

## Cours: N°2- Les harmoniques

### I-Introduction

La modernisation des processus industriels, la sophistication des machines et appareillages électriques a entraîné, ces dernières années, un développement important de l'électronique de puissance. Ces systèmes à base de semi-conducteurs (diodes, transistors, thyristors ....) destinés à réaliser : Des convertisseurs de puissance (alternatif/continu), Des redresseurs et Des onduleurs.

Et bien d'autres dispositifs de commande par train d'ondes ou réglage de phase, ces systèmes représentent, pour les réseaux électriques des charges « non linéaire ».

Les charges non linéaires ont un très vaste domaine d'application mais malheureusement leur inconvénient major, est ils envois au réseau des courants non sinusoïdaux riche en "harmoniques".

### I-1-Définition des harmoniques

Un signal périodique se compose d'un signal de fréquence ( $f$ ) et de forme quelconque peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux comprenant.

- Un signal sinusoïdal à la fréquence fondamentale, courbe fondamentale.
- Des signaux sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples entiers du fondamental, Les harmoniques.
- Une éventuelle composante continue.

Chacun des harmoniques est caractérisé par une amplitude généralement exprimée en pourcentage de l'amplitude du fondamental et par une phase.

Le « rang » de l'harmonique est la valeur de l'entier qui détermine sa fréquence sur un réseau (50Hz,  $I_h 7 = 350$  Hz).

En règle générale on distingue **les harmoniques de rangs pairs** (2, 4, 6,8..etc.) et **les harmoniques de rangs impairs** (3, 5, 7, 9 ...etc.) plus influents, dans les réseaux industriels. Il excite aussi d'autre type d'harmonique tel que:

- ◆ **Inter harmoniques** : sont des signaux de fréquence non multiple de la fréquence fondamentale.
- ◆ **Infra harmoniques**: ce sont des composantes qui sont à des fréquences inférieures à celle du fondamental

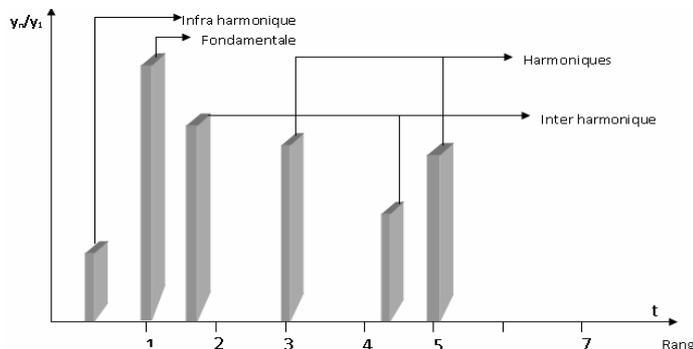
### I-2-Représentation spectrale

Un signal déformé se compose généralement de plusieurs harmoniques. On représente souvent ce signal sous forme d'un spectre **Fig.(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) .

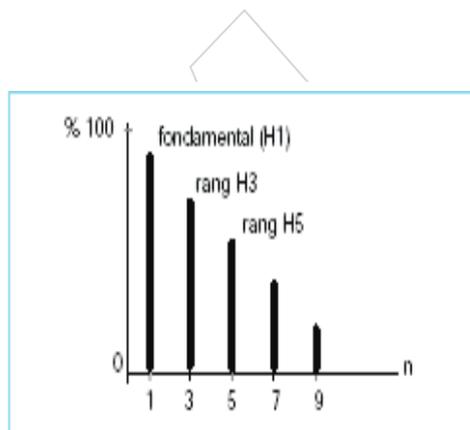
### I-3-Harmonique de courant et de tension

#### I-3-1- Harmonique de courant

Dans la plupart des cas, les harmoniques présentés sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation de charge non linéaire.



**Fig (I.1) :** Représentation spectrale d'un signal périodique



**Fig (I.2) :** Décomposition spectrale du signal en fréquence

Ces charges se comportent approximativement comme des sources de courant harmonique c'est-à-dire que le courant harmonique est fixé par la charge et non par l'impédance ou la tension de réseau auquel elles sont raccordées.

Une charge passive est une charge ne comportant pas de systèmes de commutation rapide autorisant un découpage de l'onde 50 Hz, au contraire des charges actives. Les charges actives utilisent toujours des commutateurs électroniques de puissance.

#### I-3-2-Tension harmonique

On peut également parler de source de tension pour décrire l'état d'un réseau perturbé par une forte charge non linéaire. En effet dans ce cas, on s'intéresse à l'étude du raccordement d'un récepteur de faible puissance, sa connexion au réseau ne modifie pas sensiblement le niveau précédent.

#### I-4-Puissances en présence des harmoniques

En présence d'harmoniques, ( $S^2$ ) n'est pas la résultante de  $P^2+Q^2$ .

On introduit la notion de puissance de distorsion ou déformante  $D$  telle que:  $S^2 = P^2+Q^2+ D^2$

- ❖  $S$  : est la puissance apparente,  $P$  : la puissance active,  $Q$  : la puissance réactive et  $D$  : la puissance déformante ou de distorsion.

$P$  et  $Q$  : ne dépendent que du fondamental du courant, de la tension (supposée sinusoïdale) et de l'angle  $\varphi$ .  $\varphi$  : est le déphasage entre le fondamental du courant et la tension ;  $D$  : dépend uniquement des courants harmoniques ; ( $FP$ ): Facteur de puissance et de déphasage  $\text{Cos } \varphi$ .

Le facteur de puissance noté (**FP**) est le rapport de la puissance active (**P**) à la puissance apparente (**S**). Il tient compte des harmoniques.

$$FP = P / S$$

Le facteur de puissance (**FP**) ne doit pas être confondu avec le cosinus  $\varphi$  (**cos  $\varphi$** ) appelé aussi facteur de déplacement de la puissance (**DPF**).

### **I-5-Origine des harmoniques**

La prolifération des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ou parfois à des fréquences quelconques. Le passage de ces courants harmoniques dans les impédances du réseau électrique peut entraîner des tensions harmoniques aux points de raccordement et alors polluer les consommateurs alimentés par le même réseau électrique.

Parmi ces équipements on peut citer :

- ◆ des convertisseurs de puissance (alternatif/continu –continu/alternatif), comme {Redresseurs- onduleurs ...}
- ◆ démarreurs électroniques des moteurs.
- ◆ les variateurs électroniques de vitesse.
- ◆ les ordinateurs et autres dispositifs électroniques.
- ◆ les éclairages électroniques

### **I-6-Les différents effets des harmoniques**

Les tensions et 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.

Il est d'usage de dire que, dans les installations industrielles, les tensions harmoniques inférieures à 5% de la tension fondamentale ne produisent pas d'effets notables. Entre 5% et 7%, on commence à observer des effets, de 7% à 10% ces effets sont fréquents, et pour plus de 10%, les effets sont quasiment certains.

Ces chiffres sont admis par la plupart des experts en compatibilité électromagnétique qui interviennent sur les problèmes d'harmoniques.

- soit des effets instantanés, effets à l'échauffement et des effets sur matériels

### I-6-1-Les effets instantanés

Sur les systèmes électroniques, les tensions harmoniques peuvent perturber les dispositifs de régulation. Elles peuvent influencer les liaisons et les équipements "courants faibles", entraînant des pertes d'exploitation. Les compteurs d'énergie présentent des erreurs supplémentaires en présence d'harmoniques.

### I-6-2-Les effets à l'échauffement

En prendre comme un exemple en explique : l'échauffement des câbles et des équipements les pertes des câbles traversés par des courants harmoniques sont majorées, entraînant une élévation de température. Parmi les causes de pertes supplémentaires, l'élévation de la résistance apparente de l'âme avec la fréquence. Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des matérielle électrique perturbés par la pollution harmonique.

Nature du matériel électrique	Effet de la «pollution harmonique »
Machines tournantes ; Moteurs triphasés, alternateurs	Echauffements supplémentaires (effet Joule) dans les enroulements statoriques. Couples oscillatoires. Augmentation du bruit
Transformateurs	Pertes supplémentaires dans le fer (par courants de Foucault) et dans les enroulements (par effet Joule). Risque de saturation en présence d'harmoniques pairs.
Câbles	Augmentation des pertes surtout dans le câble de neutre où s'ajoutent les harmoniques de rang 3 et multiples de 3. Pertes diélectriques supplémentaires.
Electronique de puissance (ponts redresseurs à thyristor, transistors, etc.).	Troubles fonctionnels liés la forme d'onde (commutation, synchronisation).
Condensateurs de puissance	Pertes diélectriques supplémentaires aboutissants à un vieillissement prématuré des condensateurs
Ordinateur	Dysfonctionnement lié aux couples pulsatoires des moteurs d'entraînement des supports magnétiques
Dispositifs de protection (Fusibles. Disjoncteurs magnétothermiques...)	Fonctionnement intempestif
compteur d'énergie	Erreurs de mesure
Téléviseurs	Déformation d'image

Lampes à décharge

Risque de vacillement

Tableau (I.1) : « effets harmoniques surs quelques matériels »