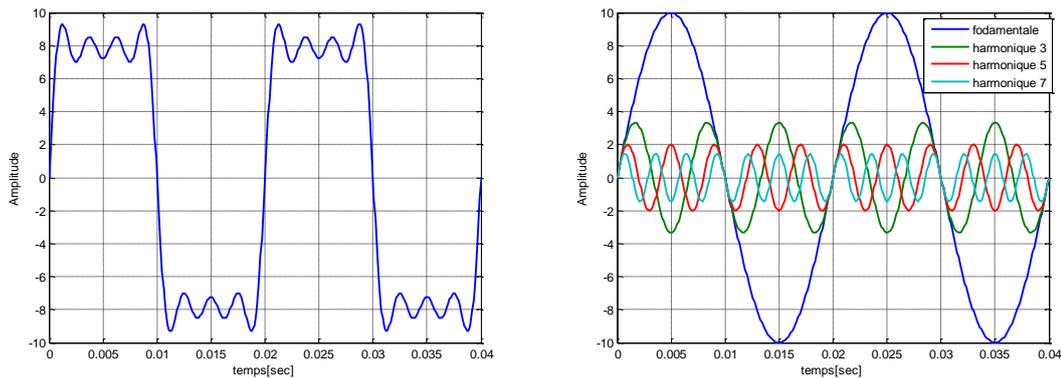


Figure II.1 : Forme d'onde déformée et sa décomposition

### II.3.2. Caractéristique des perturbations harmoniques

Plusieurs grandeurs peuvent caractériser la distorsion en régime déformé, le taux de distorsion harmonique « *THD* », le facteur de puissance  $F_p$ , le facteur de distorsion  $F_d$  et le facteur de crête  $F_c$ .

Un signal  $y(t)$  périodique déformé (courant ou tension) peut être décomposé sous la forme d'une série de Fourier définie par :

$$Y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha) \quad (\text{II.2})$$

Avec  $Y_0$ : valeur de la composante continue, dans ce cas elle est nulle.

$w$ : pulsation de la fréquence fondamentale,

$n$  : rang de l'harmonique,

$Y_n$  : Valeur efficace de l'harmonique de rang  $n$ ,

$\alpha_n$  : Phase de l'harmonique de rang  $n$ .

### a. Taux de distorsion harmonique

Afin de pouvoir quantifier le contenu harmonique dans un signal  $y(t)$  périodique, le taux de distorsion harmonique « *THD* » est le facteur le plus utilisé et le plus significatif. Le *THD* peut être calculé pour un courant ou une tension comme étant la valeur efficace des harmoniques divisés par la valeur efficace du fondamental multiplier par 100% :

$$THD\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{max}} Y_n^2}}{Y_1} \times 100\% \quad (II.3)$$

Avec  $Y_1$  la valeur efficace de composante fondamentale,  $Y_n$  désigne la valeur efficace de l'harmonique de rang  $n$  dans le signal  $y(t)$ , et  $n_{max}$  est le rang maximal considéré pour le calcul (généralement  $n_{max} = 40$  ou  $50$ ).

$$\tau = \frac{Y_n}{Y_1} \quad (II.4)$$

Le taux individuel  $\tau$  de l'harmonique de rang  $n$  est défini par :

Le *THD* du courant varie de quelques pour cent à 100% alors que le *THD* de tension est habituellement moins de 5%. Le *THD* de tension en-dessous de 5% sont considérées acceptables, mais les valeurs au-dessus de 10% sont inacceptables et posent des problèmes pour les équipements et les charges sensibles, selon les normes de référence.

### b. Le facteur de puissance

Pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active  $P$  et la puissance apparente  $S$ . Dans le cas où il y a des harmoniques, une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante ( $D$ ), donnée par la relation (II.5)

$$D = V_s \times \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad (II.5)$$

Le facteur de puissance ( $F_p$ ) devient

$$F_p = \frac{P_L}{\sqrt{P_L^2 + Q_L^2 + D_L^2}} \quad (II.6)$$

Avec :

$P_L$ : puissance active

$Q_L$  : puissance réactive

$D_L$  : puissance déformante

De relation précédent (II.6) on constate que la présence des harmoniques et l'énergie réactive dégrade le facteur de puissance.

### c. Facteur de crête

Pour une même valeur efficace, les formes d'ondes peuvent être différentes. Par conséquent, un facteur permettant de caractériser la forme d'onde est le « facteur de crête », et il est défini comme le rapport de la valeur crête du signal sur sa valeur efficace

$$F_c = \frac{\hat{Y}}{Y} \quad (\text{II.7})$$

### II.3.3. L'origine des harmoniques

Les dispositifs engendrant les harmoniques sont présents dans toutes les installations industrielles, commerciales et résidentielles. Ce sont des charges par définition non linéaires.

Une charge est dite non linéaire quand le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme d'onde comme la tension d'alimentation [32].

Il y a deux catégories de dispositifs qui engendrent les harmoniques :

- Dispositifs saturables
- Dispositifs d'électroniques puissances

#### a. Les dispositifs saturables

Ces dispositifs engendrent des harmoniques dues essentiellement à la saturation du fer, comme c'est le cas pour les transformateurs, les machines électriques et les lampes fluorescentes (avec ballasts magnétiques) Les courants résultant de magnétisation sont riches en troisième harmonique, une Machine synchrone produire un courant de troisième harmonique environ 30% de la fréquence fondamentale. La Figure II.2 illustre la forme d'onde du courant absorbé par un transformateur et son spectre fréquentielle

#### b. Dispositifs d'électroniques de puissances

Les dispositifs, de l'électronique de puissance, présent aujourd'hui au sein de nombreux matériels d'électrotechnique, ainsi que l'électronique des équipements informatiques, contribuent essentiellement à la prolifération des harmoniques. L'utilisation croissante des équipements informatiques et de l'électronique de puissance sur les réseaux électriques contribue à la dégradation de la tension d'alimentation.

Ce sont des charges dites « déformantes » ou « récepteurs non linéaires », elles appellent sur le réseau électrique des courants déformés qui, en fonction de l'impédance du réseau ou lorsqu'ils sont importants en amplitude, vont modifier l'allure de la tension sinusoïdale (figure II.3).

Le signal déformé ainsi obtenu est composé d'harmoniques qui se traduisent par des pertes électriques ou encore des dysfonctionnements sur le réseau électrique d'alimentation.

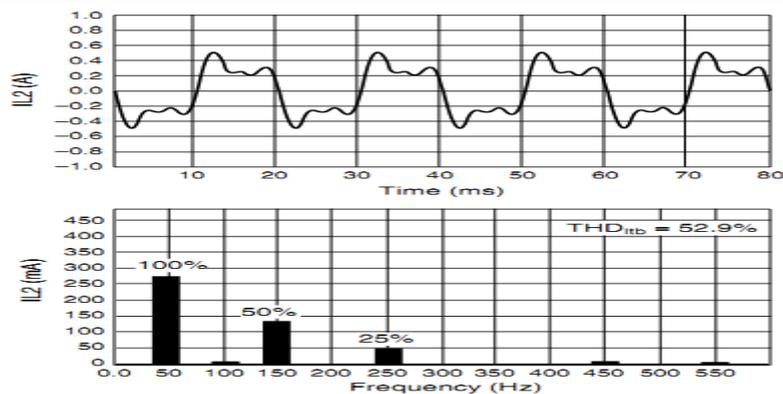


Figure II.2 : Un exemple d'un courant déformé avec un transformateur avec son spectre

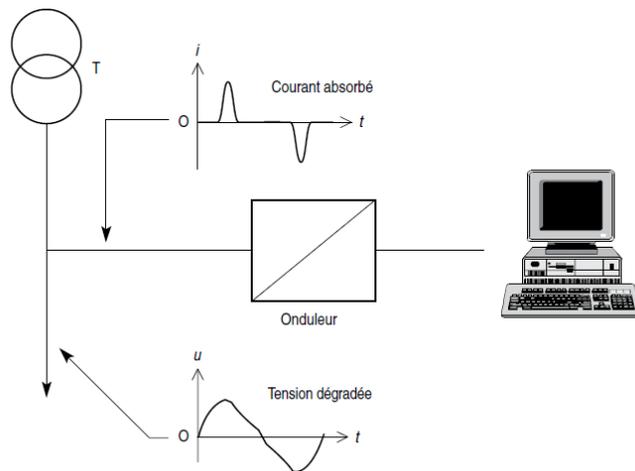


Figure II.3 : Onduleur de tension pour micro-ordinateur.

### II.3.4 Effets des harmoniques

La circulation des courants harmoniques le long des réseaux électriques est à l'origine de plusieurs phénomènes [34], [35], parmi ces phénomènes :

- Déformation de l'onde de tension. En effet, les courants harmoniques associés aux impédances du réseau, aux fréquences correspondantes, créent selon la loi d'Ohm des tensions harmoniques, lesquelles s'ajoutent ou se retranchent à la tension fondamentale.
- Augmentation des pertes joules et diminution du facteur de puissance dans le réseau.
- Détérioration du rendement, échauffements excessifs et vibrations mécaniques dans les machines tournantes à cause des flux harmoniques créés par la distorsion de la tension.
- Surcharge du fil neutre due aux courants harmoniques de rangs impairs multiples de trois, engendrés par des récepteurs non linéaires monophasés.
- Effets néfastes sur les bancs de condensateurs incluant l'échauffement, la diminution de la durée de vie et la fusion des fusibles de protection.

- disfonctionnement des équipements électroniques sensibles.
- Imprécision sur les résultats des instruments de mesure.
- Interférence électromagnétique sur les lignes téléphoniques entraînant du bruit
- considérable aux audiofréquences pouvant même détruire l'information transmise.

#### II.4. Les normes de référence sur les harmoniques

Les distributeurs ainsi que les consommateurs de l'énergie électrique sont conscients de l'importance d'une réglementation standard unique pour les problèmes de la pollution harmonique. Des organismes comme IEC (Commission Électrotechnique Internationale) en Europe et IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en Amérique élaborent des normes efficaces et donnent des recommandations qui peuvent être regroupées en trois catégories :

- 1) Niveaux de compatibilité harmonique en amont du point commun de raccordement :
  - a. IEEE 519-1992
  - b. IEC 61000-2-2
  - c. IEC 61000-3-6
- 2) Limites sur l'émission harmonique des équipements :
  - a. IEC 61000-3-2 (appareils de moins de 16 A par phase)
  - b. IEC 61000-3-4 (appareils de plus de 16 A par phase)
- 3) Guide pour la mesure des harmoniques :
  - a. IEC 61000-4-7

La norme IEEE-519 définit les limites pour les tensions et courants harmoniques au point commun de raccordement (*PCC*) pour assurer le bon fonctionnement des récepteurs dans d'autres sites. À titre d'exemple, les taux individuels  $\tau_n$  maximaux des tensions harmoniques ainsi que le *THD* à ne pas dépasser sont donnés dans le TABLEAU II.1.

**Tableau II.1** : Limites des tensions harmoniques selon IEEE-519

Tension au jeu de barres	Composante harmonique individuelle maximale (%)	THD maximal (%)
69 KV et moins	3.0	5.0
115 KV à 161 KV	1.5	2.5
En dessus de 161 KV	1.0	1.5

## II.5 Solution de réduction des perturbations

Diverses méthodes sont employées afin de réduire la pollution harmonique sur les réseaux de distribution. Parmi ces méthodes, on cite : le surdimensionnement des éléments composant le réseau, l'utilisation de transformateurs spéciaux, le filtrage passif et le filtrage actif. Les deux derniers moyens de réduction mentionnés sont les plus répandus.

### II.5.1. Filtrage passif

Les filtres passifs constituent un moyen conventionnel pour réduire les harmoniques et augmenter le facteur de puissance [38].

#### II.5.1.1 Principe de fonctionnement

Le principe du filtrage passif est de modifier localement l'impédance du réseau afin de faire dévier les courants harmoniques et, du même coup, 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.

Afin de concevoir ce type de filtre, une connaissance précise des caractéristiques et du comportement du réseau sous l'effet des harmoniques est nécessaire. Les types de filtre passif utilisés sont choisis en fonction de l'atténuation harmonique recherchée

#### II.5.1.2. Phénomènes de résonance

L'apparition de phénomènes de résonance est due à la présence sur les réseaux d'éléments capacitifs et inductifs. Le danger de ce phénomène est qu'il peut engendrer de grandes valeurs d'impédance  $Z_n$ , de tension  $V_n$  et de courant harmonique  $I_n$  aux bornes des différents éléments composant le réseau. Lorsque ces valeurs de tension et de courant harmoniques sont trop élevées, ils peuvent endommager et même détruire les équipements qui y sont soumis. On distingue deux types de résonance selon la configuration des éléments capacitifs et inductifs :

##### a. Résonance parallèle :

L'inductance et la capacité en parallèle donnent l'impédance suivante :

$$Z_n = \frac{jLn\omega}{1 - LCn^2\omega^2} \quad (\text{II.8})$$

Il y a résonance lorsque  $X_L = X_C$ , c'est-à-dire, lorsque le dénominateur  $1 - LCn^2\omega^2$  est nul.

Dans ce cas, l'impédance est infinie. La fréquence de résonance est donnée par :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{II.9})$$

##### b. Résonance série :

L'inductance en série avec une capacité donne l'impédance suivante :

$$Z_n = \frac{1 - L_c n^2 \omega^2}{jCn\omega} \quad (\text{II.10})$$

Il y a résonance lorsque  $X_L = X_C$ , c'est-à-dire, lorsque le numérateur  $1 - L_c n^2 \omega^2$  est égal à zéro.

Dans ce cas, l'impédance est nulle. La fréquence de résonance est donnée par :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{II.11}$$

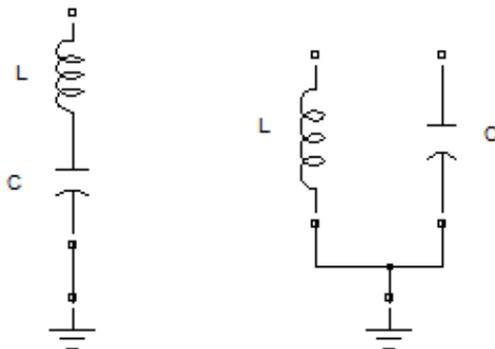


Figure II.4 : Résonance parallèle et résonance série

### II.5.1.3. Classification des filtres passifs

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.

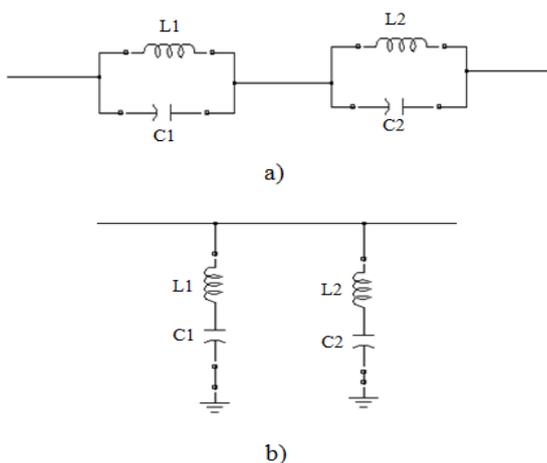


Figure II.5 : a) Filtre passif série et b) Filtre passif parallèle

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

- Il porte uniquement le courant harmonique et il 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. Le filtre parallèle 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

Cependant les filtres passifs posent certains problèmes :

- La conception du filtre nécessite une connaissance approfondie de la configuration du réseau électrique.
- Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source.
- Aux fréquences spécifiques, il existe des anti-résonances entre l'impédance de source et les filtres passifs
- Toute modification du réseau (restructuration, nouveaux clients, ...), en changeant la fréquence d'accord, peut rendre le filtre passif inadapté et perturbateur (phénomène de résonance). Donc, si le réseau se modifie, il faut modifier les paramètres du filtre.
- Pour le fondamental, ces circuits ont un comportement capacitif et sont une source de puissance réactive.

Ces problèmes rendent la conception des filtres passifs difficiles, étant donné que le spectre généré est variable, leurs combinaisons pour des rangs d'harmoniques fixes ne suffisent plus pour dépolluer les réseaux soumis à des perturbations dont le caractère est de plus en plus dynamique.

### **II.5.2. Compensation actif**

Les compensateurs actifs de puissance ou bien les filtre actifs ont été étudiés pour la compensation d'harmoniques dans les réseaux de puissance industriels depuis le principe de compensation proposé par H. Sasaki et T. Machida en 1971 afin de traiter les inconvénients inhérents aux filtres passifs .Le rôle des filtres actif est de compenser en temps réel les perturbations, en tout ou en partie, présentes dans les réseaux électriques. Ils peuvent faire la compensation d'harmoniques, de puissance réactive et/ou de courant de neutre. Ils ont évolué récemment par rapport à la variété de leur configuration, de leur stratégie de commande et de leurs semi-conducteurs de puissance.

Nous nous intéressons aux principales structures, proposées dans la littérature, à savoir les filtres actifs parallèle, série, combiné parallèle-série et les structures hybrides actif-passif.

#### **II.5.2.1. Principe de fonctionnement du filtre actif**

Les filtres actifs sont composés d'onduleurs qui sont des convertisseurs statiques de puissance. Alimenté par une source de courant ou de tension continue, l'onduleur peut délivrer un courant ou une tension dont le contenu harmonique dépend uniquement de la loi de commande de la

commutation des interrupteurs. Les filtres actifs agissent donc comme des sources de tension ou de courant harmoniques en opposition de phase avec ceux du réseau afin de rétablir un courant de source quasi sinusoïdal. Le filtre actif peut être connecté au réseau en série ou en parallèle, suivant qu'il est conçu pour compenser les tensions ou les courants harmoniques [32][62].

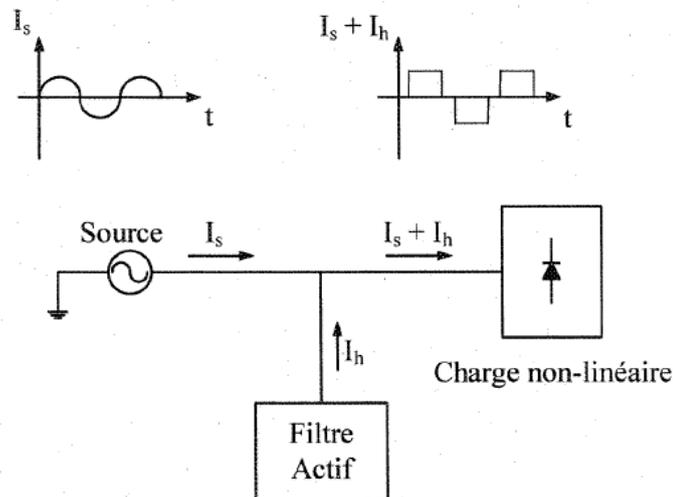


Figure II.6 : Principe de fonctionnement du filtre actif parallèle

Ou :  $I_s$  : Courant de source sinusoïdale (fondamental).

$I_h$  : Courants harmoniques.

### II.5.2.2. Classification des filtres actifs

Les filtres actifs sont classés en se basant sur, la structure du convertisseur qui le constitue, sa topologie, et son nombre de phases. Le type de convertisseur peut être un onduleur à structure de courant ou à structure de tension. La topologie peut être shunt, séries, ou une combinaison des deux. La troisième qui est basée sur le nombre de phase, telles que les systèmes à trois ou à quatre fils (triphases) et les systèmes à deux fils (monophasé).

#### A. Classification Basée sur la structure du convertisseur

Les filtres actifs sont composés d'un onduleur à structure de tension ou d'un onduleur à structure de courant.

##### a. L'onduleur à structure tension

Pour la structure de tension (figureII.7), la source de tension continue est un condensateur  $C_{dc}$ , la tension  $V_{dc}$  aux bornes de  $C_{dc}$  doit être maintenue constante afin d'éviter tout risque de détérioration des interrupteurs de puissance. Ils sont formés à partir de composants semi-conducteurs commandés à la fermeture et à l'ouverture (transistors bipolaires, *MOS*, *IGBT*, *GTO*), en antiparallèle avec une diode. L'inductance  $L_f$  qui constitue un filtre du premier ordre,

placée à la sortie du filtre actif, sert à limiter les variations des courants harmoniques dues aux commutations des bras. On note que c'est la structure utilisé dans notre cas.

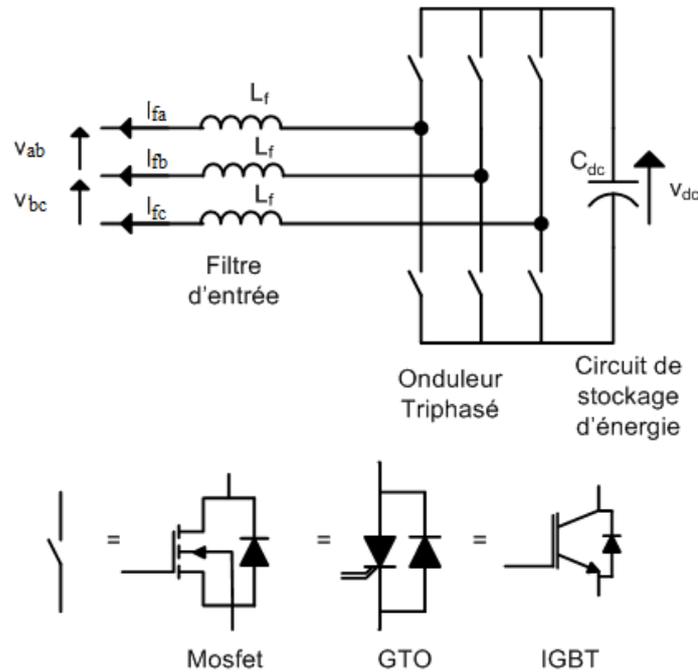


Figure II.7 : Onduleur à structure tension

### b. L'onduleur à structure de courant

La figure 1.8 illustre la structure d'onduleur de courant avec du côté continu une inductance  $L_{dc}$  de réserve d'énergie et du côté alternatif un condensateur en parallèle pour respecter la règle fondamentale qui consiste à ne connecter une source de tension qu'à une source de courant. Les interrupteurs sont unidirectionnels, ils ne peuvent pas tenir une tension inverse et nécessitent une diode en série. Le filtre haut fréquence  $L_f C_f$  absorbe les harmoniques hautes fréquences de découpage.

### B. Classification Basée sur la topologie

Il existe plusieurs topologies de filtres actifs selon les critères de performance recherchés. Les filtres actifs peuvent être en série, en parallèle, ou hybride, c'est-à-dire, l'association d'un filtre actif et d'un filtre passif, Il existe également l'association d'un filtre actif série et d'un filtre actif parallèle qui se nomme conditionneur universel de la qualité d'onde.

#### a. Filtre actif série

Le filtre actif série « FAS » est placé en série entre la source et la charge non linéaire pour forcer le courant de la source à être sinusoïdal. Cette approche est basée sur le principe d'imposer une tension harmonique de même amplitude et en opposition de phase avec la composante harmonique dans les tensions de la charge. De cette façon, il se comporte comme une impédance

très élevée à la fréquence des harmoniques en série avec la ligne pour empêcher les courants harmoniques de se propager vers la source.

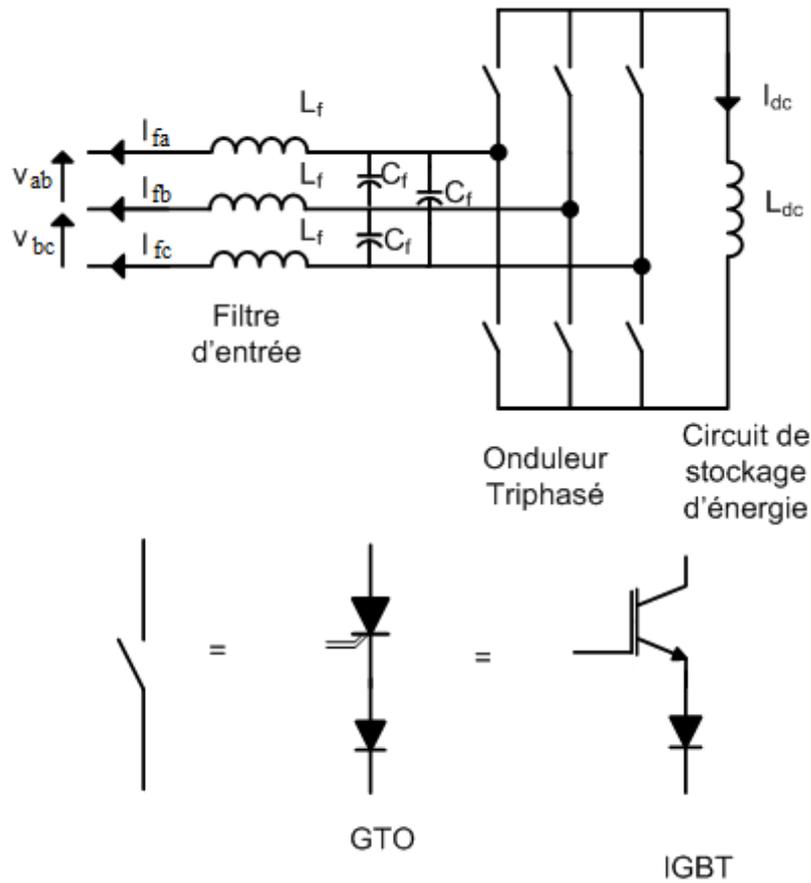


Figure II.8 : Onduleur à structure courant

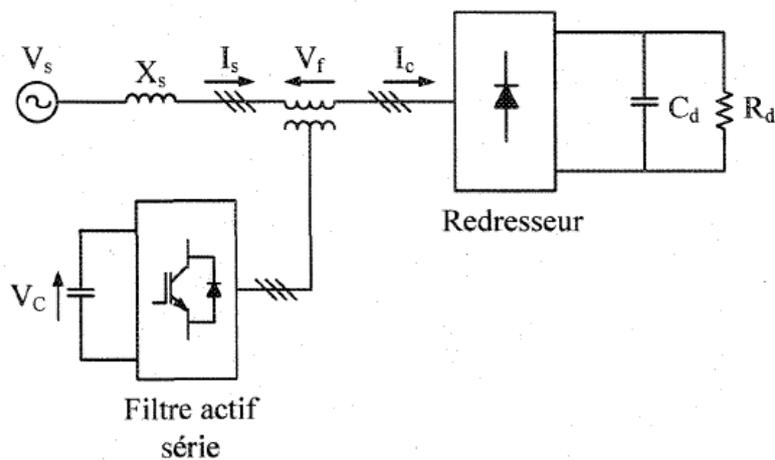


Figure II.9 : Filtre actif série

**b. Filtre actif parallèle**

Contrairement au *FAS*, le filtre actif parallèle (*FAP*) est surtout utilisé pour éliminer les courants harmoniques engendrés par les charges génératrices de courants harmoniques .Le *FAP* est un

onduleur qui est placé en parallèle avec la charge dans le but d'injecter un courant harmonique de même amplitude et de phase opposée que celui de la charge. Il peut cependant, dans certaines conditions, être utilisé pour compenser la puissance réactive (*STATCOM*), pour amortir les résonances parallèle ou série dues à l'interaction entre la ligne et le filtre passif et pour balancer des courants déséquilibrés. Le *FAP* agit comme une source de courant harmonique réglable.

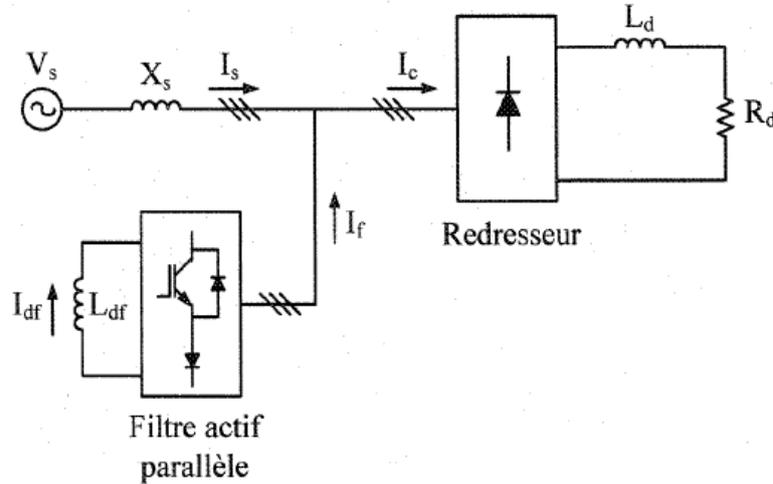


Figure II.10 : Filtre actif parallèle

### c. Conditionneur universel de la qualité d'onde

La combinaison d'un filtre actif série et d'un filtre actif parallèle se nomme : conditionneur universel de la qualité d'onde (*UPQC*), de son origine anglaise, « Unified Power Quality Conditionner ». Cette structure permet d'aller chercher plusieurs fonctions simultanément servant à améliorer la qualité de la tension (compensation d'harmoniques, de puissance réactive, régulation et stabilisation de tension, etc.). Le *FAS* a pour principales fonctions d'isoler les harmoniques entre la source et la charge polluante, de compenser la puissance réactive et les tensions déséquilibrées. Le rôle du *FAP* est d'absorber les courants harmoniques, de compenser la puissance réactive, de compenser les courants de séquence négative et de faire la régulation de la capacité du côté continue entre les deux filtres actifs.

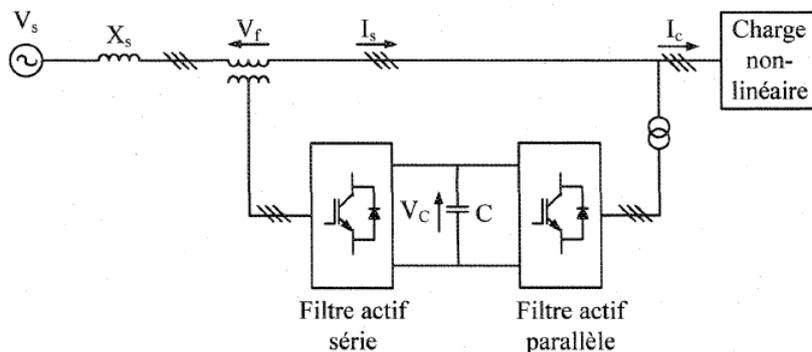


Figure II.11 : Conditionneur universel de la qualité d'onde

#### d. Filtre actif hybride

Également, il y a l'association d'un filtre actif avec un filtre passif que l'on appelle filtre hybride. Le rôle du filtre actif est de maintenir et d'améliorer les performances de filtrage en fonction de l'évolution de la charge et du réseau, tandis que le filtre passif s'occupe de la compensation d'une bonne partie des harmoniques. Plusieurs combinaisons de filtres hybrides sont possibles comme le Filtre hybride parallèle et Filtre hybride série

Le Filtre hybride parallèle est composé d'un filtre passif parallèle et un filtre actif parallèle. Le filtre passif parallèle « *FPP* » est davantage approprié pour la compensation d'harmoniques de faible rang (5<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> rangs par exemple). Pour ce qui est du *FAP*, il est davantage approprié pour la compensation des harmoniques de rang élevé.

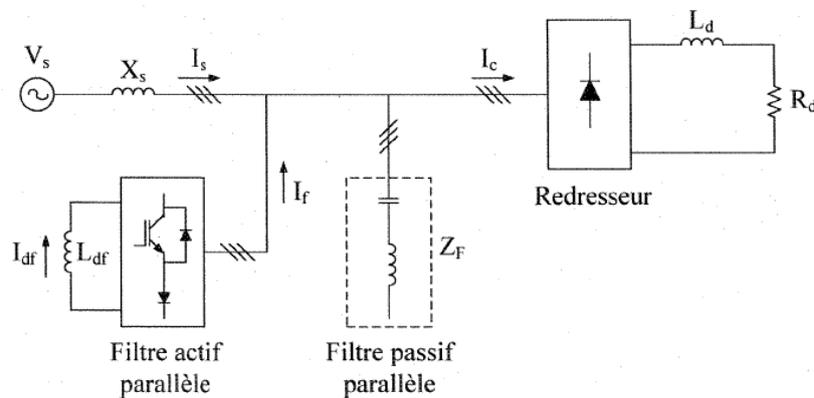


Figure II.12 : Filtre hybride parallèle

Le filtre hybride série « *FHS* » est composé d'un filtre actif série et d'un filtre passif parallèle. Le *FAS* est utilisé pour éliminer les problèmes (comme la résonance et l'influence de l'impédance de source) engendrés par le *FPP* et améliorer les performances de compensation. Le *FPP* a pour rôle de dévier les courants harmoniques par sa capacité de modifier localement l'impédance du réseau.

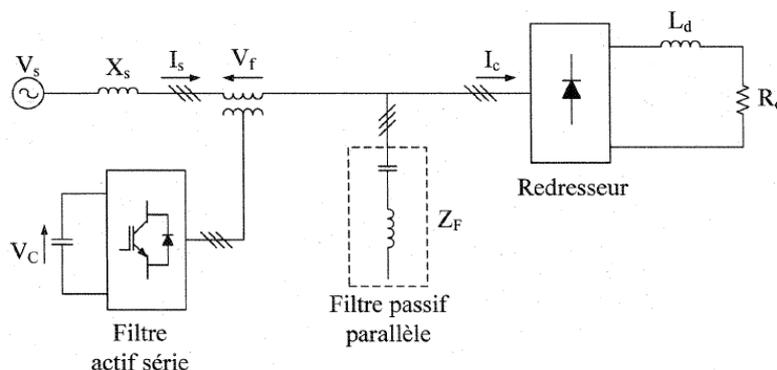


Figure II.13 : Filtre hybride série

### II.5.3 Comparaison générale entre le filtre passif et le filtre actif

Le tableau ci-dessous illustre les différents avantages et inconvénients majeurs des deux types de dispositif de filtrage :

**Tableau 1.1** : Comparaisons entre le filtre passif et le filtre actif

Caractéristique	Filtre passif	Filtre actif
Adaptation l'évolution de la charge et du réseau	Non	Oui, se fait automatiquement
Limite de compensation de rang harmonique	Compense les harmoniques de faible rang (5 <sup>ieme</sup> et 7 <sup>eme</sup> rangs par exemple)	Compense dans la limite de sa bande passante qui est déterminée par la fréquence de commutation maximale des semi-conducteurs de son onduleur.
Risque de résonance entre le filtre et le réseau	Oui	Non
Compensation de puissance réactive	Oui	Oui, mais à coût plus élevé que pour le filtre passif
Possibilité de surcharge lorsque le courant harmonique dépasse le dimensionnement du filtre	Oui	Non
Compensation dans les réseaux hauts puissance	Oui	Oui, mais à coût très élevé

## II.6 Conclusion

Dans cette partie nous avons traité les effets des harmoniques dans les réseaux électriques et leurs mitigations. Nous avons vu leurs origines, leurs effets ainsi que les normes et les standards qui s'appliquent au phénomène. Nous avons passé en revue les différents moyens de mitigation contre la pollution harmonique classique par un filtre passif et moderne par un filtre actif.

De par ses avantages sur le filtre passif, le filtre actif constitue un alternatif intéressant pour non seulement compenser les harmoniques, mais pour améliorer la qualité de l'énergie du réseau électrique. Son installation est permanente et ne nécessite pas son remplacement lors du changement de topologie du réseau ou son extension comme c'est le cas du filtre passif.

Les dommages causés par la présence des harmoniques peuvent être plus ou moins importants selon la configuration du réseau et les équipements présents. Différentes normes existent afin d'établir les limites permises d'harmoniques sur les réseaux. Dans notre projet, la norme IEEE Standard 519-2014 sera utilisée.

Dans la suite de notre travail nous aborderons l'étude de la structure de filtre actif et sa commande.