

## ANALYSE HARMONIQUE SUR RESEAU EDF

### *SOMMAIRE*

#### *Première partie:*

**Enoncé du T.P effectué en BTS**

**Electrotechnique.**

#### *Deuxième partie:*

**Annexe : Rappels sur les perturbations**

**harmoniques.**

## Enoncé des Travaux Pratiques

### Objectif:

*Analyser les contraintes imposées au réseau par certaines charges absorbant des courants non sinusoïdaux.*

*Etudier les possibilités d'un analyseur d'harmoniques.*

### Description du T.P. :

*Les 2 montages proposés permettent d'étudier :*

⊗ *le courant et les puissances mises en jeu par des récepteurs industriels ou domestiques.*

⊗ *l'influence des harmoniques de courant sur la forme de la tension.*

⊗ *le courant dans le neutre du réseau.*

### Matériel nécessaire :

Outre le matériel équipant couramment les laboratoires d'essais de systèmes, il est nécessaire de posséder une pince harmonique (F27 de Chauvin Arnoux, F39 ou 41 de Fluke) ou un oscilloscope pour analyse de réseaux (type THS 720P de Tektronix).

Dans la première partie du T.P on utilise un pont redresseur monophasé tout thyristors (ex : RECTIVAR de Télémécanique) avec un groupe de machines tournantes.

Dans la seconde partie, 3 charges monophasées déformantes identiques telles des lampes fluo compactes, des micro-ordinateurs, des alimentations à découpage, etc... peuvent convenir.

### Pré-requis:

Puissances active, réactive, déformante et apparente.

Facteur de puissance et  $\cos \varphi$ .

Développement en série de Fourier.

Taux de distorsion harmonique total THD.

Courant dans les charges de type RCD.

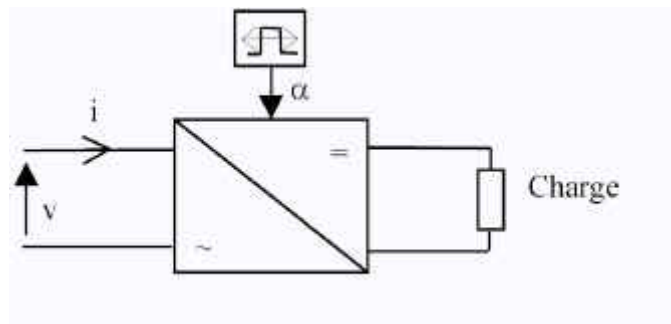
Rq: Une notice d'utilisation de l'appareil de mesure harmonique est remise aux étudiants. Celle-ci doit être étudiée en préparation du T.P.

## PREPARATION

### A. Convertisseur d'énergie sur réseau monophasé

On considère un convertisseur d'énergie PD2 tout thyristors alimenté par le réseau 230V supposé purement sinusoïdal.

La charge est une machine à courant continu en série avec une inductance de lissage.



A.1) Tracer l'allure de la tension  $v$  et du courant  $i$  avec  $\alpha = \pi/4$  en considérant le courant continu dans la charge.

A.2) En supposant la valeur crête du courant  $i$  égale à 5 A, calculer la valeur efficace de ce courant ainsi que celle de son fondamental.

A.3) Donner la valeur du déphasage entre la tension  $v(t)$  et le fondamental du courant  $i(t)$  (ce déphasage correspond au facteur de déplacement de puissance noté DPF).

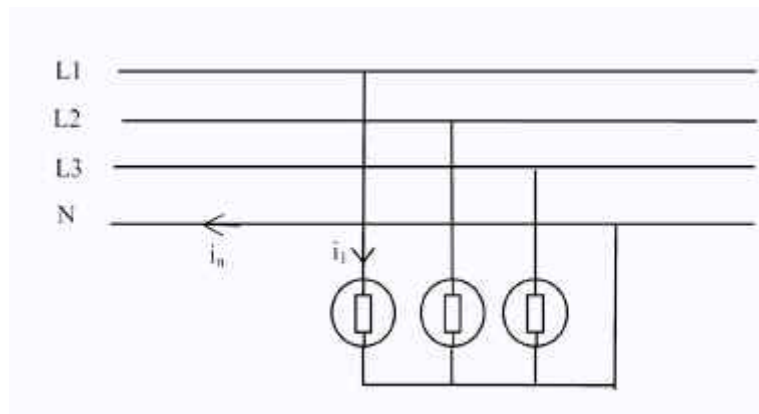
A.4) Donner les valeurs de la puissance active  $P$ , de la puissance réactive  $Q$  ainsi que la puissance apparente  $S$ .

A.5) Calculer le facteur de puissance FP. Déterminer la valeur de la puissance déformante  $D$ .

A.6) Déterminer le taux de distorsion harmonique (THD) du courant (exprimé par rapport au fondamental).

A.7) Rappeler l'intérêt pour l'utilisateur d'obtenir un facteur de puissance proche de 1.

**B. Récepteurs monophasés uniformément répartis sur réseau triphasé équilibré**



B.1) Les 3 lampes sont à incandescence.

Quelle est la forme du courant absorbé par chaque lampe ?

Que peut-on dire de la valeur du courant dans le neutre  $i_n$  ?

B.2) Les 3 lampes sont fluo compactes à ballast électronique (charge de type RCD).

Tracer l'allure du courant dans une phase

## PARTIE PRATIQUE

### A. Convertisseur d'énergie sur réseau monophasé

Le convertisseur connecté au réseau EDF alimente une machine à courant continu en série avec une inductance de lissage. La charge peut être un frein à poudre ou une génératrice selon le matériel disponible.

L'angle de retard à l'amorçage des thyristors sera réglé à  $\alpha = \pi/4$ .

On veillera à ce que la conduction soit continue et le courant suffisamment lissé pour être proche des conditions de la préparation.

La valeur efficace du courant appelé au réseau sera réglée à 5A.

☒ Etude du courant et des puissances mises en jeu par le récepteur.

A.1) Réaliser le montage en plaçant les appareils nécessaires à la réalisation des conditions de fonctionnement ci-dessus (attention au choix de l'ampèremètre).

Visualiser l'allure de la tension  $v(t)$  et du courant  $i(t)$ . Imprimer ces oscillogrammes.

A.2) - mesurer précisément la valeur efficace de  $v(t)$  et de  $i(t)$  avec l'analyseur harmonique.

- relever la valeur efficace du fondamental et des principaux harmoniques du courant  $i(t)$ .

- tracer le spectre du courant  $i(t)$ .

- mesurer la valeur du facteur de déplacement de puissance.

Comparer le DPF à la valeur de l'angle  $\alpha$ .

A.3) Mesurer les puissances  $P$ ,  $Q$  et  $S$ . En déduire la valeur de la puissance déformante  $D$ .

Vérifier ces valeurs en les calculant à partir des résultats de la question A.2.

Comparer aux valeurs de la préparation.

A.4) A partir du spectre du courant de  $i(t)$ , dire si le récepteur dans ce cas de fonctionnement est compatible avec la norme CEI 61000-3-2.

A.5) Mesurer le taux de distorsion harmonique THD de la tension.

Rq: Il est intéressant de consulter la documentation de l'appareil utilisé pour définir s'il est exprimé par rapport à la valeur efficace du fondamental (cas de la norme) ou par rapport à la valeur efficace totale de la tension.

☒ Influence des harmoniques de courant sur la forme de la tension.

A.6) Mise en évidence du rôle de l'impédance de la ligne d'alimentation sur le taux de distorsion en tension

On insère entre le réseau d'alimentation et le convertisseur d'énergie une grande longueur de ligne (bobine de câble de 100m).

Observer l'effet des harmoniques de courant sur la nouvelle allure de la tension aux bornes du récepteur.

Mesurer la nouvelle valeur du taux de distorsion harmonique de la tension. Conclure.

### **B. Récepteurs monophasés uniformément répartis sur réseau triphasé équilibré**

La charge est constituée par 3 lampes fluo compactes identiques.

☒ Etude du courant et des puissances mises en jeu par une lampe.

B.1) Réaliser le montage.

Visualiser l'allure de la tension  $v(t)$  et du courant  $i(t)$  dans un récepteur.

Imprimer ces oscillogrammes. Donner la valeur du facteur de crête du courant.

B.2) Relever le spectre du courant  $i(t)$ .

B.3) Mesurer la valeur efficace du courant  $i(t)$ , la puissance absorbée  $P$  ainsi que la valeur du facteur de puissance.

☒ Mise en évidence de la circulation d'un courant dans le neutre.

B.4) Visualiser l'allure du courant dans le neutre. Imprimer l'oscillogramme.

Mesurer la valeur efficace de ce courant puis relever son spectre.

B.5) A quelle fréquence se situe la première composante du courant dans le neutre ?

Comparer sa valeur efficace, à celle de même rang, relevée dans une phase.

B.6) Comparer la valeur efficace du courant dans le neutre à celui dans une phase.

Conclure (section du câble du neutre, calibre de sa protection par rapport aux phases).

# Annexe: Rappels sur les perturbations harmoniques

## I) INTRODUCTION

## II) QUELQUES DEFINITIONS

## III) PUISSANCES EN PRESENCE D'HARMONIQUES

## IV) LES EFFETS DES HARMONIQUES

## V) CONSEQUENCES DES PERTURBATIONS HARMONIQUES DE COURANT SUR LE RESEAU

## VI) QUELQUES REMEDES CONTRE LA POLLUTION

## VII) NORMES

### I) Introduction

#### 1) Rappels

La forme de l'onde, de courant ou de tension, relevée dans les réseaux industriels s'éloigne de plus en plus souvent de la forme sinusoïdale pour prendre des allures très diverses. La non linéarité des récepteurs va générer un courant dit " déformé " .

Le signal déformé peut se décomposer en une somme d'ondes sinusoïdales et d'une composante continue éventuelle (théorème de Fourier).

On distingue le fondamental (composante sinusoïdale de fréquence égale à celle du signal) des harmoniques (composantes de fréquence multiple de celle du signal).

On définit le rang harmonique comme le rapport entre la fréquence de cet harmonique et la fréquence du fondamental.

Soit un signal  $y$  écrit sous la forme  $y = A_0 + \sum A_n \cdot \cos(n\omega t - \varphi_n)$

$A_0$  est la composante continue.

$n$  est un entier compris entre 1 et l'infini, il définit le rang de l'harmonique.

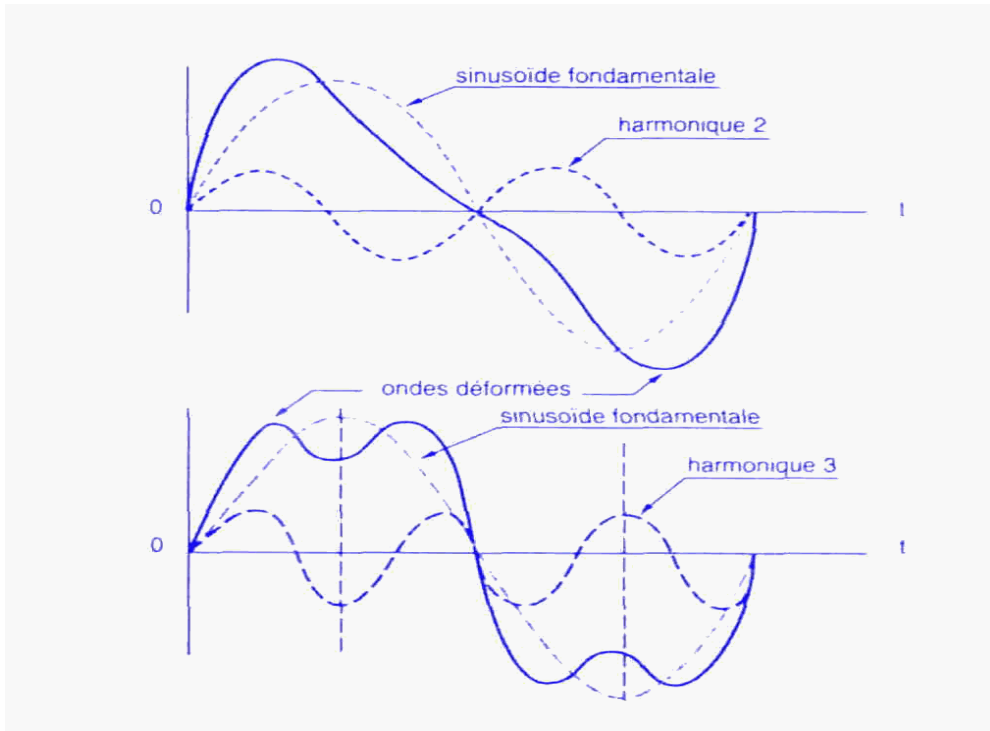
Si  $n = 1$ , l'harmonique est appelé fondamental.

$A_n$  est l'amplitude de l'harmonique de rang  $n$ .

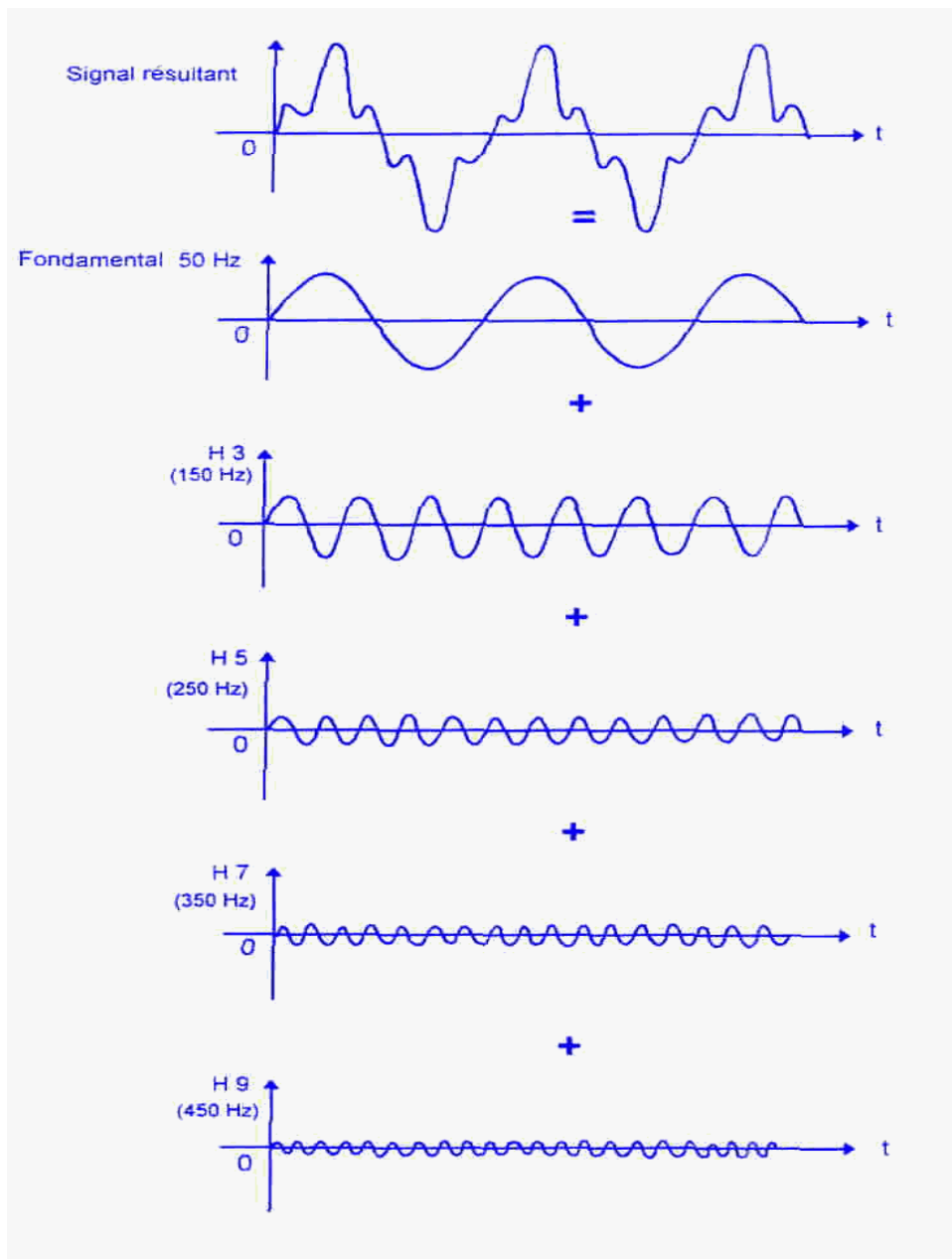
$\varphi_n$  est le déphasage relatif au fondamental de la composante harmonique de rang  $n$ .

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.

2) Exemples de signaux déformés



Décomposition d'un signal déformé



## II) Quelques définitions

[Sommaire](#)

Un signal est défini par :

↳ la valeur efficace ( **RMS** ou **eff** )  $I_{RMS} = I_{eff} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} i_n^2(t)}$



↪ la valeur crête ( **PEAK** ),

↪ le facteur de crête ( **FC** )

$$FC = \frac{I_{\text{crête}}}{I_{\text{eff}}}$$

Rq : Si le facteur crête est différent de  $\sqrt{2}$ , le signal est "déformé".

↪ le facteur de distorsion total ( **DF** )

$$DF = \frac{\sqrt{I_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2(t)}}{I_{\text{eff}}}$$

↪ le taux de distorsion harmonique par rapport à la fréquence fondamentale ( **THD** ou **TDH** )

$$THD\% = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2(t)}}{I_{\text{fondamental}}}$$

On définit aussi le taux individuel d'harmonique en % (  $\tau_n$  ) =

$$100 \times \frac{A_n}{A_1}$$

**Nous retrouverons les mêmes définitions pour la tension.**

**exemple de calcul sur un courant déformé :**

Soit un signal déformé composé des harmoniques suivants :

On a relevé dans un tableau les intensités et le taux individuel harmonique pour chaque rang.

Rang harmonique	Intensité efficace (RMS)	$\tau_n\% = 100 \times \frac{A_n}{A_1}$
1 (fondamental )	Ih1 = 104 A = A1	100
3	Ih3 = 84A = A3	81
5	Ih5 = 64A = A5	61
7	Ih7 = 40A = A7	38
9	Ih9 = 16A = A9	15
I crête=392A		

*On recherche :*

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_n^2(t)} = \sqrt{I_{k1}^2 + I_{k3}^2 + I_{k5}^2 + I_{k7}^2 + I_{k9}^2} = 157 \text{ Ampères}$$

$$DF = \frac{\sqrt{I_{k3}^2 + I_{k5}^2 + I_{k7}^2 + I_{k9}^2}}{I_{\text{eff}}} = \frac{118}{157} = 75,2\%$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2(t)}}{I_{\text{fondamental}}} = \frac{118}{104} = 113,5\%$$

$$FC = \frac{I_{\text{crête}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{392}{157} = 2,5$$

*Ces valeurs mesurées ou calculées permettent de contrôler si elles sont conformes aux normes en vigueur*

### III) Puissances en présence d'harmoniques

#### Sommaire

*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  $\varphi$ .*

*L'angle  $\varphi$  est le déphasage entre le fondamental du courant et la tension.*

*$D$  dépend uniquement des courants harmoniques*

*Facteur de puissance  $FP$  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 ( $DPF$ ).

#### IV) Les effets des Harmoniques

##### Sommaire

##### Effets instantanés.

*Perturbations dans le fonctionnement des appareils de protection et de commutation.*

##### Effets à moyen et long terme.

*Echauffement des matériels électriques, vieillissement prématuré de ceux-ci.*

*Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des matériels électriques 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 aboutissant à un vieillissement prématuré des condensateurs
Ordinateur	Dysfonctionnement lié aux couples pulsatoires des moteurs d'entraînement des supports magnétiques
Dispositifs de protection (Fusibles. Disjoncteurs	Fonctionnement intempestif

magnétothermiques...)	
Compteur d'énergie	Erreurs de mesure
Téléviseurs	Déformation d'IMAGE
Lampes à décharge	Risque de vacillement sous l'effet de l'harmonique de rang 2

## V) Conséquences des perturbations harmoniques de courant sur le réseau

### Sommaire

Pour chaque harmonique de courant traversant l'impédance du réseau, il apparaît une tension harmonique  $V_h$ .

$$V_h = Z_h \times I_h$$

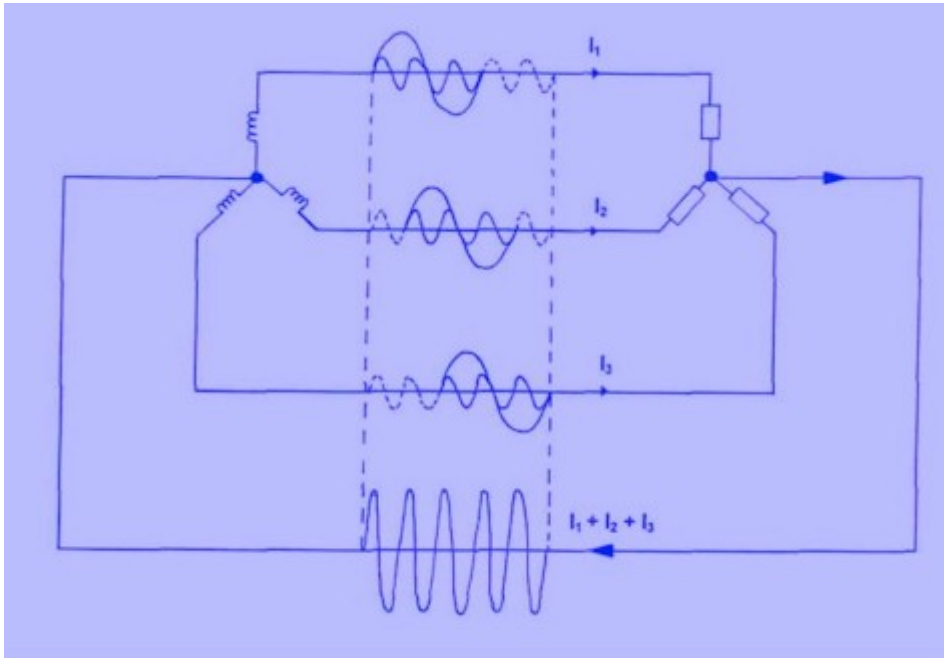
$Z_h$  impédance harmonique du réseau.

La circulation des courants harmoniques dans le réseau entraîne donc une déformation de l'onde de tension. Cela peut être préjudiciable au bon fonctionnement des récepteurs sensibles branchés sur ce même réseau.

### Conséquences pour le conducteur de neutre

L'un des effets les plus connus est celui de la circulation des courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 dans le conducteur de neutre. Il peut être bien supérieur au courant circulant dans les phases.

**Exemple de courant observé dans un récepteur.**



Comme le montre la figure ci-dessus, les courants harmoniques de rang 3, dans chacune des trois phases, s'ajoutent dans le conducteur de neutre. Celui-ci est ainsi parcouru par un courant de fréquence 150 Hz, dont l'intensité est égale à trois fois celle de chaque conducteur de phase, en supposant la charge équilibrée.

Dans l'exemple ci dessous, on montre l'influence des harmoniques sur le choix de la section des conducteurs :

Courant fondamental $I_{h1} = 207A$	
Courant harmonique 3 $I_{h3} = 173 A$	Taux de distorsion harmonique 83,7 %
Courant harmonique 5 $I_{h5} = 148 A$	Taux de distorsion harmonique 71,7 %
Courant harmonique 7 $I_{h7} = 112 A$	Taux de distorsion harmonique 54,3 %

D'après le tableau précédent, on calcule :

a) Le courant efficace dans chaque conducteur de phase.

$$I_{eff} = \sqrt{I_{R1}^2 + I_{R3}^2 + I_{R5}^2 + I_{R7}^2} = 327 A$$

On constate que le courant de phase est 1,58 fois le courant fondamental ( $I_{h1}=207A$ )

b) Le courant dans le neutre.

Si les phases sont équilibrées, le courant dans le neutre devrait être nul, mais en présence d'harmoniques de rang 3 ou multiple de 3 (principalement les rangs 3,6,9,15), ceci n'est plus vrai.

Dans notre cas :

$$I_{\text{neutre}} = 3xI_{h3} = 3x173 = 519A$$

Le courant dans le neutre est 2,5 fois le courant fondamental.

Sans présence d'harmoniques, on choisit, selon certains critères (mode de pose, température,...etc ), une section correspondant au courant fondamental. Admettons  $70 \text{ mm}^2$  pour les phases.

On constate qu'en présence de courants harmoniques il sera nécessaire d'augmenter les sections des conducteurs de phase et de neutre car les courants sont supérieurs au fondamental.

On serait obligé de prévoir une section supérieure à  $70 \text{ mm}^2$ , c'est à dire au moins  $120 \text{ mm}^2$  pour les conducteurs de phase et  $210 \text{ mm}^2$  pour le conducteur de neutre.

### **Conclusion**

Lorsqu'un circuit alimente des appareils susceptibles de générer des courants harmoniques, la

section des conducteurs déterminée d'après le courant nominal doit être majorée.

**La NFC 15100 permet lorsque le conducteur de neutre est peu chargé de choisir une section moitié de celle des conducteurs de phase. Elle ne peut être appliquée que si les matériels électriques ne produisent aucun harmonique ou des harmoniques de valeur réduite.**

## VI) Quelques remèdes contre la pollution harmonique

### Sommaire

☞ Rechercher une puissance de court circuit le plus élevée possible ( impédance de source faible ).

☞ Connecter les charges polluantes le plus en amont possible du réseau.

☞ Alimenter les charges polluantes par une source séparée.

☞ Placer des inductances en amont de ces charges.

☞ Utiliser des filtres passifs accordés sur la fréquence du ou des harmoniques à atténuer.

Ces filtres (R, L, C) sont de types :

- Shunt résonnant.

- Amortis.

☞ Utiliser un compensateur actif.

☞ Confiner les harmoniques ( suppression en amont des transformateurs grâce à un couplage particulier).

## VII) Normes

### Sommaire

A ce jour nous ne diffusons que quelques extraits de normes. Elles sont encore en évolution et susceptibles d'être déjà obsolètes.

### Concernant la tension:

Les niveaux tolérables pour les tensions harmoniques sur les réseaux basse tension sont détaillés dans le tableau ci-dessous (CEI 61000-2-1 et 61000-2-2).

Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la tension fondamentale à 50 Hz.

Harmoniques impairs Non multiples de 3		Harmoniques impairs Multiples de 3		Harmoniques pairs	
Rang h	Taux %	Rang h	Taux %	Rang h	Taux %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,2	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21		10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	0,2+0,5*25/h				

Le taux global de distorsion en BT doit ainsi rester inférieur à 8%.

### Concernant le courant:

Limitation des harmoniques de courant produits par les appareils :

La norme CEI 61000-3-2 impose des limites à tous les matériels appelant un courant inférieur ou égal à 16A par phase exceptés les matériels de puissance inférieure à 50W.

Ces limites sont définies selon la classe des appareils (A, B, C ou D).

Exemple :

Harmoniques impairs		Harmoniques pairs	
Rang harmonique n	Courant maxi. Admissible (A)	Rang harmonique n	courant maxi. Admissible (A)
3	2,3	2	1,08
5	1,14	4	0,43
7	0,77	6	0,30
9	0,40	6 < n ≤ 40	0,23 × 8/n
11	0,33		
13	0,21		
13 < n ≤ 39	0,15 × 15/n		

---