

*Chapitre I*

*Rappel sur les Harmoniques*

**Introduction**

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateurs par l'intermédiaire des tensions qu'il maintient à leurs bornes. Il apparaît évident que la qualité de cette énergie dépend de celle de la tension au point de livraison, Cette tension subit généralement beaucoup de perturbations de deux origines distinctes : [9]

Ø Les perturbations de tension causées par le passage dans les réseaux électriques, des courants perturbateurs comme les courants harmoniques, déséquilibrés et réactifs.

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

Dans ce chapitre, nous étudierons un rappel sur les harmoniques, ainsi nous détaillerons les origines, les effets, et finalement nous allons décrire les différentes méthodes de filtrage des harmoniques dans le réseau.

**I-1. Définition des harmoniques**

La distorsion harmonique est une forme de pollution du réseau électrique, susceptible de poser des problèmes si la somme des courants harmoniques est supérieure à certaines valeurs limites. [9]

En général, les harmoniques pris en compte dans un réseau électrique sont supérieurs à 100 HZ et inférieur à 2500 HZ, c'est-à-dire des rangs 2 à 50.

Donc Les harmoniques sont toutes les fréquences multiples de fondamentale.

**Exemple:** Un fondamental de 50 Hz

Harmonique 2.....	100 HZ
Harmonique 3 .....	150 HZ
Harmonique 4.....	200 HZ
Harmonique 5.....	250 HZ

**I-2. Décomposition d'un signal périodique**

Un signal périodique se compose d'un signal de fréquence (f), et de forme quelconque, peut se décomposer en une somme des signaux sinusoïdaux comprenant : **Figure (I-2)**

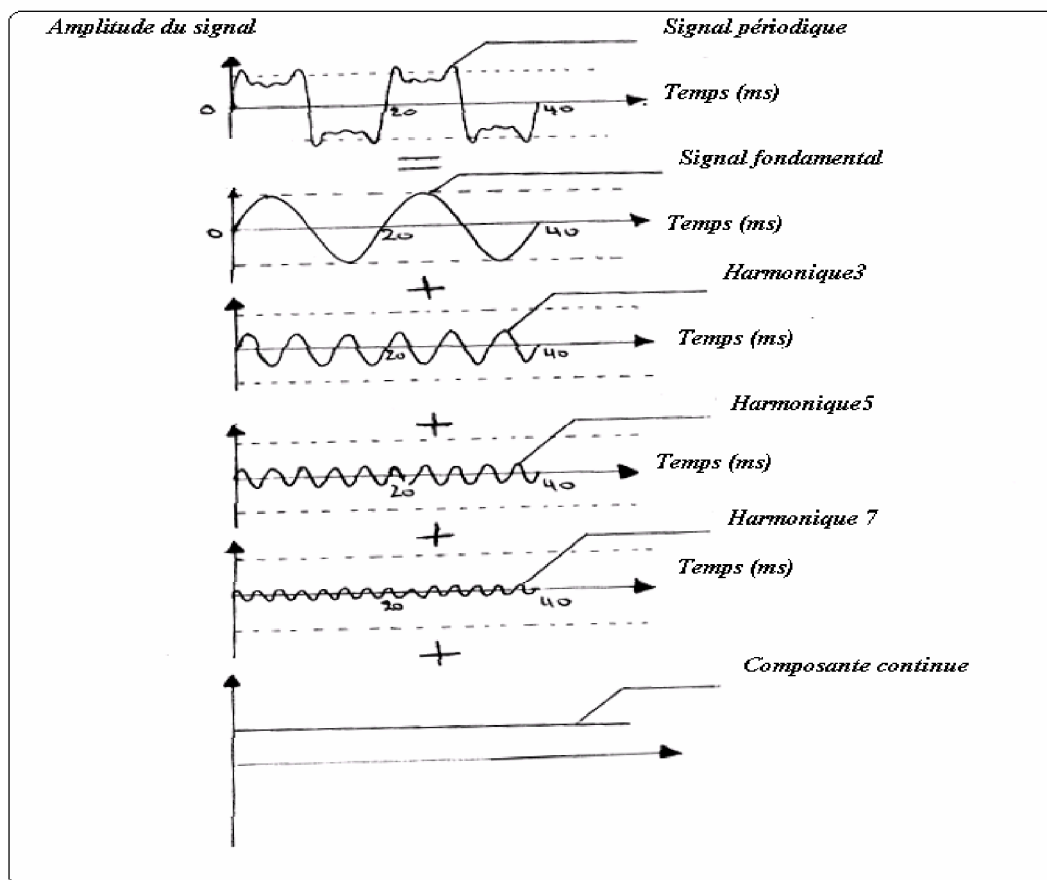
Ø Un signal périodique ayant la fréquence égale à celle de signal s'appelle le fondamentale.

Ø Des signaux sinusoïdaux dont les fréquences multiples de celle du signal sont appelés harmoniques.

Ø Une éventuelle composante continue.

L'expression de ces grandeurs est donnée par le développement de la série de fourier suivante :

$$I(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$



**Figure (I-2): Représente la décomposition d'un signal périodique.**

### I-3. Les inters et les infras harmoniques

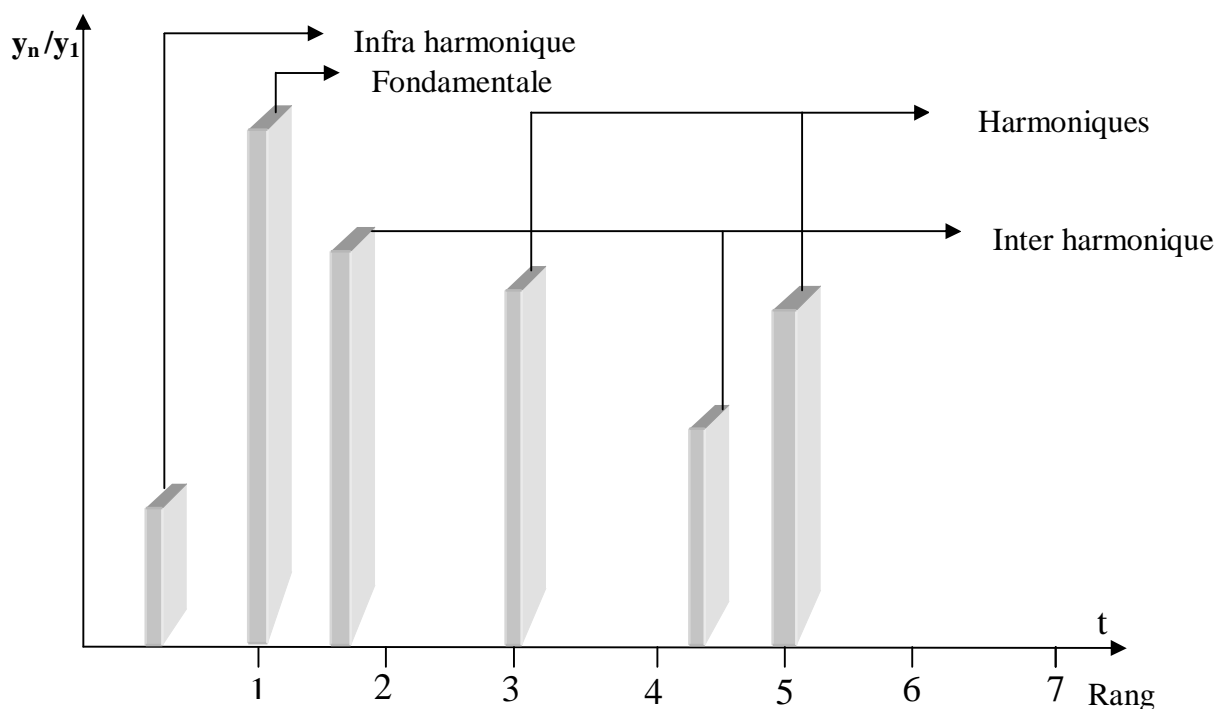
Ø **Inters harmoniques**: ce sont des composantes sinusoïdales d'une grandeur qui ne sont pas des fréquences multiples entières de celle du fondamental.

Ø **Infra harmoniques**: ce sont des composantes qui sont à des fréquences inférieures à celle du fondamental.

Ces deux catégories de perturbations sont dues à des variations périodiques et aléatoires de la puissance absorbée par certaines machines (commande par train d'ondes, ...).

### I-4. Représentation spectrale

Un signal déformé se compose généralement des plusieurs harmoniques. On représente souvent ce signal sous forme d'un spectre **Figure (I-2)**, c'est à dire a l'aide d'un schéma, ou l'on porte abscisse la fréquence, et en ordonnée le module (en valeur efficace ou en pour cent).  
[11]



**Figure (I-4): Représentation spectral d'un signal périodique.**

**I-4. Les principales sources d'harmoniques**

La multiplication 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 qui absorbent des courant riches en harmoniques. [9] / [10]

**Ces principaux équipements sont:**

- Ø Démarreurs électroniques des moteurs.
- Ø Les variateurs électroniques de vitesse.
- Ø Les ordinateurs et autres dispositifs électroniques.
- Ø Les éclairages électroniques.
- Ø Les postes à souder.
- Ø Onduleurs, hacheurs.
- Ø Ponts redresseurs.
- Ø Fours à arc et à induction.
- Ø Appareils domestiques tels que téléviseurs, lampes à décharges.

**I-5. Les effets des harmoniques**

Parmi les effets des tensions harmoniques, on peut noter :

- Ø La perturbation des systèmes électroniques.
- Ø Les bruits et vibrations.
- Ø Les perturbations induites.
- Ø L'échauffement.
- Ø L'interférence avec les réseaux de télécommunication.
- Ø Les défauts de fonctionnements de certains équipements électriques.
- Ø L'augmentation des pertes par effet Joule et par hystérésis des transformateurs.
- Ø Le déclassement des câbles et des équipements de commande.
- Ø La perturbation de fonctionnement d'équipements d'électroniques de puissance.

Tableau différent facteurs et leurs effets. [9]

<i>Facteur</i>	<i>Effet</i>
Le moteur est grand	les harmoniques de courant sont élevés
La charge moteur est élevée	les harmoniques de courant sont élevés
l'inductance c.a, ou c.c est élevée	les harmoniques de courant sont faibles
L'indice de pulsation des redresseurs Est élevé...	les harmoniques de courant sont faibles
Le transformateur est puissant	les harmoniques de courant sont faibles
l'impédance du transformateur est faible	les harmoniques de tension sont faibles
La puissance de court-circuit de l'alimentation est élevée...	les harmoniques de tension sont faibles

I-6. Notion de taux de distorsion

Le taux de distorsion est un paramètre qui définit globalement la déformation de la grandeur sinusoïdale. Pour quantifier le niveau de distorsion harmonique d'un courant, [9] on introduit le facteur **THD** (taux de distorsion harmonique) définissant le rapport entre la valeur

des courants harmoniques et celle du courant fondamental ;  $THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{Y_1}$

Exemple: pour les 25 premiers rangs d'harmoniques avec les valeurs théoriques:

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14.3^2 + 9.1^2 + 7.7^2 + 5.9^2 + 5.3^2 + 4.4^2 + 4^2}}{100}$$

**THD**=29%.

**I-7. Méthodes de filtrage des harmoniques**

Les harmoniques peuvent être réduits soit par modification de la structure du système d'entraînement, soit par filtrage, et le filtrage est une méthode de réduction des missions harmoniques au sein d'un site industriel, où la distorsion harmonique a graduellement augmenté ou comme solution globale pour un nouveau site, donc Le filtre est un absorbeur de courants harmoniques. [9]

On distingue les techniques suivantes:

- a) les filtres passifs.
- b) les filtres actifs.
- c) les filtres hybrides.

**a. Les filtres passifs**

Ce sont les plus connus et les plus anciens, leur principe consiste à mettre, en parallèle sur le réseau, des circuits résonant composé de condensateur et d'inductances de façon à obtenir l'accord sur un harmonique de fréquence donnée.

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

Ø Les filtres résonants.

Ø Les filtres amortis.

**a-1. Les filtres résonants**

Le filtre résonnant est un filtre très sélectif. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants, Il constitué d'un condensateur monté en série avec une inductance **Figure (a-1)**, Ces éléments sont placés en dérivation sur l'installation et accordés sur un rang d'harmonique à éliminer. L'impédance de cet ensemble est très faible pour sa fréquence d'accord, et se comporte ainsi comme un court circuit pour l'harmonique considéré.[9]

ØSelon le rang de l'harmonique à éliminer, la fréquence d'accord (Fr) sera:

$$Fr = \frac{1}{2\pi.LC}$$

---

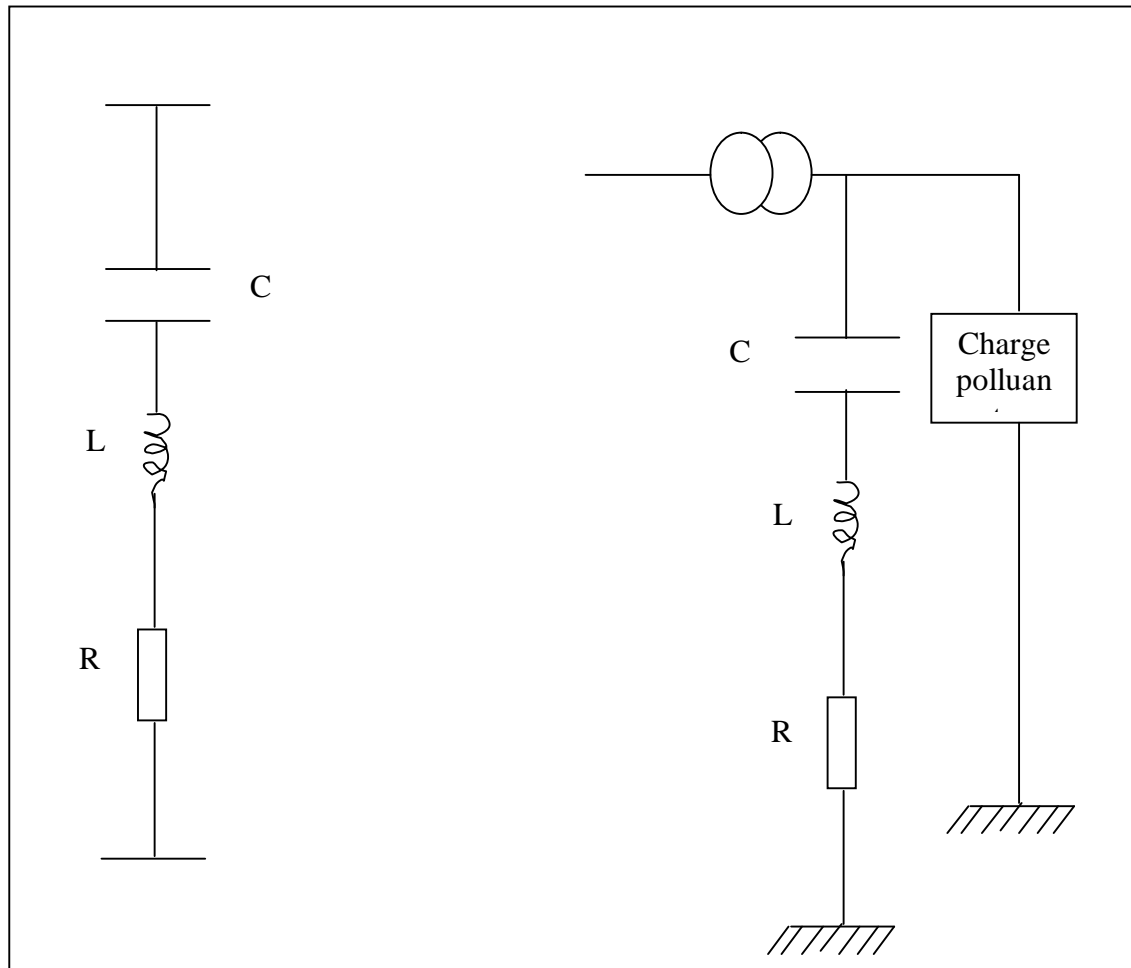
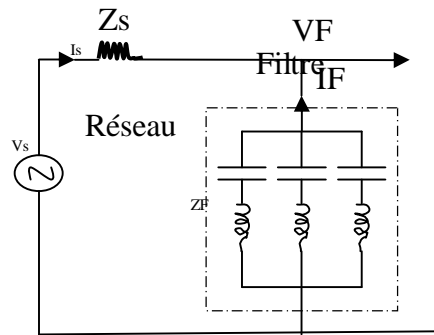


Figure (a-1): filtre résonnant connecter en parallèle avec d'autres filtres.

Ce principe est simple mais demande toute fois une étude soignée de l'installation, car si le filtre se comporte bien comme un court-circuit pour la fréquence désirée, il peut présenter des risques de résonance avec les autres inductances du réseau sur d'autres fréquences, et ainsi faire augmenter des niveaux d'harmoniques.

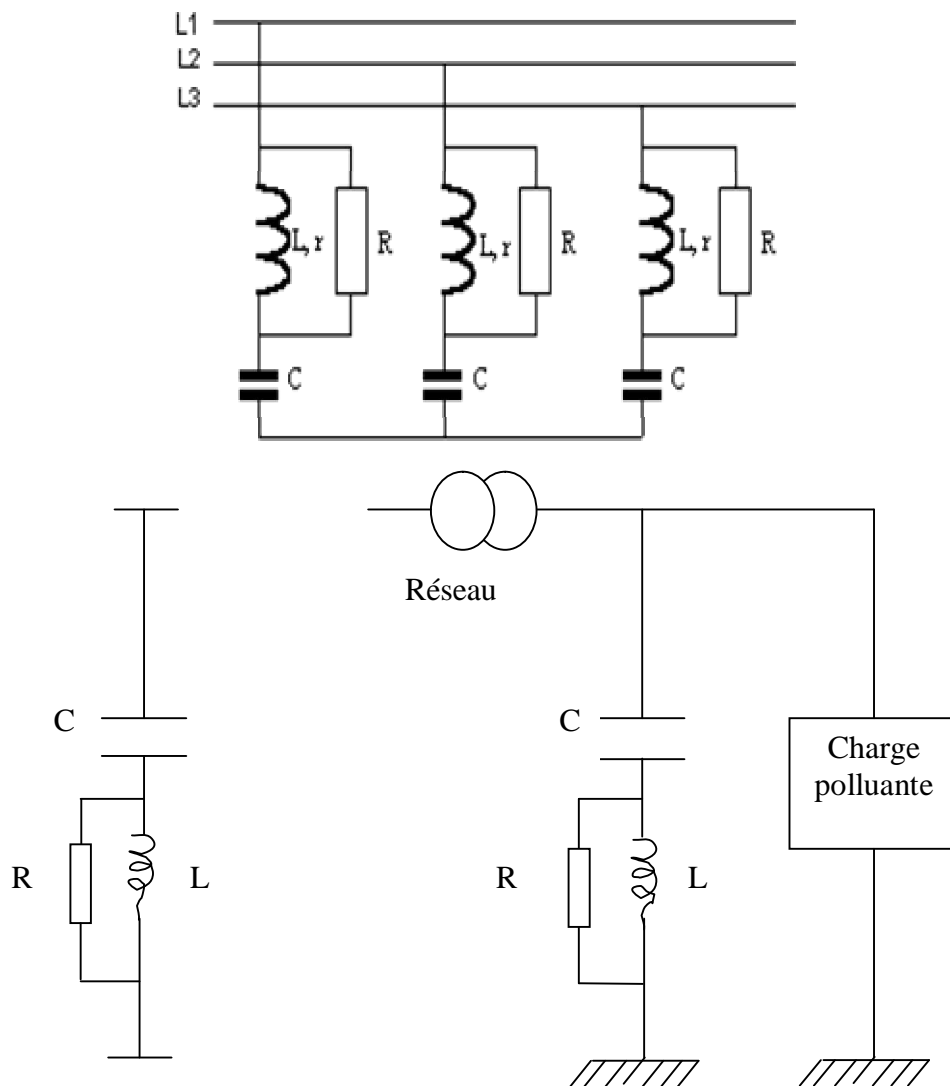


L'emploi ces types des filtres imposent les précautions suivantes:

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

### a-2. Les filtres amortis

Le montage d'un nombre élevé de shunts résonants en batterie n'étant pas économique, la solution est de faire appel à un filtre large bande. Le filtre amorti d'ordre deux est constitué d'un shunt résonant auquel est adjointe une résistance d'amortissement. **Figure (a-2)** [4]

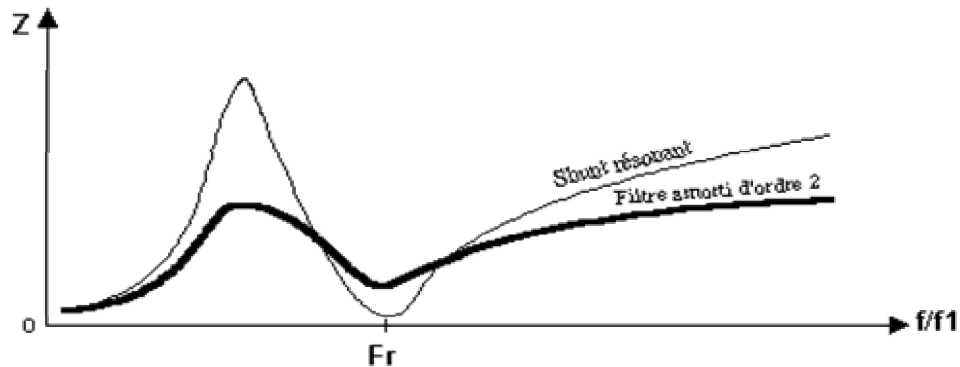


**Figure (a-2): filtre amortis connecter en parallèle avec d'autres filtres.**

La fréquence de résonance ( $Fr$ ) d'un tel filtre est :

$$Fr = \frac{1 + R.r}{2\pi.r(R^2 - 1).L.C}$$

Le filtre amorti sera étudié pour que  $Fr$  coïncide avec la première raie caractéristique du spectre à filtrer (cette raie étant généralement la plus importante). L'impédance d'un réseau, comportant un filtre amorti d'ordre deux est la suivante: [3]



Il existe d'autres filtres amortis dérivés du filtre d'ordre deux, filtre amorti d'ordre 3, filtre double amorti, filtre amorti type C. En théorie cette solution est intéressante mais en pratique, ce type n'est efficace que si le rang d'harmonique à éliminer est suffisamment élevé (à partir de  $h=13$ ), et peut-être ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénient:

Ø A la fréquence de coupure de filtre, le module de l'impédance complexe est nul, les courants sont dérivés dans le filtre et ne créent pas de tension harmonique. L'impédance du filtre est en parallèle avec l'impédance du réseau.

Ø Si le réseau se modifie, parce que sa configuration change ou parce qu'ailleurs sur le réseau on rajoute d'autres filtres passifs, l'impédance résultante varie, le filtre précédent ne fonctionne plus, voir amplifier les harmoniques. Il faut modifier le filtre, ce genre de problème est de plus en plus fréquent en pratique.

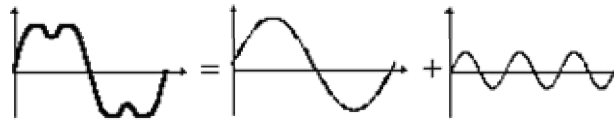
Ø Ce type de filtrage possède un inconvénient majeur qui est le phénomène de résonance série et parallèle.

Ø Equipements volumineux.

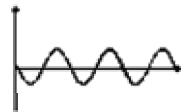
**b) les filtres actifs**

Les systèmes précédents (filtres passifs) ne font que modifier des impédances ou font s'opposer certains courants harmoniques. Aujourd'hui la dépollution harmonique peut être traitée par l'utilisation de convertisseurs statiques. Un filtre actif est un convertisseur statique qui permet d'injecter dans le réseau des harmoniques en opposition de phase et d'amplitude, telle que l'onde résultante soit sinusoïdale, pour cela, il génère un courant qui est composé des seuls harmoniques (même amplitude et en opposition de phase) du courant dans la charge. [10]

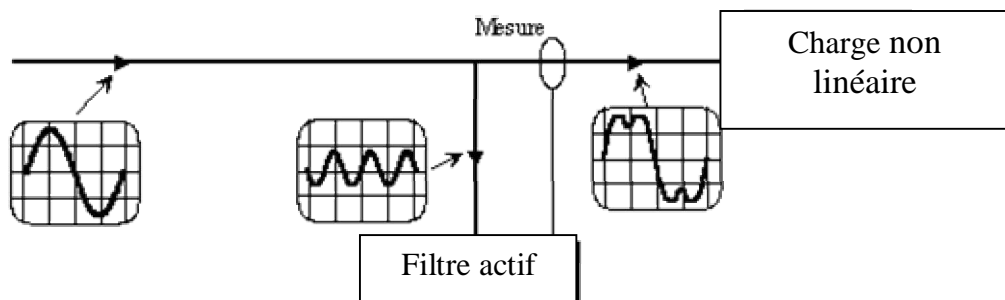
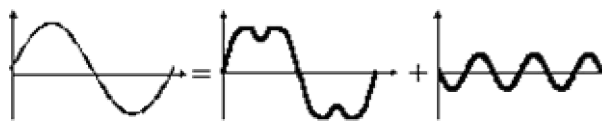
Ø Si le courant absorbé par un récepteur a l'allure suivante :



Ø Le courant généré par le filtre actif sera :



Ø Le courant en ligne qui est égal au courant absorbé par le récepteur plus le courant généré par le filtre sera sinusoïdal :



**Les principales structures des filtres actifs**

Dans cette partie, nous allons introduire les principales structures, proposées dans la littérature, à savoir les filtres actifs parallèle, série, combiné parallèle-série

**b-1. Les filtres actifs parallèles**

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau **Figure (b)**, est le plus souvent commandé 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 consiste à empêcher les courants perturbateurs (harmoniques, réactifs et déséquilibrés), produits par des charges polluantes, de circuler à travers l'impédance du réseau, située en amont du point de connexion du filtre. . [3]

**b- 2. Les filtres actifs séries**

Le filtre actif série se comporte dans ce cas **Figure (b)**, 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 .Ces perturbations trouvent généralement leurs origines dans le réseau lui-même mais peuvent parfois être provoquées par les charges elles-mêmes. [3]

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

**b-3. La combinaison parallèle-série actifs**

La combinaison parallèle-série actifs, résulte de l'association des deux filtres actifs parallèle et série **Figure (b)**. Profitant des avantages des deux filtres actifs, La combinaison parallèle-série actifs assure un courant et une tension sinusoïdaux du réseau électrique à partir d'un courant et d'une tension perturbés de celui-ci. [3]

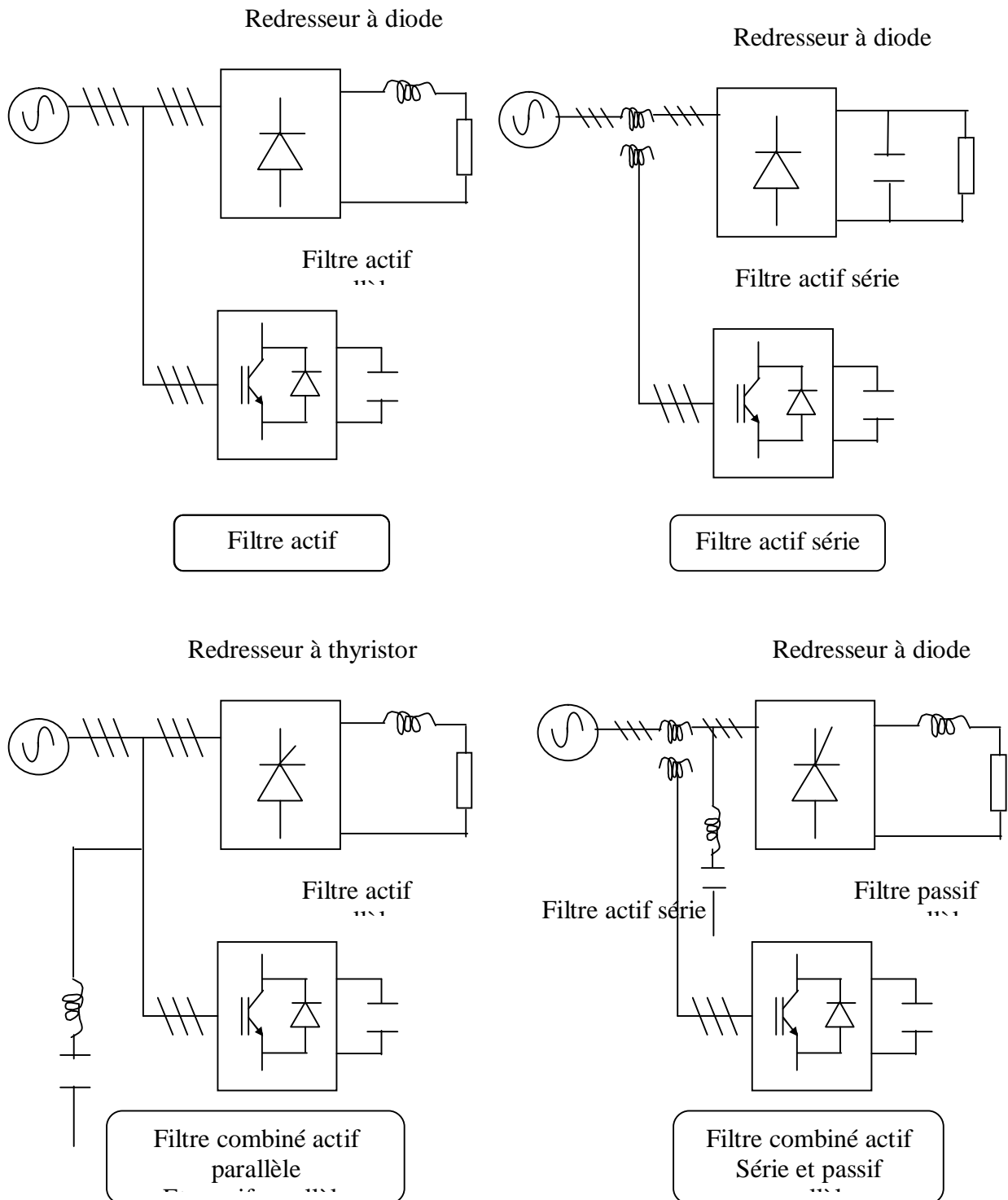


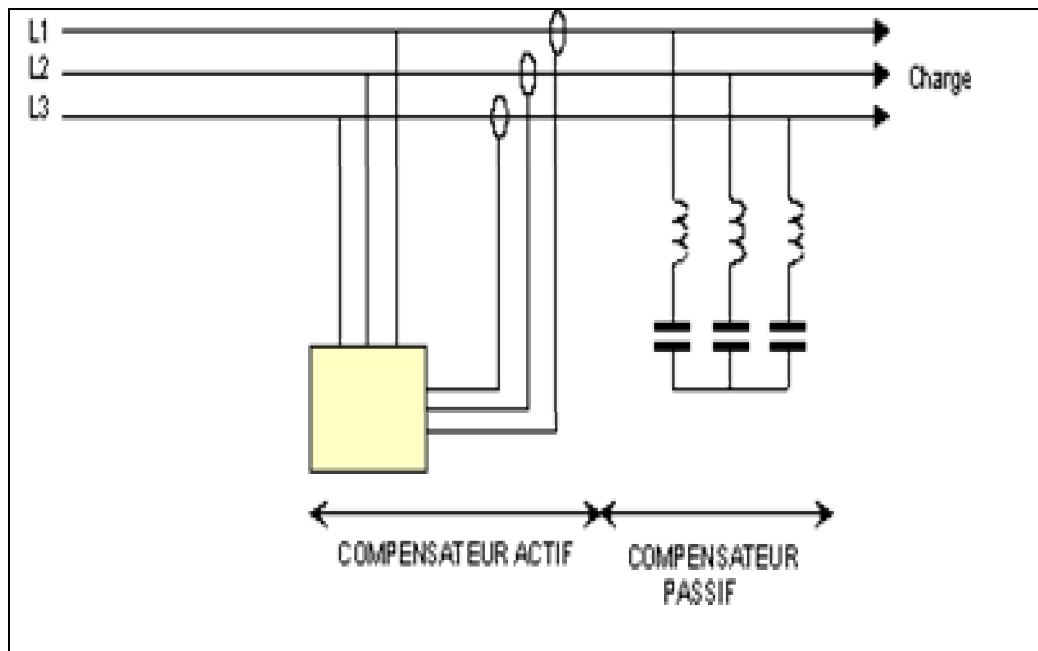
Figure (a-2): présente les différents types de filtrages actifs.

**c)les Filtres hybrides**

Afin de réduire le dimensionnement et par conséquent le prix des filtres actifs, Le filtrage mixte ou hybride qui résulte de l'association d'un filtre passif et d'un filtre actif peut être une solution **Figure (c)**. 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.[3] / [1]

Plusieurs configurations ont été présentées dans la littérature, les plus étudiées étant :

- Ø Le filtre actif série avec des filtres passifs parallèles.
- ØLe filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles.
- ØLe filtre actif parallèle avec un filtre passif parelle.



**Figure (c): présente la structure de filtre hybride.**

**c-1) Le filtres actifs séries avec des filtres passifs parallèles**

Le rôle du filtre actif série dans ce cas est d'empêcher les courants harmoniques circuler vers le réseau, et de les obliger à passer par les filtres passifs raccordés à leurs fréquences **Figure (c-1)**.

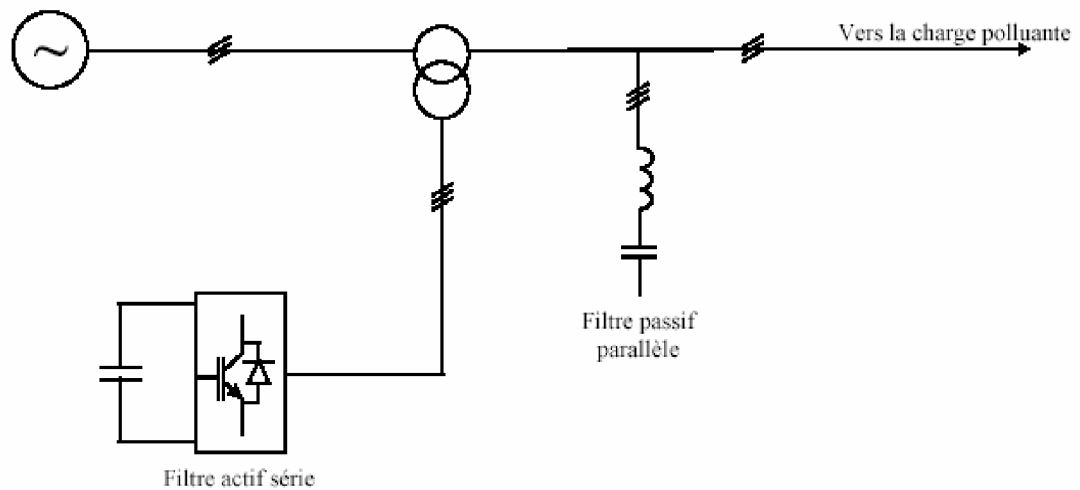
**c-2) Le filtre actif série connecté en série avec des filtres passifs parallèles**

Le principe de fonctionnement de cette configuration, présentée en **Figure (c-2)**, est la même que le Précédente avec l'avantage de réduire encore le dimensionnement du filtre actif

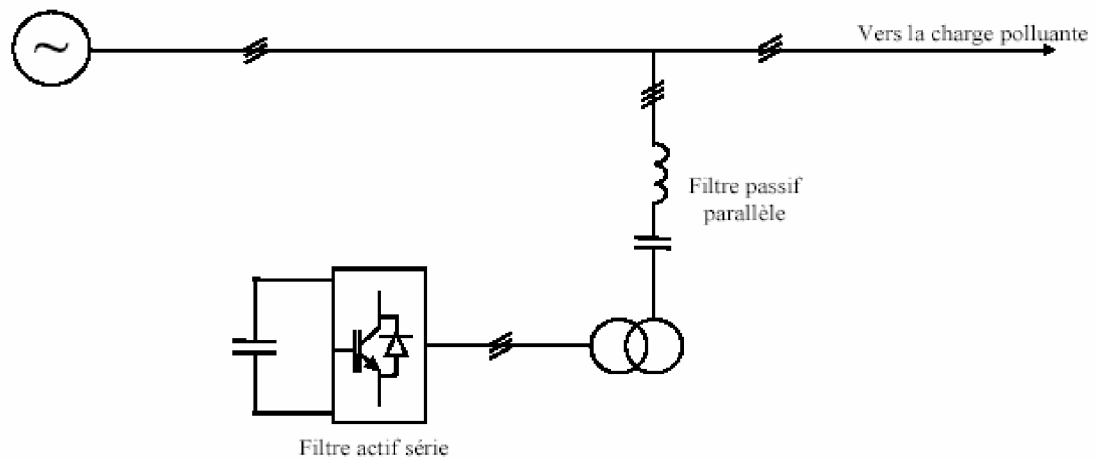
série car le courant qui le traverse est plus faible. de plus, le filtre actif série est à l'abri d'un éventuel court-circuit la charge.

**c-3) Le filtres actifs parallèles avec un filtres passifs parallèles**

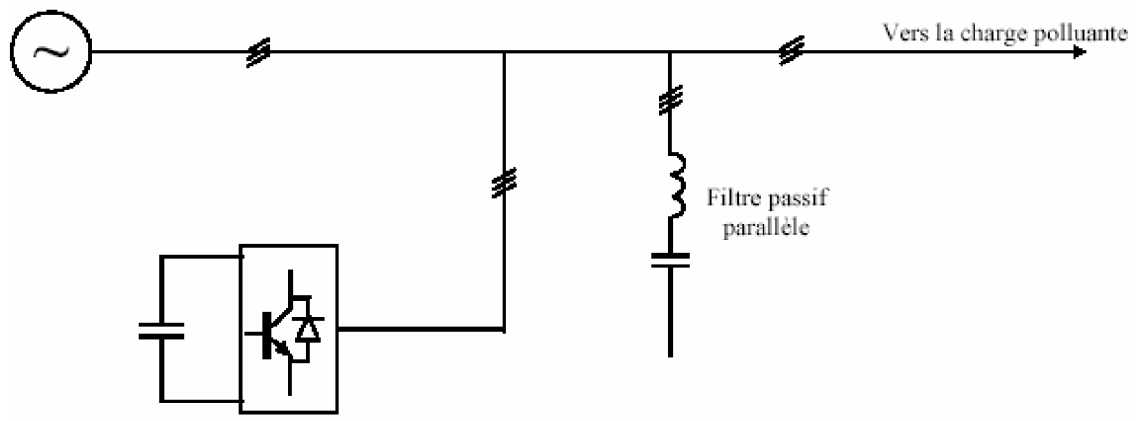
Le rôle du filtre actif parallèle dans cette configuration, montrée en **Figure (c-3)**, est la compensation des courants harmoniques basses fréquences émis par la charge polluante. Le filtre passif accordé sur une fréquence élevée, élimine les harmoniques hautes fréquences compris ceux créés par le filtre actif parallèle.



*Figure (c-1): filtre actif série et passif parallèle.*



*Figure (c-2): filtre actif série connecté en série avec un filtre passif parallèle.*



*Figure (c-3): filtre actif parallèle avec un filtre passif parallèle.*



### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté et défini, les harmoniques, l'origine, et des effets néfastes sur les équipements électriques. Ces effets peuvent aller des échauffements et de la dégradation du fonctionnement jusqu'à la destruction totale de ces équipements, et pour sa, nous avons présenter et définir, la plupart des Méthodes de filtrage des harmoniques

Après ce chapitre, nous passons à l'étude d'une charge non linéaire qui consiste d'un pont redresseur triphasé à diodes.

