

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU
Faculté de Génie électrique et d'informatique
Département d'électrotechnique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique

Option : Réseaux électriques

Thème

Compensation de l'énergie réactive
au niveau de l'hôpital
d'AZAZGA

Proposé par :

M. Nait Ikene (SONELGAZ)

M. Chérifi (SONELGAZ)

Dirigé par :

C.BIROUCHE

Etudié par :

M^{elle} : Touat. Lilia

M^{elle} : Sifouane.Fatma

Promotion : 2009/2010

Remerciements

Nous tenons à adresser nos profonds remerciements à notre promoteur Mr Birouche, enseignant à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de nous encadrer, et pour ce soutien durant notre projet.

Nos remerciement s'adresse aussi :

A mes copromoteurs Mr Nît Ikene chef de service et Mr Chérifi ingénieur au niveau de la SONELGAZ d'AZAZGA, pour nous avoir fait confiance pendant la durée du stage, pour leurs participation à toutes les étapes du projet et enfin pour leurs patience.

Aux membres des jurés, pour leurs confiances et leurs précieuses attention.

Au sous directeur Mr chikhi et l'électricien de l'hôpital d'AZAZGA pour leurs soutiens inconditionnels et pour les efforts fournis.

A tout le personnels de SONELGAZ d'AZAZGA,

SOMMAIRE

Introduction Générale

Chapitre I : Evaluation des puissances

Introduction.....	1
I-1-Généralités.....	2
1-1-Puissance instantanée.....	2
1-2-Puissance active.....	2
1-3-Puissance réactive.....	3
1-4-Puissance apparente.....	3
1-5-Facteur de puissance.....	3
I-2-L'énergie.....	4
2-1-L'énergie active.....	4
2-2-L'énergie réactive.....	4
I-3-Bilan de puissance.....	5
3-1-Puissance installée.....	5
3-2-Puissance d'utilisation.....	6
3-3-Facteur de simultanéité.....	6
3-4-Facteur d'utilisation.....	8
I-4-Méthodes de calcul de la puissance consommée.....	9
4-1-Puissance consommée dans chaque coffret.....	9
4-2-Puissance consommée au niveau du tableau secondaire.....	10
4-3-Puissance consommée au niveau du tableau générale.....	10
4-4-Puissance du transformateur alimentant l'installation.....	11
I-5-Calcul des pertes de puissance.....	11
5-1-Pertes dans les transformateurs.....	11
5-2-Pertes dans les conducteurs.....	12
Conclusion.....	13

Chapitre II : Facteur de puissance et la compensation de l'énergie réactive

Introduction.....	14
II-1-Importance de facteur de puissance.....	14
II-2-Avantages d'un bon facteur de puissance.....	14
II-3-Cause d'un faible facteur de puissance.....	15
II-4-Inconvénients d'un faible facteur de puissance.....	16
II-5-Comment améliorer le facteur de puissance.....	17
5-1-Action directe sur l'installation.....	17
5-2-Action indirecte.....	19
5-3-But de la compensation.....	19
II-6-Moyens utiliser pour la compensation.....	19
II-7-Les avantages de la compensation de l'énergie réactive.....	20
7-1-Les avantages économique.....	20
7-2-Les avantages techniques.....	21
II-8-Compensateur de moteur asynchrone.....	22
II-9-Compensateur de transformateur.....	23
II-10-Méthode de la détermination de la compensation.....	25
10-1-Calcul de la puissance réactive nécessaire Q_c	25
10-2-Mode de compensation.....	28
10-3-Type de compensation.....	31
10-4-Choix des batteries de condensateur dans un réseau perturbé par les harmoniques.....	33
II-11-Guide de choix des équipements de compensations.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre III : Etude des batteries de condensateurs

Introduction.....	36
III-1-Constitution de la batterie de condensateur.....	36
III-2-Notes pratiques sur les condensateurs.....	36

III-3-Choix de branchement des batteries de condensateurs.....	37
III-4-Schémas des branchements des batteries de condensateurs.....	38
III-5-Mise en œuvre des batteries de condensateurs.....	39
III-6-Protection des batteries de condensateurs.....	41
6-1-Condensateur sans fusible de protection interne.....	41
6-2-Condensateur avec fusible de protection interne.....	41
6-3-Précautions particulières.....	41
III-7-Choix des appareils de protection et de commande et des câbles de raccordement.....	42
7-1-Dimensionnement des composants.....	42
7-2-Comment dimensionner les condensateurs en présence d'harmoniques.....	43
7-3-Solution possibles aux effets d'harmoniques.....	43
7-4-Choix des solutions.....	44
III-8-Commande de batterie de condensateur.....	44
III-9-Eléments de condensateurs.....	45
9-1-Condition de fonctionnement.....	45
9-2-Eléments des harmoniques.....	45
9-3-Points particuliers concernant la sécurité.....	45
III-10-Prix de la batterie de condensateurs.....	46
Conclusion.....	48

Chapitre IV : Tarification de l'énergie électrique

Introduction.....	49
IV-1-Système de tarification de la SONEGAS.....	50
1-1-Structure de la tarification SONEGAS.....	50
IV-2-Postes horaires.....	53
IV-3-Présentation des tarifs et périodes tarifaires.....	54
3-1-Présentation des tarifs.....	54
3-2-Les clients alimentés en H.T.....	55

3-3-Les clients alimentés en M.T.....	55
3-4-Les clients alimentés en B.T.....	56
Conclusion.....	58

Chapitre V : application de la compensation à l'hôpital d'AZAZGA

Introduction.....	59
V-1-Description de l'installation électrique de l'hôpital.....	59
V-2-Description général de l'hôpital.....	59
2-1-Répartition des transformateurs.....	60
2-2-Panneau de comptage.....	60
2-3-Police d'abonnement.....	61
V-3-Analyse de la consommation de l'hôpital.....	61
3-1-Consommation d'énergie active.....	61
3-2-Consommation d'énergie réactive.....	62
3-3-Coût de l'énergie active consommée.....	62
V-4-Application des méthodes de réduction.....	63
4-1-Révision de la police d'abonnement.....	63
4-2-Contrôle de la facture d'énergie.....	64
V-5-Bilan de puissance.....	70
5-1-Tableau général des transformateurs N°I et N°II.....	70
5-2-Tableau général de transformateur N° III.....	72
V-6-Compensation de l'énergie réactive de l'hôpital.....	73
6-1-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du premier transformateur.....	73
6-2-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du deuxième transformateur.....	74
6-3-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du troisième transformateur.....	75
V-7-Calcul de l'énergie réactive délivrée par les trois batteries de condensateurs.....	75

V-8-Analyse des coûts de la consommation avant et après compensation.....	76
V-9-Calcul de l'investissement sur les batteries de condensateurs et la durée d'amortissement.....	79
Conclusion.....	80
Conclusion général.....	82

Annex

Bibliographie

Introduction générale

L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension.

L'énergie consommée est composée d'une partie <<active>>, transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie <<réactive>>, transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie <<active>> ; la partie <<réactive>> ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. Grâce à cette compensation, les consommateurs d'énergie électriques peuvent réduire leur facture énergétique.

Le but de notre travail est la compensation de l'énergie réactive au niveau de l'hôpital d'AZAZGA, pour atteindre notre objectif, nous avons subdivisé notre mémoire en cinq chapitres.

Dans le premier chapitre, nous allons donner quelques généralités sur les puissances (active, réactive et apparente). Le facteur de puissance et la compensation de l'énergie réactive feront l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre sera consacré à l'étude des batteries de condensateurs, ces batteries sont le moyen le moins cher et le plus efficace pour la compensation de l'énergie réactive. Dans le but de comprendre le système de tarification utilisé par le fournisseur de l'énergie électrique (SONELGAZ), le quatrième chapitre sera consacré à l'explication de la formule tarifaire donnant le coût d'énergie électrique. Le dernier chapitre traitera une application où nous allons essayer d'optimiser la facture énergétique de l'hôpital de d'AZAZGA, cette optimisation passe par une compensation de l'énergie réactive en installant des batteries de condensateurs.

Nous terminerons par une conclusion générale.

Introduction

L'énergie électrique présente deux particularités : elle n'est pratiquement pas disponible dans la nature et elle ne peut pas être stockée. Par conséquent le producteur-distributeur doit dimensionner les systèmes de production, de transport et de distributeur de façon à pouvoir livrer en tout temps les puissances active et réactive demandées par l'ensemble des utilisateurs.

I-1-Généralités

1-1-Puissance instantanée

Soit un dipôle linéaire soumis à une tension sinusoïdale:

$$u(t)=U\sqrt{2} \sin (\omega t).$$

Le courant qui le parcourt est sinusoïdal et peut s'écrire sous la forme :

$$i(t)=I\sqrt{2}\sin (\omega t-\varphi).$$

Dans un petit intervalle de temps, l'énergie reçue par le dipôle est la même que si la tension U et le courant I étaient constants :

$$dW= u(t).i(t).$$

Egalement par définition, la puissance instantanée qui est donnée par :

$$P=\frac{dW}{dt} = u(t).i(t) \quad [\text{Watt}]$$

1-2 -Puissance active

La puissance active est la valeur moyenne de la puissance instantanée, elle est reçue par le dipôle, elle est transformée, en énergie mécanique, thermique, lumineuse, calorifique ..., elle est directement utilisable.

C'est la grandeur fondamentale matérialisant l'état énergétique des installations à courant alternatif.

$$P= u(t) . i(t) = [U\sqrt{2}\sin (\omega t)]. [I\sqrt{2}\sin (\omega t-\varphi)].$$

$$P=UI \cos\varphi - UI \cos (2\omega t-\varphi).$$

Le premier terme est indépendant de t , d'où sa valeur moyenne est $UI \cos\varphi$. Le second terme a une valeur moyenne nulle (la valeur moyenne d'une fonction sinusoïdale par période est nulle), cela implique que P se réduit à :

$$P = UI \cos\varphi \quad [\text{W}]$$

Bien entendu cette relation demeure valable seulement en monophasé.

U : Valeur efficace de la tension.

I : Valeur efficace du courant.

φ : Déphasage entre u et i .

Détaillons un peu les différentes interprétations pouvant être réduites en fonction des valeurs du déphasage :

-Si le dipôle est un récepteur (par exemple un moteur), on a $P > 0$; d'où $\cos\varphi > 0$, et $-\pi/2 < \varphi < \pi/2$; le vecteur de Fresnel du courant i est dans le quatrième quadrant si $\varphi < 0$, dans le premier si $\varphi > 0$;

-Si le dipôle est un générateur (par exemple alternateur), on aura : $P < 0$, car $\cos\varphi < 0$, ceci entraîne $\pi/2 < \varphi < 3\pi/2$, le vecteur de Fresnel du courant i est dans le deuxième quadrant ou le troisième.

1-3-Puissance réactive

La puissance réactive Q mesurée en VAR : elle sert à l'aimantation des circuits magnétiques des appareils récepteurs, elle n'est pas directement utilisable, mais elle circule de la source aux récepteurs et inversement. Donc l'expression de la puissance réactive est :

$$Q = UI \sin\varphi$$

1-4-Puissance apparente

Cette puissance n'a aucune signification physique, elle sert uniquement à dimensionner les machines, telle que les transformateurs, moteurs, alternateurs ; Elle s'exprime en Volt Ampère [VA]

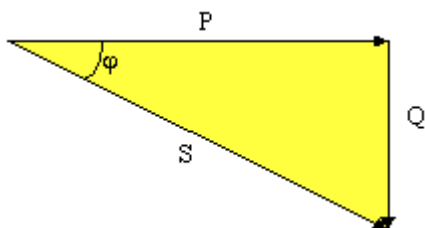
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

1-5-Facteur de puissance

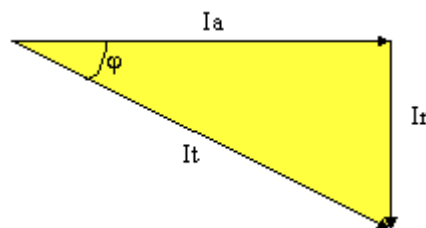
Le facteur de puissance appelé également $\cos\varphi$ est le déphasage angulaire entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit alternatif.

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI}$$

Les représentations graphiques



Triangle des puissances



Triangle des courants

I_a : courant actif ; I_r : courant réactif et I_t : courant total

I-2-L'énergie

2-1-L'énergie active

Elle est exprimée en kWh, utilisable après transformation par le récepteur, sous forme de chaleur ou de travail. Cette énergie active renseigne sur la puissance du même nom (active), utilisée en une heure de fonctionnement.

$$P = W/1h \quad [kW]$$

2-2-L'énergie réactive

L'énergie réactive dérive de la puissance réactive et est principalement utilisée dans la création de champs tournants. Les principaux consommateurs en sont : les moteurs asynchrones, les transformateurs ; les inducteurs (ballasts de tubes fluorescents) ; ainsi que les convertisseurs statiques telles les redresseurs.

I-3-Bilan de puissance

Le bilan de puissances est utilisé pour déterminer les caractéristiques du transformateur capable d'alimenter l'entreprise, en tenant compte d'une éventuelle augmentation de la demande d'énergie.

3-1-Puissance installée

Elle est déterminée à partir de la somme de toutes les puissances (lues sur les plaques signalétiques) des récepteurs (moteurs) après avoir divisé chacune par le rendement du précédent, bien entendu ne pas occulter l'éclairage, la climatisation, les chauffages...etc, cette puissance représente la puissance la plus élevée car elle suppose que tous les récepteurs fonctionnent simultanément et en régime nominal.

$$P_{\text{ins}} = \sum_j^m P_j / \eta_j \quad \text{Avec : } \eta_j : \text{rendement de récepteurs d'indice } j$$

P_{ins} : puissance installée totale

P : puissance installée du récepteur d'indice j .

m : nombre de récepteurs.

NB : les informations sur les puissances réellement installées sont exhaustives, pour cela, généralement, on table sur estimations, les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Type récepteurs	Type d'exploitation	Puissance installée
Eclairage fluorescent	Bureau atelier	25VA/m ²
		20VA/m ²
		15VA/m ²
		Hauteur plafond=9m
		Plafond hauteur=6m
Force motrice	Traitement thermique	700VA/m ²
	Atelier chaudronnerie	450VA/m ²
	Atelier peinture	350VA/m ²
	Atelier usinage	300VA/m ²
	Atelier montage	70VA/m ²
	Atelier expédition	50VA/m ²
	Bureau	25VA/m ²
	Chauffage	23VA/m ²
	Conditionnement d'air	4VA/m ²

Tableau I-1 : Valeurs estimées des puissances installées [2]

3-2-Puissance consommée [2]

C'est la puissance maximale réellement consommée par les récepteurs. Elle est égale à la somme des puissances installées multipliée par les coefficients K_u et K_s où :

K_u : coefficient d'utilisation

K_s : coefficient de simultanéité

3-3-Facteur de simultanéité(K_s) : coefficient de simultanéité qui est le rapport de la somme des puissances effectivement absorbées des appareils susceptibles de fonctionner simultanément à la somme des puissances nominal.

Les récepteurs installés ne fonctionnent pas tous simultanément.

C'est pourquoi il est permis d'appliquer aux différents ensembles de récepteurs(ou de circuits) des facteurs de simultanéité.

La détermination du facteur de simultanéité demande de la connaissance détaillée de l'installation et des conditions d'exploitation.

On ne peut donc pas choisir des valeurs précises applicables à tous les cas. Pour le calcul de ce facteur, on utilise les normes **N.F.C 14-100, UTE 63-410 et N.F.C 15-100**, qui donnent quelques précisions sur ce facteur.

Remarque

S'il y a connaissance détaillée de l'installation.

Ce facteur se calcule comme suit :

Soit un niveau n d'une armoire de distribution de puissance, à un nombre de récepteurs ;

Le coefficient de simultanéité de ce niveau (ou cette armoire) est :

$$K_{s_n} = \text{NR FS (de cette armoire)} / \text{NTR (de cette armoire)}$$

Avec : NR FS : nombre de récepteurs fonctionnant simultanément de cette armoire ;

NTR : nombre total de récepteurs de cette armoire.

NB : Ce facteur peut être également utilisé pour le calcul du courant d'emploi entrant dans le choix des sections de conducteurs et de câbles, ainsi que le choix de l'appareillage de protection.

Les valeurs de K_s en fonction du nombre de circuits : tableau [I-1]

Nombre de circuits	Facteur K_s
1.0	1.0
2 et 3	0.9
4 et 5	0.8
5 et 9	0.7
10 et plus	0.6

Tableau I-2 : Facteur de simultanéité sur la norme UTE 63-40 pour les armoires [1]

NB : Si l'armoire est composée principalement de circuits d'éclairage il est prudent de majorer ces facteurs.

Les valeurs de K_s recommandées sont données par le tableau [I-2]

Utilisation	Facteur K_s
Eclairage, conditionnement d'air	1.00
Chauffage électrique, chauffe eau	1.00
Prises de courant (N étant le nombre de prises de courant alimentées par le même circuit)	$0.10+0.90/N$
Appareil de cuisson	0.7
Montage charge :	
-Plus gros moteur	1.00
-Moteurs suivants	0.75
-Autres	0.60

Tableau[I-3] : Valeurs du facteur de simultanéité pour les différents types d'utilisation[2]

3-4-Facteur d'utilisation(K_u)

C'est le rapport de la puissance consommée par un récepteur à sa puissance nominale.

Il tient compte du fait que certains récepteurs ne fonctionnent pas toujours à leur régime nominal. Les valeurs du coefficient d'utilisation K_u recommandées par la norme **N.F.C 15-100**, sont données par le tableau [I-3].

Type d'utilisation	K_u
Eclairage	1.00
Prises de courant	0.15
Chauffage	1.00
Moteurs de grande puissance	1.00
Moteurs de moyenne puissance	0.75
Moteurs de petite puissance	0.60
Machines outils	0.80

Tableau I-4 : Valeurs du coefficient d'utilisation pour différents récepteur. [2]

Remarque :

- Petite puissance : $P < 5\text{kW}$
- Moyennes puissances : $5\text{kW} \leq p \leq 75\text{kW}$
- Grandes puissances : $P > 75\text{kW}$

I-4-Méthodes de calcul de la puissance consommée [3]

Soit un récepteur d'indice de l'installation et sa condition d'exploitation permet la détermination du nombre de circuits.

Soit un récepteur d'indice (i) de puissance utile P_u , de facteur de puissance $\cos\varphi$ et de rendement (η_i).

La puissance absorbée par le récepteur (i) est :

$$P_i = P_u / \eta_i.$$

La puissance réactive correspondante est :

$$Q_i = P_i \cdot \tan \varphi_i$$

Si k_{ui} est le facteur d'utilisation du récepteur (i) alors la puissance d'utilisation s'écrit comme suit :

$$P_{ui} = K_{ui} \cdot P_i$$

$$Q_{ui} = K_{ui} \cdot Q_i$$

4-1- Puissance consommée dans chaque coffret

Le groupe de récepteurs d'indice (i) possède un facteur de simultanéité K_s au niveau du coffret (j) qui les alimente ($j = 1, 2, 3 \dots n$).

La puissance consommée au niveau du coffret est :

$$P_{sj} = (\sum_{i=1}^n P_{ui}) \cdot K_{sj1}$$

$$Q_{sj} = (\sum_{i=1}^n Q_{ui}) \cdot K_{sj1}$$

1 : indice du premier niveau

n: nombre de récepteurs

NB : on peut avoir deux ou plusieurs facteurs de simultanéité dans un même coffret, la puissance s'écrit alors :

$$P_{Sj} = (\sum_{i=1}^n P_{ua} \cdot K_{Sja}) + \sum_{i=1}^n P_{uib} \cdot K_{Sjb}) + \dots$$

4-2- Puissance consommée au niveau du tableau secondaire

Soit un tableau secondaire d'indice (k) qui alimente les différents coffrets (j₂) et affecté lui aussi d'un facteur de simultanéité (K_{SK2})

K : indice du tableau secondaire

2 : indice de simultanéité du deuxième niveau.

Les puissances consommées au niveau du tableau (K) sont :

$$P_{SK} = (\sum_{j2=1}^m P_{Sj2}) \cdot K_{SK2}$$

$$Q_{SK} = (\sum_{j2=1}^m Q_{Sj2}) \cdot K_{SK2}$$

m: nombre de coffrets

- Facteur de puissance du tableau k

$$\cos \varphi_K = \frac{P_{Sk}}{\sqrt{P_{Sk}^2 + Q_{Sk}^2}}$$

- Intensité du courant au niveau du tableau général:

$$I_k = \frac{P_{Sk}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_k}$$

4-3- Puissance consommée au niveau du tableau général

Le tableau général est relié à tous les tableaux secondaires affectés d'un facteur de simultanéité (K_{S3})

3 : indice du troisième niveau

$$P_{TG} = (\sum_{k=1}^r P_{SK}) \cdot K_{S3}$$

$$Q_{TG} = (\sum_{k=1}^r Q_{SK}) \cdot K_{S3}$$

r: nombre de tableaux secondaire

- Facteur de puissance au niveau du tableau général :

$$\cos\varphi_K = \frac{PTG}{\sqrt{TG^2 + QTG^2}}$$

- Intensité du courant au niveau du tableau général :

$$I_{TG} = \frac{PTG}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_K}$$

4-4- Puissance du transformateur alimentant l'installation

La puissance du transformateur est calculée en tenant compte d'une éventuelle extension ou augmentation du nombre de récepteur. C'est pour cette raison qu'on admet 30% de puissance de plus pour estimer la puissance du transformateur

$$S = 1.3 \cdot S_G$$

Avec :

$$S_G = \sqrt{PG^2 + QG^2}$$

I-5- Calcul des pertes de puissance

5-1-Pertes dans les transformateurs

Un transformateur est constitué de deux enroulements, le primaire et le secondaire, qui sont liés magnétiquement par un noyau ferromagnétique. Cette constitution induira des pertes qui sont :

a-pertes actives

Elle se compose de :

- La puissance perdue dans le cuivre est donnée par :

$$\text{Primaire : } 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2$$

$$\text{Secondaire : } 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2$$

- La puissance perdue dans le fer :

$$\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0$$

b-pertes réactives

Elles sont dues :

- Aux flux ϕ_1 et ϕ_2 : une perte de puissance réactive qui s'exprime au primaire par $3 \cdot X_1 \cdot I_1^2$, et au secondaire par $3 \cdot X_2 \cdot I_2^2$
 ϕ_1 : flux engendré par l'enroulement primaire.

ϕ_2 : flux engendré par l'enroulement secondaire.

- Au flux commun ϕ ; pour l'entretenir, il exige une puissance réactive à vide de :

$$\sqrt{3}U_1.I_0.\sin\varphi_0$$

5-2- Perte dans les conducteurs

Tout conducteur électrique parcouru par un courant électrique s'échauffe et engendre des pertes de puissance (effet Joule). Celles-ci se calculent de la façon suivante :

a- Pertes actives :

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n 3. R_i. I_i^2 \quad \text{en triphasé}$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n 2. R_i. I_i^2 \quad \text{en monophasé}$$

ΔP : pertes de puissance dans les conducteurs en Watt.

i : indice distinguant les conducteurs.

R_i : résistance de chaque inducteur en Ohm.

I_i : courant traversant les conducteurs en Ampère.

b-Pertes réactives :

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n 3. X_i. I_i^2 \quad \text{en triphasé}$$

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n X_i. I_i^2 \quad \text{en monophasé}$$

ΔQ : pertes de puissance réactive dans les conducteurs en (Var).

X_i : réactance de chaque conducteur (i) en Ohm.

c-Bilan des puissances

Le bilan des puissances actives et réactives dans un transformateur est formulé comme suit :

Puissance active

$$\sqrt{3}.U_1.I_1.\cos\varphi_1 = 3.R_1.I_1^2 + 3.R_2.I_2^2 + \sqrt{3}.U_1.I_0.\cos\varphi_0 + \sqrt{3}.U_2.I_2.\cos\varphi_2$$

Puissance reactive

$$\sqrt{3}.U_1.I_1.\sin\varphi_1 = 3.X_1.I_1^2 + 3.X_2.I_2^2 + \sqrt{3}.U_1.I_0.\sin\varphi_0 + \sqrt{3}.U_2.I_2.\sin\varphi_2$$

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons voulu mettre en évidence ; d'une part, à travers les notions de puissances ; active, réactive et apparente et l'importance du facteur de puissance qui définit la consommation de la puissance réactive.

Introduction :

Pour une puissance produite, transmise ou distribuée, le facteur de puissance est fonction de la puissance réactive.

Une consommation excessive de cette puissance réactive se traduit par un faible facteur de puissance, engendrant ainsi les conséquences suivantes :

- Chute de tension ;
- Augmentation des pertes ;
- Limitation de la capacité de transit de puissance de la ligne ;
- Immobilisation excessive des capitaux.

Ces effets expliquent pourquoi les compagnies de distribution d'électricité imposent une tarification dans laquelle il est tenu compte de l'énergie réactive consommée. Ainsi donc, le consommateur a intérêt à relever son facteur de puissance, en utilisant la compensation.

II-1-Importance de facteur de puissance

Les distributeurs d'électricité facturent généralement et seulement la puissance active consommée. Les pertes dans les lignes ne sont pas facturées. Or celles-ci dépendent de l'intensité apparente appelée qui augmente dans le cas de faible facteur de puissance ($\cos\varphi$), les pertes par effet joule augmentent en raison du carré de cette intensité (RI^2), les chutes de tension sont importantes et le rendement l'installation diminue.

II-2-Avantage d'un bon facteur de puissance

- Un bon facteur de puissance c'est :
 - $\cos\varphi$ élevé (proche de 1)
 - ou $\tan\varphi$ faible (proche de 0)
- Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :
 - La suppression de la facturation d'énergie réactive ;
 - La diminution de la puissance souscrite en kVA ;
 - L'amélioration du niveau de tension en bout de ligne ;

- La limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte-tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation ;
- L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

II-3-Cause d'un faible facteur de puissance [4-2]

En général dans une installation bien dimensionnée, la valeur de $\cos\varphi$ est convenable lorsque chaque machine absorbe une puissance active proche de sa puissance nominale. Cependant, une telle installation consomme une puissance réactive dont une partie est due au courant magnétisant des transformateurs et des moteurs asynchrones, et qui est indépendante de la puissance active absorbée. Si cette puissance active diminue, il en est de même pour $\cos\varphi$, ce qui correspond à une mauvaise utilisation des investissements et à un risque de pénalisation tarifaire.

Un facteur de puissance de faible valeur a souvent pour causes de mauvaises conditions d'utilisation du matériel. Ces conditions correspondent, par exemple :

- pour les transformateurs :

-fonctionnement à vide ;

-fonctionnement à faibles charges.

- pour les moteurs asynchrones :

-fonctionnement à vide ;

-fonctionnement à faible charge fréquents, aux quelles il convient d'ajouter parfois un niveau de tension d'alimentation trop élevé.

- pour l'éclairage fluorescent : une mauvaise conception.

Le tableau II-I indique les principaux éléments qui influent sur la valeur du facteur de puissance et dont il faut tenir compte dans la pratique courante.

II-4-Inconvénients d'un faible facteur de puissance [5]

Dans la structure d'un réseau tout entier (productions, transformateurs, lignes à haute tension et consommateurs), cette structure doit être surdimensionnée si elle est soumise à un transit excessif de puissance réactive ; puisqu'avoir un faible facteur de puissance équivalent à consommer trop de puissance réactive.

a-Alternateurs :

Quand le transfert de puissance réactive devient très important, la puissance apparente, qui est le facteur de dimensionnement des machines augmente ; le constructeur définit la machine par sa puissance apparente (kVA) en régime normale et c'est l'utilisateur qui suivant le facteur de puissance qu'il donne à l'alternateur, obtient une puissance active plus au moins grande.

b-Transformateurs :

A puissance active constante, quand le $\cos\varphi$ diminue, le courant augmente, il est de même pour la puissance apparente S qui est aussi le facteur de dimensionnement. Finalement la section du cuivre et le type d'isolation doivent être choisis en fonction d'un courant conséquent.

c-Lignes :

A faible valeur de facteur de puissance, le courant transitant dans la ligne augmente et la capacité de transport de la ligne diminue. A un grand courant, les chutes de tension vont dépasser le seuil admissible, donc perturbation du bon fonctionnement des récepteurs (notamment les moteurs dont le couple est proportionnel à la tension), les pertes de puissance y seront aussi augmentées. On doit choisir une grande section du conducteur pour les forts courants, donc surdimensionnement des supports et appareils de coupure.

d-Rendement

Si le courant augmente (faible $\cos\varphi$), il y a introduction des suppléments de pertes de puissance, donc le rendement diminue.

On constate que pour une même puissance apparente, le rendement d'autant meilleur que $\cos\varphi$ est plus grand.

e-L'utilisateur :

L'utilisateur lui-même est directement intéressé par le facteur de puissance de son installation : il influe sur la chute de tension de transformateur placé à l'entrée de son installation sur celles des canalisations. De ce fait les moteurs peuvent être sous alimentés.

En cas de facteur de puissance trop faible, l'utilisateur est appelé à le relever à la valeur exigée par la SONEGAS ($\cos\varphi \geq 0.894$) si non il sera pénalisé.

II-5-Comment améliorer le facteur de puissance**5-1-Action directe sur l'installation**

Il faut procéder à une révision approfondie de toute l'installation électrique. Cette révision doit se porter :

- Sur les moteurs : remplacement d'un moteur inutilement trop puissant par un autre moins puissant.
- Sur les transformateurs : réduction des marches à vide ou à faible charge, remplacement d'un appareil à pertes normales par un transformateur à pertes réduites; [6]

Tableau II-I. –Éléments influants sur le facteur de puissance [4-2].	
Moteurs asynchrones ordinaires. – Le $\cos\phi$ est essentiellement fonction des :	
- Caractéristiques de la construction.....	– puissance nominale ($\cos\phi$ augmente avec la puissance active) – vitesse nominale (à puissance égale, $\cos\phi$ diminue lorsque le nombre de pôles augmente) – qualité et type de la construction
- Conditions d'utilisation.....	– charge ($\cos\phi$ maximal aux fortes charges; marche à vide ou à faible charge à éviter) – tension d'alimentation ($\cos\phi$ augmente quand la tension diminue)
Nota : la norme française NF C 51-120 ne donne pas de garantie pour $\cos\phi$.	
Transformateurs de puissance. – Le $\cos\phi$ est essentiellement fonction des :	
- Caractéristiques de la construction.....	– puissance nominale ($\cos\phi$ augmente avec la puissance active) – type du transformateur (selon la caractéristique du matériau magnétique) – qualité de la construction
- Conditions d'utilisation.....	– consommation propre d'énergie réactive (marche à vide ou à faible charge à éviter)
Appareils d'éclairage	
• Lampe à incandescence..... - $\cos\phi$ égal à l'unité • Lampe à fluorescence..... - $\cos\phi$ faible (inférieur à 0.4), mais satisfaisant avec matériel autocompensé	
Appareils électrothermiques	
• Chauffage par résistance.....	– $\cos\phi$ pratiquement égal à l'unité, sauf exceptions (par exemple, cas de réglage par gradateur à thyristors)
• Soudage	
{ par résistance.....	– valeurs diverses (en moyenne $\cos\phi$ de l'ordre de 0.5 à 0.6), parfois satisfaisantes, notamment pour les machines à souder à bras courts (machines à souder en bout et presses)
{ par arc.....	– postes statiques, $\cos\phi$ faible (de l'ordre de 0.3 à 0.4) le plus souvent, sauf si compensation par condensateurs – groupes rotatifs (cf. moteurs asynchrones ordinaires) – transformateurs - redresseurs : $\cos\phi$ assez satisfaisant
• Chauffage par induction à basse fréquence	- $\cos\phi$ assez satisfaisant, en général
• Chauffage par induction à haute fréquence	
Et chauffage diélectrique.....	– $\cos\phi$ satisfaisant (supérieur à 0.6 ou 0.7), en principe
• Fours à arc.....	– la valeur moyenne de $\cos\phi$ ($\cos\phi_{\text{moy}}$) est voisine de 0.8, sauf dans le cas de fours UHP (Ultra High Power) où elle voisine de 0.7
Autres appareils	
• Redresseurs de courant et onduleurs.....	– $\cos\phi$ assez satisfaisant (de l'ordre de 0.5) pour les redresseurs à diodes; pour les systèmes à thyristors cela dépend du type de montage utilisé et de la valeur de l'angle d'amorçage
• Moteurs spéciaux (synchrones, Asynchrones, synchronisés ou compensés).....	– $\cos\phi$ en général excellent (fonction du réglage)

5-2-Action indirecte

L'amélioration du facteur de puissance doit passer par l'installation d'un moyen de compensation qui constitue la solution la plus efficace : très généralement une ou plusieurs batteries de condensateurs (Véritable générateur d'énergie réactive : I en avance de 90° sur U réseau)

Soit un appareil ou groupe d'appareils appelant une puissance active P en (kW) et une puissance réactive en (kVAr). On souhaite réduire la $\text{tg}(\varphi)$ à une valeur plus faible

Puissance réactive des condensateurs à installer

$$Q = P \text{tg}(\varphi) \text{ et } Q' = P \text{tg}(\varphi')$$

La puissance du ou des condensateurs à installer sera égale à

$$Q_b = P[\text{tg}(\varphi) - \text{tg}(\varphi')] = Q - Q'$$

Nota : la valeur du $\cos\varphi$ évaluant avec le temps il convient d'utiliser les valeurs moyennes de ces derniers pour l'utilisation de la formule précédente $Q_b = P[\text{tg}(\varphi) - \text{tg}(\varphi')]$

5-3-But de la compensation

Le but de la compensation de l'énergie réactive est d'élever le facteur de puissance pour réduire les pertes dans le réseau

II-6-Moyens à utiliser pour la compensation [5]

a-Compensateur synchrone

Un compensateur synchrone est un moteur synchrone fonctionne à vide et absorbant un courant réactif en avance ou en retard par rapport à la tension.

Cette machine est utilisée pour améliorer le facteur de puissance et pour régler la tension des lignes de transport d'énergie.

-Pour améliorer le facteur de puissance, le compensateur fonctionne en régime surexcité prend un courant capacitif du réseau qui compense le courant inductif des moteurs asynchrones et des transformateurs.

-Pour maintenir la tension constante aux extrémités réceptrices des lignes de distribution, le compensateur travaille à grande charge en régime surexcité et à faible charge en régime sous excite.

Les compensateurs synchrones sont des machines ne fournissant aucune puissance active. Leur fonctionnement peut être contrôlé par un régulateur automatique de tension.

b-Condensateurs statiques

Les condensateurs sont utilisés pour améliorer le facteur de puissance, pour régler la tension de ligne et pour améliorer les possibilités d'échange d'énergie entre centrales fonctionnant en parallèle.

Pour améliorer le facteur de puissance, on place en dérivation une batterie de condensateurs en gradins avec les éléments de la charge.

Tout comme les compensateurs synchrones, les condensateurs statiques ne consomme aucune puissance active.

II-7-Les avantages de la compensation de l'énergie par batteries de condensateurs

7-1-Les avantages économiques [4]

- Grande durée de vie ;
- Montage facile ;
- Augmentation de la puissance active disponible au secondaire du transformateur ;
- Diminution des pertes d'énergie (pertes Joule) ;
- Un condensateur ne consomme qu'une très faible puissance active ce n'est pas le cas des machines tournantes ;
- Suppression des pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.

7-2-Les avantages techniques

a-Tension en bout de ligne améliorée

Le maintien relatif de la tension en bout de ligne est défini par la formule suivante :

$$\Delta U(\%) = X_L \frac{Q}{10} U^2 \quad [\text{II-1}]$$

X_L : Réactance de la ligne

Q : Puissance réactive de la batterie

U : Tension nominale des condensateurs

b-Une diminution des pertes en ligne à puissance active constante

La résistance des condensateurs, provoque toujours des pertes wattées qui s'ajoutent à la consommation active de l'installation. Elles sont proportionnelles au carré du courant transporté et diminuent au fur et à mesure que le facteur de puissance augmente. [7]

c-Une augmentation de la puissance active transportée par les lignes à pertes égales :

Un accroissement d'activité oblige souvent à transporter une puissance active plus importante afin de satisfaire les besoins énergétiques des récepteurs. La mise en place des batteries de condensateurs lorsque la charge du réseau électrique est relativement faible ($\cos\varphi$ entre 0.5 et 0.85) en permet le transport sans modification des lignes existantes.[4]

d-Une augmentation de la puissance active disponible aux secondaires des transformateurs

L'installation de moyens de compensation aux bornes<<aval>> d'un transformateur surchargé permet de dégager une réserve de puissance utilisable pour une extension éventuelle de l'usine sans avoir à changer le transformateur et ainsi de différer un investissement important. [4]

II-8-Compensateur de moteur asynchrone

Le $\cos\varphi$ des moteurs est en général très mauvais à vide, à faible charge et même en marche nominale.

Pour ce type de récepteurs il est donc utile d'installer des condensateurs.

Le tableau suivant donne à titre indicatif les valeurs de la puissance des batteries de condensateur en kVAr à installer en fonction de la puissance des moteurs tournants à des vitesses bien déterminées. [8]

Moteur triphasé : 230/400V				
Puissance nominale des moteurs	Puissances (kVAr) à installer			
	Vitesse de rotation [trs/min]			
kW	3000	1500	1000	750
22	6	8	9	10
30	7.5	10	11	12.5
37	9	11	12.5	16
45	11	13	14	17
55	13	17	18	21
75	17	22	25	28
90	20	25	27	30
110	24	29	33	37
132	31	36	38	43
160	35	41	44	52
200	43	47	53	61
250	52	57	63	71
280	57	63	70	79
355	67	76	86	98
400	78	82	97	106
450	87	93	107	117

II-2 : puissance maximale en KVar pouvant être installée sur un moteur asynchrone [8]

Remarque : pour éviter des surtensions dangereuses dues au phénomène d'auto-excitation, il faut s'assurer que la puissance de la batterie vérifie la relation suivante :

$$Q \leq 0.9\sqrt{3}U_n I_0$$

I_0 : courant à vide du moteur

I_0 peut être estimé par l'expression suivante

$$I_0 = 2 I_n (1 - \cos \varphi_n)$$

I_n : valeur du courant nominal du moteur

$\cos \varphi_n$: $\cos \varphi$ du moteur à la puissance nominale

U_n : tension composée nominale

II-9-Compensation de transformateur

Un transformateur à besoin, pour assurer son fonctionnement, d'énergie réactive interne nécessaire à la magnétisation de ses enroulements. Le tableau ci-dessous donne, la valeur de la batterie à installer en fonction des puissances et charges du transformateur. Ces valeurs peuvent évoluer en fonction de la technologie de l'appareil.

Puissance nominale Transformateur kVA	Puissance kVAr à prévoir pour la Consommation interne du transformateur fonctionnement		
	A vide	Charge 75%	Charge 100%
100			6
160	3	5	10
200	4	7.5	12
250	4	9	15
315	5	11	20
400	6	15	25
500	8	20	30
630	10	25	40
800	12	30	55
1000	20	40	70
1250	25	50	90
2000	30	70	150
2500	50	100	200
3150	60	150	250
4000	90	200	320
5000	160	250	425
	200	300	

Tableau II-3 : Consommation d'énergie réactive des transformateurs de distribution [9]

Remarque : Lors de la réalisation d'une compensation d'énergie réactive il est conseillé de prévoir un condensateur fixe correspond à la consommation réactive interne du transformateur.

II-10-Méthode de la détermination de la compensation

10-1-Calcul de la puissance réactive nécessaire Q_c

Elle se calcul :

- A partir de l'énergie réactive facturée W (kVArh) et de la durée de fonctionnement de l'installation.

$$Q \text{ (kVAr)} = \frac{W \text{ (kVArh)}}{t \text{ (h)}}$$

- A partir des données électriques de l'installation :

- Faire le bilan des puissances actives P et réactives Q de tous les récepteurs de l'installation ;
- Tenir compte des facteurs d'utilisation et de simultanéité ;
- calculer la puissance réactive nécessaire Q_c ;

Le calcul de Q_c peut se faire :

- Directement à partir de la relation :

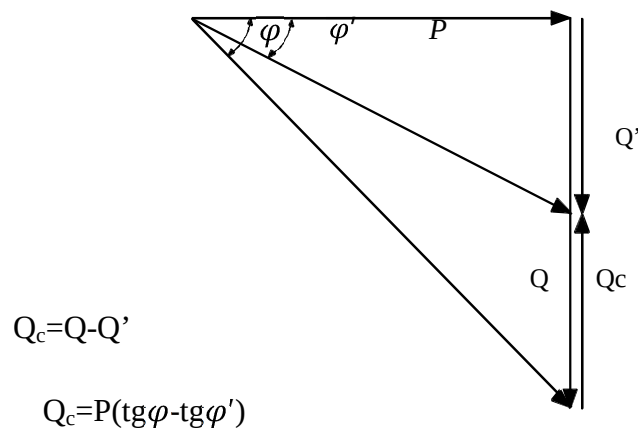


Figure II-1 : schéma du principe de la compensation

Avec : $\operatorname{tg} \varphi$: correspond au $\cos(\varphi)$ de l'installation avant compensation.

$\operatorname{tg} \varphi'$: correspond au $\cos(\varphi')$ souhaité après compensation.

Q_c : puissance de la batterie de condensateur en kVAr

P : puissance de la charge en kW.

- A partir de tableau II-4 :

La relation précédente peut s'écrire :

$$\text{à } P=\text{constante} \quad Q_c=P.k$$

Où k est un facteur qui se détermine à partir du tableau suivant :

AVANT COMPENSATI		Coefficient K à appliquer à la puissance active pour relever le facteur de puissance $\cos \phi$ ou $\text{tg } \phi$ aux niveaux													
$\text{tg } \varphi$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
		$\cos \varphi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620

0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Tableau II-4 : kVAr à installer par kW pour élever le facteur de puissance

10-2-Mode de compensation

La compensation d'énergie réactive peut se faire à différents niveaux d'un réseau ou d'une installation.

Pour chaque récepteur, pour un groupe de récepteur, ou au niveau de la fourniture de l'énergie.

Il existe trois modes de compensation :

- compensation individuelle ;
- compensation globale ;
- compensation par secteur.

a-Compensation individuelle

Cette compensation est techniquement idéale, puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit où elle est <<consommée>>. Elle est réservée aux consommateurs individuelle de petite puissance (moteurs, appareils d'éclairage) dont la puissance réactive est relativement importante, ou bien aux gros consommateurs de puissance, influençant les dimensions de l'installation.

Remarque :

- Le courant réactif est éliminé dans les câbles de l'installation.
- Les pertes par effet joule dans les câbles (RI^2) sont diminuées.
- Le nombre de batteries de condensateur est dans ce cas plus important, il en résulte un investissement plus élevé ;

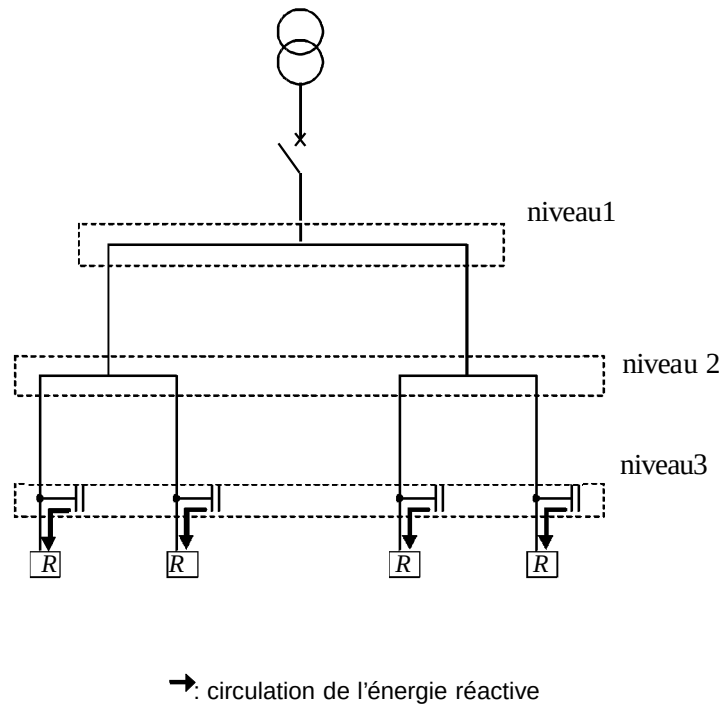


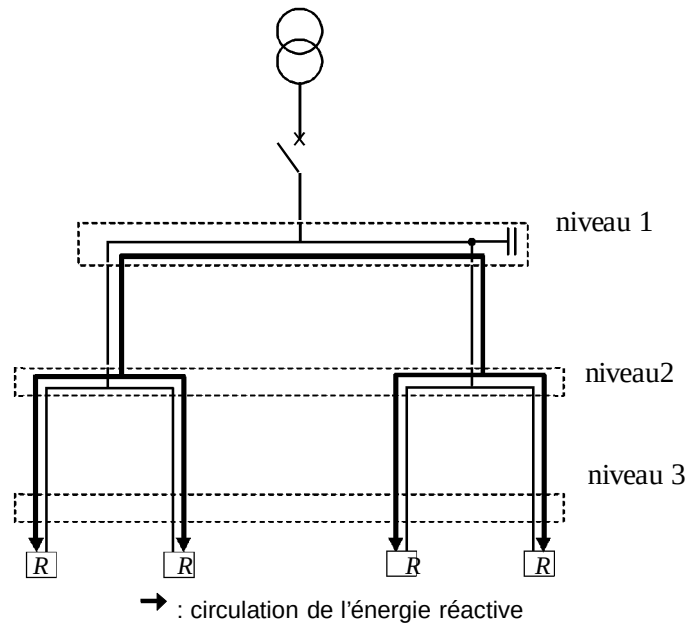
Figure II-2 : compensation individuelle (niveau3)

b-Compensation globale

Cette compensation consiste à placer une seule batterie de condensateur au niveau du poste de distribution. Ce mode de compensation est économique du fait que toute la puissance de compensation est concentrée en un point.

Néanmoins cette compensation présente des inconvénients :

- Elle n'améliore pas le facteur de puissance pour toute la partie de l'installation.
- Risques de surcompensation par suite de variation des charges importantes
- Risque de surtension lors du passage de la ligne du régime en charge au régime à vide ; ceci est dû à la présence des capacités en début des lignes.
- Les pertes par effet joule dans les câbles (RI^2) ne sont pas diminuées

**Figure II-3: compensation globale (niveau1)**

c-Compensation par secteur

Cette compensation consiste à placer une batterie de condensateur par groupe de machine. Elle est réservée aux consommateurs de puissances élevées et aux ateliers fonctionnant à des régimes différents. Cette compensation est considérée la meilleure du fait qu'elle est économique et techniquement réalisable.

Remarque : Les pertes par effet Joule dans les câbles (RI^2) sont diminuées

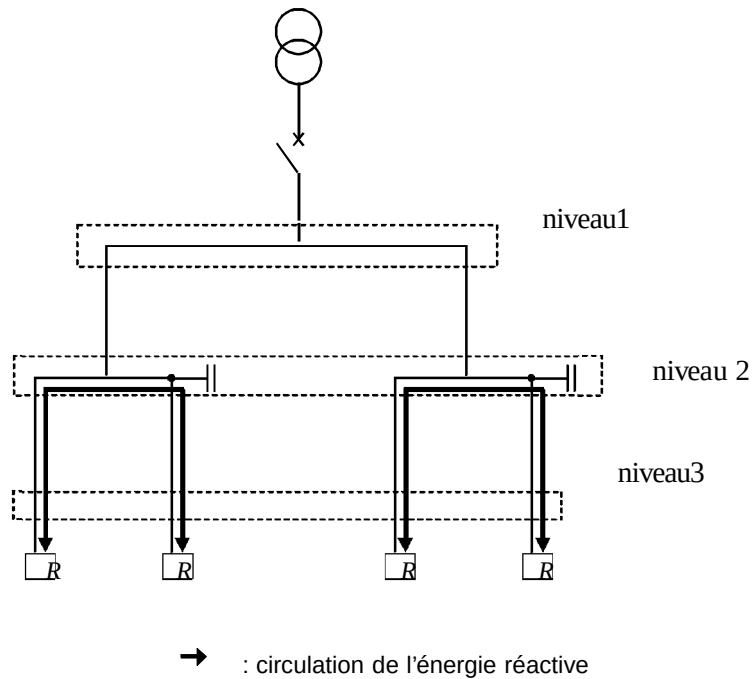


Figure II-4 : compensation par secteur (niveau2)

10-3-Type de compensation [4]

La compensation de l'énergie réactive s'effectue selon deux systèmes :

- Système fixe
- Système automatique

Le choix s'effectue selon le caractère suivant :

- $Q_c/S_n \leq 15\%$ □ compensation fixe.
- $Q_c/S_n > 15\%$ $\Rightarrow$ compensation automatique.

Avec S_n (kVA): puissance de transformateur HT/BT

Q_c (kVAr) : puissance de batterie de condensateurs

b-Compensation automatique :

La puissance réactive fournie par la batterie de condensateurs modulable en fonction des variations du facteur de puissance et de la charge des récepteurs donc de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

Ces batteries sont composées d'une association en parallèle de gradins (gradin=condensateur + contacteur).

La mise en ou hors service de tout ou d'une partie de la batterie étant asservie à un régulateur Varmétrique intégré.

Ces batteries sont également utilisées dans le cas :

- D'installation électrique à charge variable ;
- De compensation de tableaux généraux ou gros départ ;

Remarque :

La compensation automatique évite le renvoi d'énergie réactive sur le réseau et les surtensions dangereuses pour les circuits d'éclairages lors des machines à faible charge de l'installation.

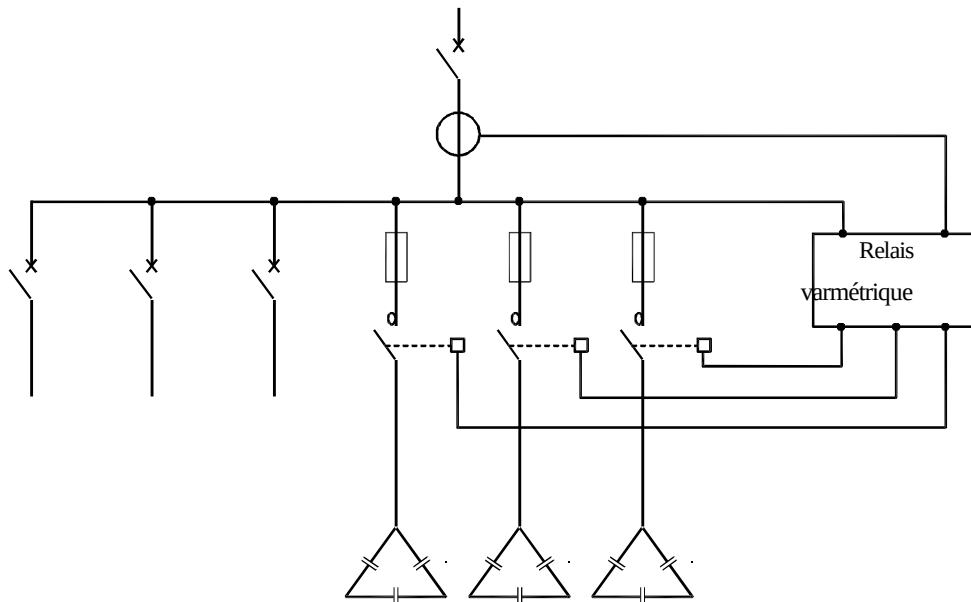


Figure II-5 : principe de la compensation automatique d'une installation

a-Compensation fixe :

La puissance réactive fournie par la batterie de condensateur est constante quelle que soit la variation du facteur de puissance et de la charge des récepteurs, donc de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

La mise sous tension de ces batteries est :

- Soit manuelle par disjoncteur ou interrupteur ;

-Soit semi-automatique par contacteur commandé à distance ;

Ce type de batterie est généralement utilisé dans les cas :

-D'installations électrique à charge constante fonctionnant 24/24h.

-Compensation individuelle (locale) des moteurs.

10-4-Choix des batteries de condensateurs dans un réseau perturbé par les harmoniques [4]

La présence des récepteurs non linéaires (variateurs de vitesse, onduleur...) créent des courants et des tensions harmoniques, l'équipement de compensation est choisit en fonction de l'importance de la valeur de ces harmoniques.

Le rapport GH/S_n permet de déterminer le type d'équipement approprié

- Si $GH/S_n \leq 15\% \Rightarrow$ type standard ;
- Si $15 < GH/S_n \leq 25\% \Rightarrow$ type H ;
- Si $25\% < GH/S_n \leq 60\% \Rightarrow$ type S.A.H ;
- Si $GH/S_n > 60\% \Rightarrow$ l'installation de filtres est nécessaire.

S_n : puissance apparente du transformateur.

GH : puissance apparente des récepteurs produisant des harmoniques (Moteur à vitesse variable, convertisseur statique).

Standard : il est spécifique aux générateurs dont la puissance harmonique est inférieure à 15% de la puissance du transformateur.

Type H : pour les générateurs d'harmoniques dont la puissance comprise entre 15% et 25% de la puissance du transformateur.

Type S.A.H : lorsque la puissance des générateurs est comprise entre 25% et 50% de la puissance du transformateur.

Remarque : pour ce type H il y a exigence de renforcer l'isolation dès que la tension 470 V

II-11- Guide de choix des équipements de compensations [4]

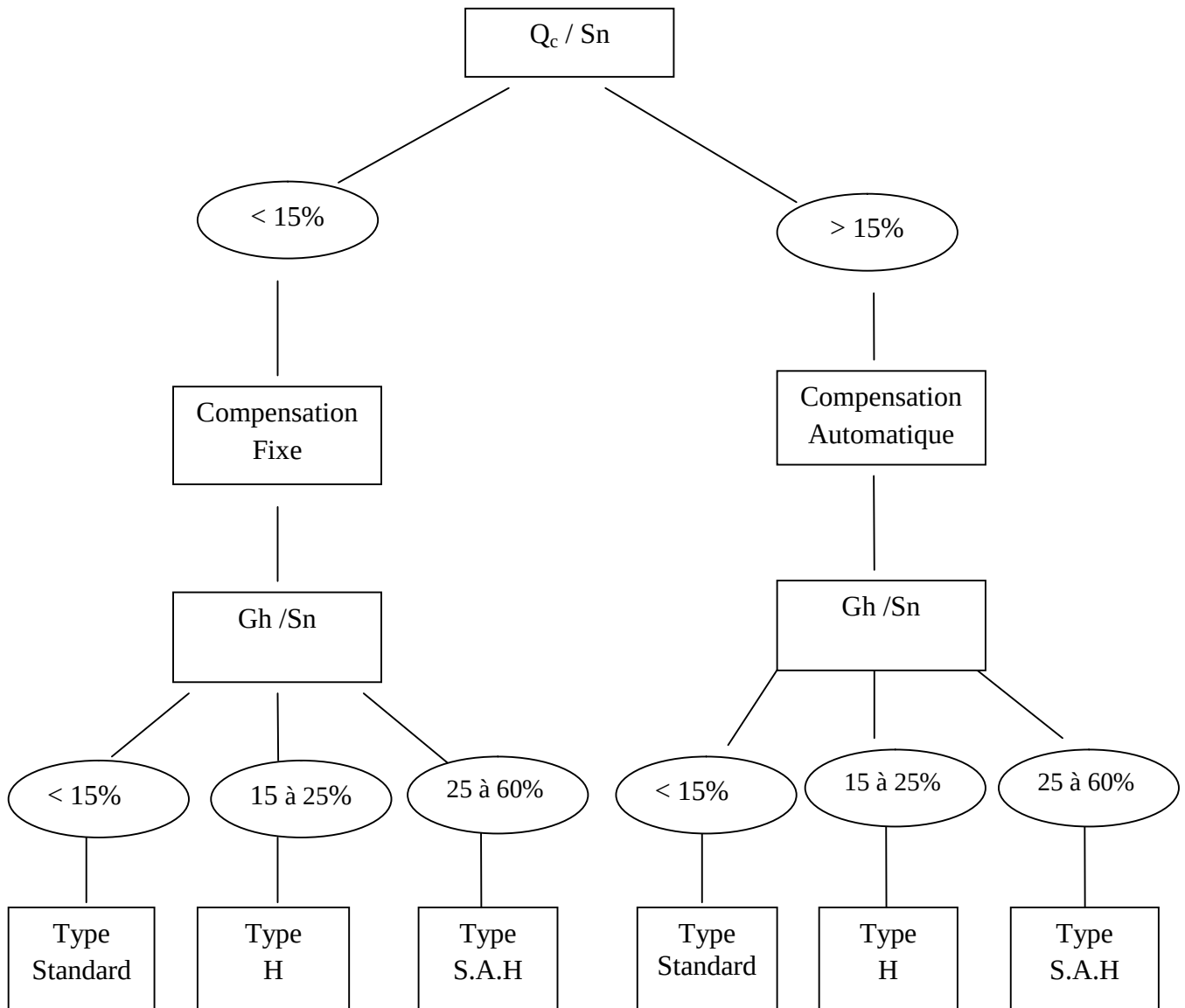


Schéma II-1 : Guide de choix des batteries de condensations

S_n : Puissance apparente de transformateur.

G_h : Puissance apparente des récepteurs produisant des harmoniques (moteur à vitesse variable, convertisseur statique, électronique de puissance).

Q_c : Puissance de l'équipement

Conclusion :

Le mauvais facteur de puissance présente des inconvénients à savoir : des pertes par effets Joules et des chutes de tension.

Les récepteurs ayant un faible facteur de puissance sont généralement inductifs, les moteurs asynchrones, transformateurs, appareils d'éclairage fluorescent.

Plusieurs moyens sont utilisés pour compenser les effets réactifs, On notera que le choix du moyen adéquat dépend du but poursuivi, des avantages et inconvénients de ce moyen. Parmi ces moyens, on a cité : les compensateurs asynchrones et les batteries de condensateurs. Ces dernières feront l'objet du chapitre suivant.

Introduction

Sur les réseaux, les condensateurs sont groupés sous forme de batteries avec l'appareillage indispensable à leur mise en service et à leur protection. Une batterie de condensateur est un générateur de puissance réactive nécessaire pour alléger la puissance apparente des réseaux en amont des lieux de consommation. Ce composant passif du réseau est sollicité particulièrement pendant les périodes de forte consommation (période de pointes et de surcharge). Sa disponibilité sur le réseau durant ces périodes est très souhaitable pour réduire les chutes de tension et les pertes en puissance et donc optimiser le coût de l'énergie réactive.

III-1-Constitution de la batterie de condensateurs

Chaque élément est formé de feuilles d'aluminium entre lesquelles est inséré un ensemble de plusieurs feuilles d'un papier spéciale imprégné d'huile minérale ; il est plié en accordéon ou enroulé. Dans le premier cas l'élément est parallélépipédique, dans le second il est cylindrique. Ces éléments sont disposés en série, puis en parallèle et sont placés dans une cuve métallique remplie d'huile susceptible d'assurer le refroidissement. Cela constitue une unité. Ces unités peuvent aussi être associées en série, en parallèle, en triangle ou en étoile.[6]

III-2-Notes pratiques sur les condensateurs

Les batteries présentent les avantages de tous les équipements statiques :

- L'absence d'usure mécanique et un entretien réduit ;
- De faibles pertes ;
- Un faible volume et une installation facile ;

Les batteries comportent aussi certaines limitations :

- La puissance réactive fournie n'est pas facilement réglable ;
- La mise sous tension provoque un violent appel de courant ;
- La puissance réactive fournie varie avec la tension d'alimentation ;
- Si la fréquence de résonance due à la présence du condensateur et d'éléments inductifs est proche de celle d'un harmonique existant, le courant est amplifié et peut devenir gênant ou dangereux

Les condensateurs sont classés suivant des catégories de températures, la valeur minimale et la température de l'air ambiant à la quelle le condensateur peut être mis sous tension. La valeur maximale présente la température la plus élevée autorisée à l'emploi du composant.

Les caractéristiques nominales indiquées sur la plaque signalétique sont :

-La tension nominale U_n en (Volt ou kV) ;

-La puissance nominale Q_n en (kVAr) ;

-La fréquence F en (Hz) ;

La catégorie de température ;

Les critères fondamentaux du choix de condensateurs sont la tension et la température. Notons que les surtensions et l'échauffement abrègent la vie de condensateur. [10]

III-3-Choix de branchement des condensateurs

Les batteries de condensateur peuvent être montées du côté basse tension comme du côté moyenne tension des transformateurs.[11]

Pour le branchement des batteries de condensateurs, on a le choix entre les montages étoile ou triangle. Pour un même courant de ligne I , on aura :

a-Montage étoile :

Dans le montage étoile, les tensions composées sont $\sqrt{3}$ fois plus grandes que les tensions simples ($U=\sqrt{3}.V$)

La puissance réactive fournie est :

$$Q_{cy}=3.C_y.\omega \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2=C_y.\omega.U^2$$

Puisque $Q_{cy}=Q_{c\Delta} \Rightarrow C_y.\omega.U^2=3.C_{\Delta}.\omega.U^2$

$$C_y=3.C_{\Delta}$$

b-Montage triangle :

Dans ce cas, les tensions composées sont égales aux tensions simples ($U=V$), la puissance réactive fournie par la batterie de condensateurs est donnée par :

$$Q_{c\Delta} = 3.C_{\Delta}.\omega.U^2$$

Remarque : le couplage étoile s'utilise pour toutes les tensions et les puissances, le couplage triangle pour des tensions inférieures à 12 kV et une puissance maximale de 1000 kVAr.

Conclusion :

Pour avoir une même puissance réactive en étoile nous devons utiliser une capacité 3 fois plus grande qu'en triangle. Il est donc plus économique de brancher une batterie de condensateur en triangle qu'en étoile.

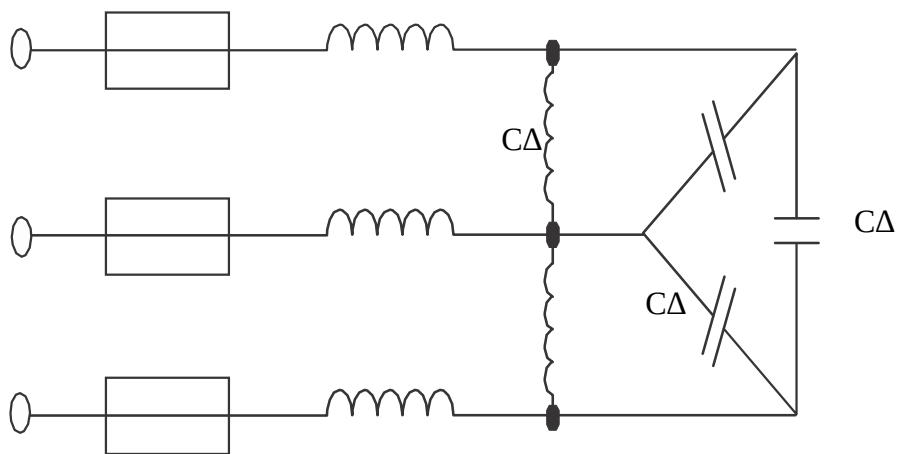


Figure III-1 : Schéma d'une batterie triangle [4]

III-4-Schémas de branchement des batteries de condensateurs

a-Batterie montée en double étoile :

La batterie est divisée en deux étoiles, permettant de détecter un déséquilibre entre les deux neutres par un relais approprié. On peut le concevoir pour tout type de réseaux jusqu'aux réseaux THT.

On utilise le schéma suivant pour les grandes puissances à installer essentiellement en batteries fixes.

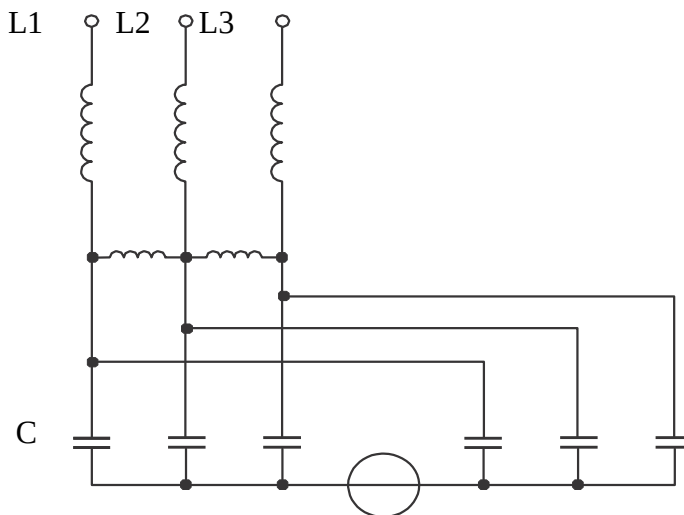


Figure III-2 : Schéma d'une batterie en double étoile [4]

b-Batteries montée en triangle :

Pour ce type des batteries, une protection contre les surtensions est nécessaire. Soit par fusible HPC, soit par un relais à maximum de courant et TI sur chaque phase.

Important :

Généralement , on choisi des fusibles HPC avec calibre au maximum 1.7 fois le courant nominal de la batterie. Le choix du calibre sera fait selon le cahier technique. Dans ce type de schéma, on n'utilise pas des condensateurs avec fusible internes car le pouvoir de coupure des fusibles n'est pas prévu pour le courant de court-circuit des réseaux.[4]

III-5-Mise en œuvre des batteries de condensateurs

5-1-L'élément condensateur

Tous les condensateurs bas tension envisagés ici sont réalisés à partir des éléments dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

a-Technologie :

Le condensateur est de type sec (sans imprégnant), auto-cicatrisant avec diélectrique film polypropylène métallisé et bobiné.

b-Capacité :

La capacité nominale est respectée avec une tolérance allant de 0.9 à 1.15 fois la valeur annoncée.

c-Caractéristiques électriques :

- Classe d'isolement : 0.6kV ;
- Tenue 50 Hz, 1mm : 3kV ;
- Tenue onde choc 1,2/50 μ s : 15kV ;
- Surtension de courte durée : 20% pendant 5 minutes ;
- Surintensités dues aux harmoniques : 30%.

d-facteur de perte :

Le facteur de perte varie de $0,2 \cdot 10^{-3}$ à $0,3 \cdot 10^{-3}$ suivant la puissance. cette valeur correspond à une puissance dissipée d'environ 0,3W par kVAr, la résistance de décharge est intégrée au condensateur.

e-Classe de température -25°C à +50°C :

Le condensateur est prévu pour fonctionner dans les conditions suivantes :

- Température annuelle moyenne : 30°C ;
- Température moyenne sur 24 : 40°C ;
- Température maximale 50°C.

f-Normes :

Les condensateurs relèvent des normes : CEI 831 et NFC 54-104.

g-Résistance de décharge :

Montées extérieurement, elles permettent la décharge des condensateurs après déconnexion du réseau conformément aux normes en vigueur.[8]

III-6-Protection des batteries de condensateurs

Les condensateurs sont constitués à partir d'éléments mis en série pour tenir la tension, et mis en parallèle pour obtenir la capacité voulue. Il existe deux types de condensateurs selon qu'ils possèdent ou non des fusibles de protection internes.[12]

6-1-Condensateur sans fusible de protection interne [12]

La défaillance du condensateur est due au claquage d'un élément interne. Le défaut d'un élément provoque la mise en court-circuit d'un groupe d'éléments en parallèle, par conséquent les autres groupes d'éléments en parallèle seront soumis à une tension élevée.

Il n'y a pas de dispositif de protection à l'intérieur du condensateur, le défaut ne sera donc éliminé que par la mise hors tension de la batterie défectueuse.

Ce type de condensateur est utilisé :

- En batterie triangle protégée par des fusibles ou des protections à maximum de courant ;
- En batterie en double étoile avec une protection contre les déséquilibres entre les neutres.

6-2-Condensateurs avec fusible de protection interne [12]

Chaque élément est protégé par un fusible. En cas de défaut d'un élément. Celui-ci est isolé. Il s'ensuit une faible variation de la capacité, et le courant augmente légèrement.

Ce type de condensateur n'est utilisé qu'en montage étoile. Le relais de déséquilibre est réglé afin que la défaillance d'éléments condensateurs provoque le déclenchement de la batterie lorsque la tension sur les autres éléments devient très importante.

La protection par fusibles internes augmente la fiabilité des batteries de condensateurs car la défaillance d'un élément ne conduit pas systématiquement au déclenchement de la batterie.

6-3-Précautions particulières

a-Enclenchement de condensateurs

La mise sous tension d'un condensateur doit s'effectuer par un appareil de fermeture brusque, d'un pouvoir de fermeture suffisant. Ce phénomène est aggravé lors de l'enclenchement successif de condensateurs montés en batteries.[7]

b-Condensateurs branchés sur une installation à vide

Il est recommandé de ne pas laisser en service sur un transformateur pratiquement à vide une batterie de condensateur d'une puissance supérieure à celle nécessaire pour compenser l'énergie réactive absorbée par le transformateur seul.

c-Condensateur aux bornes d'un moteur

Il faut s'assurer que le courant de condensateur sera toujours inférieur à 90% du courant magnétisant du moteur. [7]

III-7-Choix des appareils de protection et de commande et des câbles de raccordement**7-1-Dimensionnement des composants**

Le choix des câbles et de l'appareil de protection et de commande en amont des condensateurs dépend du courant absorbé. Pour les condensateurs, le courant est fonction :

- De la tension appliquée et de ces composantes harmoniques ;
- De la capacité ;

Le courant nominale d'un condensateur de puissance Q branché sur un réseau de tension U_n est :

$$I_n = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (\text{Pour un réseau triphasé})$$

Les variations admissibles de la valeur de la tension fondamentale et les composantes harmoniques peuvent conduire à une amplification du courant de 30%.

Les variations dues aux tolérances sur les condensateurs (Norme NFC 54-104) peuvent conduire à une amplification du courant de 15%. L'effet cumulé des deux phénomènes fait que les composants doivent être dimensionnés pour un courant égal à $1.5 I_n$. [4-2]

7-2-Comment dimensionner les condensateurs en présence d'harmoniques

L'impédance d'une batterie est donnée par la relation suivante :

$$Z = \frac{I}{C\omega} = \frac{I}{2\pi fC}$$

Elle décroît lorsque la fréquence du réseau augmente. Les condensateurs ne sont pas eux-mêmes générateurs d'harmoniques. Ils absorbent les courants harmoniques.

Par contre, lorsqu'un réseau comporte des harmoniques, la présence d'un condensateur amplifie plus ou moins certains de ces harmoniques. Cela fait apparaître une résonance dont la fréquence est en fonction de l'impédance du réseau (ou de la puissance du court-circuit), la valeur de la fréquence propre est égale à :

$$f_e = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

S_{cc} : Puissance du court-circuit en kVA.

Q : Puissance de la batterie de condensateur en kVAr.

Cette résonance sera d'autant plus marquée quand $\sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$ est proche de la fréquence d'un des harmoniques de rang $\ll n \gg$ généré.[4]

7-3-Solutions possibles aux effets d'harmoniques

Parmi les solutions pour limiter les contraintes dues aux harmoniques, on peut citer :

- Surdimensionnement des liaisons de condensateur au réseau : câbles, lignes, appareillages, devront être dimensionnées à au moins $1.43 I_c$, valeur du courant assigné à 50 Hz des condensateurs.
- Surdimensionnement en tension des condensateurs.
- Utilisation des selfs anti-harmoniques associées aux condensateurs surdimensionnés

Cela permet à la fois de réduire les tensions harmoniques aux bornes des condensateurs et les courants de surcharge qui les traversent.[4]

7-4-Choix des solutions

Outre le surdimensionnement systématique des liaisons, les autres dispositions à prendre dépendent de la comparaison entre :

- GH : Puissance totale (kVA) de tous les générateurs d'harmoniques.
- Scc : Puissance du court-circuit du réseau (kVA).
- Sn : Puissance des transformateurs en parallèle, tenir compte de l'arrêt éventuel d'un transformateur. Le choix est résumé dans le tableau III-I

Sn	GH par rapport à Scc et Sn			
	$GH \leq S_{cc}/120$	$S_{cc}/120 < GH \leq S_{cc}/70$	$S_{cc}/70 < GH \leq S_{cc}/30$	$GH > S_{cc}/30$
> 2MVA	$GH \leq 0.15 S_n$	$0.15 < GH \leq 0.25 S_n$	$0.25 S_n < GH < 0.6 S_n$	$GH > 0.60 S_n$
< 2MVA	Equipements standards	Equipement avec Condensateurs surdimensionnés	Equipements avec SAH et Condensateurs surdimensionnés	Equipements Avec des Filtres Condensateurs surdimensionnés

Tableau III-I : Choix de la solution en présence d'harmoniques. [4]

III-8-Commande de batteries de condensateurs

La mise sous tension d'une batterie Q_c s'accompagne de régimes transitoires en courant et en tension. Le tableau III-2 donne les différentes valeurs caractéristiques relatives à l'enclenchement d'une batterie de condensateurs. Tout l'appareillage de commande devra être dimensionné à 1.43 fois le courant nominal de la batterie de condensateur.[4]

III-9-Eléments de condensateurs

9-1-Condition de fonctionnement

a-Température ambiante

La durée de vie des éléments de condensateurs dépend de la température atteinte en service. Elle décroît rapidement lorsque cette température est maintenue un temps notable à

une valeur excessive. Donc, l'installation d'une batterie nécessite l'adoption d'une disposition assurant une ventilation uniforme et correcte de tous les éléments.

Lorsque ceux-ci sont placés en rangées, les parois latérales face à face, il est indispensable de laisser entre deux d'entre eux un certain intervalle de l'ordre de 5 à 10 cm.

Inversement, lorsque la température extérieure est inférieure à 10° C, les condensateurs dont le diélectrique est à base de diphenylpentachlore (cas de pyralène) risque de claquer.[7]

b-Surcharge admissibles

Les normes prévoient que les condensateurs doivent pouvoir supporter, en service continu quand la température ambiante est inférieure ou égale à 40°C, toute tension alternative dont la valeur efficace est inférieure à 1.1 fois leur tension nominale à condition que la valeur efficace du courant traversant le condensateur n'excèdent pas 1.3 fois le courant du condensateur. [7]

9-2-Elément des harmoniques

Les harmoniques perturbent le fonctionnement de nombreuses machines ou appareillages électriques. Les condensateurs de puissances sont particulièrement perturbés puisque leur impédance décroît proportionnellement par rapport au rang des harmoniques qui y circulent. L'existence d'harmonique au point où est raccordée une batterie de condensateurs, peut entraîner un échauffement exagéré des condensateurs suite à l'accroissement des pertes dans le diélectrique (ces pertes sont proportionnelles à la somme des puissances correspondant à chacun des différentes harmoniques).[13]

9-3-Points particulières concernant la sécurité

L'installation et l'utilisation des batteries de condensateurs doivent répondre aux prescriptions en vigueur spécifiées, dans la publication C 12-100-de l'union technique de l'électricité Européenne ainsi que dans les normes NFC 13-200, NF 15-100 et NFC 54-100. Entre autre, il convient d'insister tout particulièrement sur les points suivants :

- Les condensateurs ne doivent pas être directement accessibles et doivent être enfermés dans une enceinte convenablement ventilée ;
- Le sol de cette enceinte doit être réalisé de telle sorte qu'en cas de fuite accidentelle, le diélectrique liquide ne puisse polluer l'environnement ;

- Il est indispensable de raccorder au réseau équipotentiel de terre de l'installation toutes les masses métalliques (châssis, boîtiers des condensateurs, armoires métalliques, etc) ;
- Il faut prévoir un dispositif de décharge efficace et ne jamais toucher un condensateur avant d'avoir mis ces bonnes en court-circuit et à la terre.[4-2]
-

III-10-Prix de la batterie de condensateurs

Le prix de la batterie est ;

- proportionnel à la puissance réactive à tension et fréquence constante ;
- décroît lorsque la tension d'alimentation augmente, ceci suivant la formule de l'énergie réactive fournie par un condensateur.

$$Q = C \cdot \omega \cdot U^2 = C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2$$

$$C = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}$$

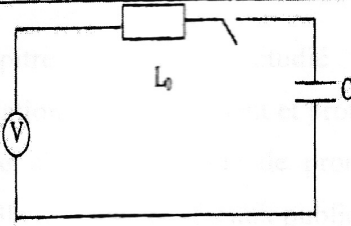
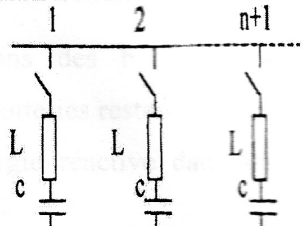
Batterie Fixe	Batterie en gradin (cas de gradins identiques)
 L_0 = inductance de C/C du réseau $S_{cc} = \sqrt{3} U I_{cc}$ avec $U/\sqrt{3} = L_0 \omega I_{cc} = U^2/L_0 \omega$	 n gradins enclenchés quand on enclenche le n+1 L : inductance de liaison (0,5 μH/m)
Puissance batterie $Q = U^2 C \omega = \sqrt{3} U I_{cc} \text{capa}$	$Q = U^2 C \omega = \sqrt{3} U I_{cc} \text{capa} =$ puissance de chaque gradin
Courant crête de fermeture $I_e = \frac{1}{\sqrt{L_0 C}} \cdot \frac{1}{\omega} \cdot I_{cc} \text{capa} \cdot \sqrt{2} = I_{cc} \text{capa} \cdot \sqrt{2} \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$	$I_e = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U \cdot \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{C}{L}} = I_{cc} \text{capa} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{n}{n+1} \cdot \frac{f \text{ propre}}{f \text{ réseau}}$
Fréquence propre $f_e = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 C}}$	$f_e = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}}$
Courant crête max batterie $I_{crête \text{ max batt}} = 100 I_{cc} \text{capa}$	$I_{crête \text{ max batt}} = 100 I_{cc} \text{capa}$
Courant nominal appareillage $I_{nominal} \geq \frac{I_{cc} \text{capa}}{0,7}$	$I_{nominal} \geq \frac{I_{cc} \text{capa}}{0,7}$
Coefficient de surtension réseau 2 pu, pu : par unité de tension	$\frac{n+2}{n+1} \text{ pu}$
Coefficient de surtension batterie 2 pu	$\frac{n+2}{n+1} \text{ pu}$
Inductance de choc En général pas besoin d'inductance de choc	En général, besoin d'inductance de choc
Calcul inductance de choc L $L \geq \frac{10^6}{\omega} \cdot \frac{2 \cdot Q}{3 \cdot I_{crête \text{ max}} \cdot S_{cc}} \cdot \frac{U^2}{S_{cc}}$ $L : \mu\text{H} \quad Q : \text{Mvar} \quad S_{cc} : \text{MVA}$ $I_{crête \text{ max}} : \text{kA} \quad U : \text{kV}$	$L \geq \frac{2 \cdot 10^6}{3} \cdot \frac{Q}{\omega} \cdot \left(\frac{n}{n+1}\right)^2 \cdot \frac{1}{(I_{crête \text{ max}})^2}$ $L : \mu\text{H} \quad Q : \text{Mvar} \quad S_{cc} : \text{MVA}$ $I_{crête \text{ max}} : \text{kA} \quad U : \text{kV}$

Tableau III-2 : Des valeurs caractéristiques à l'enclenchement de condensateur. [4]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié les installations des batteries de condensateurs (installation, fonctionnement et protection). Ces batteries restent le moyen le plus efficace et le plus économique de compensation d'énergie réactive dans les installations industrielles et dans les réseaux publics.

Introduction

La production, le transport et la distribution de l'électricité entraînent des coûts que l'on peut diviser en deux catégories principales : les frais courants et les frais fixes.

- Les frais fixes comprennent le coût d'amortissement des barrages, alternateurs, disjoncteurs, transformateurs, lignes de transport et de tout autre équipement utilisé à la production et à la distribution de l'énergie électrique.
- Les frais courants représentent les salaires du personnel, les frais d'administration et d'entretien, le coût du combustible servant à produire de l'électricité et toute autre dépense quotidienne.

Le coût d'énergie dépend donc de ces deux types de frais et afin d'en faire une facture à leurs clients, la SONELGAZ établit une tarification basée sur les critères suivantes :

- L'énergie consommée en kWh ;
- L'appel de puissance active en kW ;
- L'appel de puissance apparente en kVA.

a-Tarification basée sur la consommation d'énergie active :

Le coût de l'électricité dépend d'abord de la qualité d'énergie consommée en kWh. Cependant, un client doit toujours payer une redevance d'abonnement même s'il n'a rien consommée. Le raccordement au réseau représente pour la compagnie des frais qu'elle doit récupérer.

b-Tarification basée sur l'appel de puissance active :

Le coût mensuel de l'électricité fournie à un consommateur ne dépend pas seulement de nombre de kWh consommé mais également de l'appel de puissance en kW.

L'appel de puissance est la valeur de la puissance moyenne absorbé par un client pendant un intervalle de temps, généralement 10 minutes.

c-Tarification basée sur la puissance apparente :

Les machines à courant alternatif (moteur, transformateur) ont besoin d'un champ magnétique pour fonctionner, donc en plus de la puissance active qu'elles absorbent pour produire une puissance utile, ces machines doivent absorber une certaine puissance réactive

pour entretenir ce champ. Cette puissance est d'autant plus importante quand le facteur de puissance est loin de 1.

IV-1-Système de tarification de la SONEGAS

La mission du distributeur (SONEGAS) autant qu'entreprise de service public, est de livrer l'électricité avec un certain niveau de qualité et au moindre coût.

Les principes fondamentaux de la politique tarifaire sont :

- La minimisation des coûts de l'énergie électrique ;
- L'efficacité économique.

1-1-Structure de la tarification SONEGAS

Son expression est un polynôme :

$$R=a+cP_c+dP_a+\sum e_h.E_h+g.(W-r.E)$$

R: désigne le montant mensuel de la facture(DA/mois) ;

a : terme constant ;

Le deuxième terme cP_c+dP_a : facture la puissance PMD et PMA ;

Le troisième terme $\sum e_h.E_h+g(W-rE)$: facture les énergies active et réactive.

1-1-1-Terme constant « a »

Le premier terme constant a (DA/mois) facture les redevances fixes relatives aux frais de gestion technique et commercial de l'abonné : entretien du raccordement au réseau, entretien courant et vérification du comptage relevé, facturation.

1-1-2-Facturation de la puissance

Le deuxième terme (cP_c+dP_a) facture la puissance selon 2 grandeurs : la puissance mise à disposition et la puissance appelée.

a-Puissance maximale absorbée

La facturation de cet élément correspond au terme d.Pa et dans le quel :

d : est le prix unitaire de la puissance absorbée DA/ kW/mois ;

Pa : est la puissance maximal absorbée par l'abonnée durant la période de facturation (1 mois) et qui est donnée par un appareil inducteur de la puissance équipant le panneau de comptage.

b-Puissance mise à disposition

La puissance mise à disposition est facturée suivant l'expression cPc dans la quelle

- c : est le prix unitaire DA/kW/mois ;
- Pc : la puissance mise à disposition en kW.

b-1-Définition :

La puissance mise à disposition est la puissance réservée par SONALGAZ on vertu d'un accord et que le client peut appeler selon ses besoins. Cette puissance est choisie dans l'échelle de valeurs normalisées par SONEELGAZ

Un dispositif automatique peut éventuellement empêcher le client de dépasser la limite de la puissance mise à disposition.

b-2-Modification**b-2-1-Révision à la hausse :**

L'augmentation de puissance est traitée similairement à la première attribution la demande du client est soumise à l'accord de la SONEELGAZ sur la nouvelle valeur de la puissance et sur sa date de mise à disposition.

- Si cette puissance est disponible, SONEELGAZ satisfait immédiatement la demande du client ;
- Si la nouvelle demande nécessite un renforcement du réseau, SONEELGAZ, la satisfera dans les limites des délais de réalisation de ce renforcement, qui sera à la charge du client.

b-2-2-Révision à la baisse

La réduction de la puissance mise à disposition n'est pas admise pendant la durée du contrat de fourniture d'électricité.

b-2-3-Dépassement de la puissance mise à disposition

En cas de dépassements observés, les mesures suivantes sont appliquées :

- Au premier dépassement, le client est averti officiellement par la SONELGAZ ;
- Si un second dépassement est constaté au cours de la période de douze (12) mois qui suit, SONLEGAZ se réserve le droit :
 - soit de réajuster la puissance mise à disposition à une nouvelle valeur, quand le réseau le permet.
 - soit d'exiger du client de prendre à ses frais les mesures nécessaires pour limiter la puissance appelée à la valeur de la puissance mise à disposition contractuelle. Ces mesures pouvant aller jusqu'à l'installation de positifs automatiques de limitation.

1-1-3-Facturation de l'énergie

a-Energie active

Les énergies active et réactive sont facturées selon le terme :

$\sum e_h \cdot E_H + g (W - rE)$ de la formule tarifaire où :

e_h : est le prix unitaire de l'énergie active pour le poste horaire h en cDA/kWh ;

E_H : est l'énergie active [kWh] consommée au cours du moins dans le poste horaire h ;

E : est l'énergie active (kWh) consommée au cours du moins ;

W : est l'énergie réactive (kVArh) consommée au cours du moins ;

r : est la valeur du rapport $\text{tg} = \frac{W}{E}$;

g : est le prix unitaire de l'énergie réactive cDA/kVArh.

b-Energie réactive

Les prix de l'énergie active donnés dans les barèmes s'entendent pour une fourniture normalement accompagnée d'une proportion d'énergie réactive allant jusqu'à 50% de l'énergie active.

Lorsque la consommation d'énergie réactive durant le mois de consommation considéré dépasse la proportion de 50% d'énergie active, l'excédent est facturé à l'abonné selon les prix du tarif appliqué. L'énergie non consommée en moins de ces 50% donne lieu à une bonification par (kVArh).

IV-2-Postes horaires

La structure de la tarification est caractérisée par la modulation du prix de l'énergie selon l'heure de son utilisation.

Les consommations de l'énergie électrique, en raison des conditions naturelles, des habitudes sociales et en fonction de développement et la structure économique du pays, subissent de forte variation dans la journée.

On distingue trois postes horaires qui sont définis sur la base de l'heure légale comme suit :

- **Heures pointes** : tous les jours de l'année de 17h à 21h (période de forte charge) où la demande en électricité est la plus importante;
- **Heures pleines** : tous les jours de l'année de 6h à 17h et de 21h à 22h30 (heures moyennement chargées). Le prix du kWh consommé durant cette période est moins cher par rapport aux heures de pointe ;
- **Heures creuses** : tous les jours de l'année de 22h30 à 6h (heures faiblement chargées). Le prix du kWh consommé durant cette période est moins cher par rapport aux heures de pointe et aux heures de pleines.

Les heures de fortes charges ou pointes déterminent le niveau des investissements consentis en moyens de production et au réseau du transport et de distribution pour répondre à la demande. A la pointe l'énergie coûte donc plus cher. Ce coût est également accru par le fait qu'aux périodes de forte charge on est obligé de faire fonctionner des ouvrages aux frais d'exploitation élevés : vieilles centrales au rendement moins performant, groupes de pointes

caractérisés par des consommations spécifiques importantes, augmentation des pertes d'énergie dans les lignes et les transformateurs débitant des charges élevées.

Par contre les contraintes d'investissements et d'exploitation étant nettement plus légères pour les périodes moins chargées de la journée, le coût de la fourniture de l'énergie est plus bas pendant les heures moins chargées du réseau

La pointe dans le système tarifaire est ramenée à une seule période consécutive d'une durée de quatre heures et valable durant toute l'année.

IV-3-Présentation des tarifs et périodes tarifaires

3-1-Présentation des tarifs

Pour tenir compte de la multiplicité des abonnés diversifiés tant par la taille qu'au niveau du régime de leur consommation, le système tarifaire offre plusieurs tarifs. Le choix dans les tarifs proposés est tout à fait ouvert est fonction des caractéristiques de la demande niveau de la puissance nécessaire, régime d'utilisation de l'énergie et possibilité de sa modulation. Ainsi donc une série de tarifs est offerte aux abonnés de chaque catégorie de tension de livraison.

Les tarifs d'électricité actuellement en vigueur sont classés en trois séries où chaque séries regroupe les tarifs propres selon le niveau de tension auquel le client est raccordé :

- 1^{ère} catégorie (haute tension) : tarif 30
 - Les valeurs de cette catégorie proposées par la SONELGAZ sont :
60-90 et 220 kV ;
- 2^{ème} catégorie (moyenne tension) : tarif 40
 - Les valeurs proposées sont : 5,5-10 et 30 kV ;
- 3^{ème} catégorie (basse tension) : tarif 50
 - les valeurs proposées sont : 0,110-0,220 et 0,380 kV

3-2- Les clients alimentés en H.T (60-90 et 220kV) :

Deux tarifs sont proposés à cette clientèle du secteur industriel :

- **Tarif 31** : Recommandé aux clients ayant un régime de fonctionnement étalé sur les trois postes horaires (heures pointes, heures pleines, heures creuses).
- **Tarif 32** : Comporte un seul poste horaire (poste unique) aux abonnés à très longues utilisations de la puissance mise à disposition 5000 heures environs, et qui n'opèrent pas d'effacement en pointe. (ex : client du secteur des hydrocarbures du sud).

Remarque :

Dans le tarif 31 le prix du kWh consommé en heures de pointe est :

- 11 fois le prix du kWh h consommé durant la nuit ;
- 5 fois le prix du kWh consommé en heures pleines.

3-3-Les clients alimentés en M.T (5.5-10 et 30kV)

Quatre tarifs sont proposés à cette clientèle des secteurs de l'industrie et du tertiaire :

- **Tarif 41** : Recommandé aux clients importants du secteur industriel, ayant une forte consommation d'électricité durant les heures pleines et les heures creuses.
- **Trif 42** : Recommandé aux clients qui ont une consommation importante durant le jour. (ex : station de pompage, banques...).
- **Tarif 43** : Recommandé aux clients ayant un appel de puissance important durant la nuit (ex : hôtels, forages, hydrauliques)
- **Tarif 44** : Recommandé aux clients temporaires, chantiers et clients ayant un arrêt annuel prolongé. (ex : carrières, centres de vacances ...).

Remarque :

- **Tarif 41** : Le prix du kWh consommé en heures de pointes correspond à 9 fois le prix du kWh consommé en nuit et à 5 fois celui consommé en heure pleines.
- **Trif 42** : Le prix kWh consommé en heures de pointe correspond à 5 fois le prix du kWh consommé en heures hors pointe.

3-4-Les clients alimentés en B.T (110V-220V et 380V)

Cinq tarifs sont proposés à cette clientèle :

- **Tarif 54-1** : Destiné aux clients de type résidentiel (les ménages ayant une consommation jusqu'à concurrence de 125 kWh par trimestre, soit 500kWh par an

- **Tarif 54-2** : Au –delà d'une consommation de 125 kWh par trimestre, il est appliqué pour les clients de type résidentiel. (les ménages).
- **Tarif 53** : Recommandé aux clients qui est une forte consommation d'électricité durant la nuit (ex : éclairage public, boulangeries...)
- **Tarif 52** : Recommandé principalement aux agricultures...
- **Tarif 51** : Recommandé aux clients importants alimentés en basse tension, et aux clients alimentés en moyenne tension qui ont une faible consommation.

Le tableau suivant représente les tarifs proposés par la SONELGAZ

Code tarif	Redevance Fixe (DA/Mois)	PMD PMA DA/kW/Mois		Energie Active (cDA/kWh)		Energie réactive (cDA/kVArh) Maus Bonus	
31	421 177.73	31.61	157.88	Pointe	550.71	25.84	5.168
				Pleine	113.85		
				Nuit	49.19		
32	421 177.73	84.12	421.15	Unique	114.12	25.84	5.168
41	32 227.79	21.54	96.79	Pointe	726.68	37.94	7.588
				Pleine	161.47		
				Nuit	85.33		
42	429.71	32.25	150.48	Pointe	726.68	37.94	7.588
				Hors Pointe	150.53		
43	429.71	32.25	128.80	Nuit	85.33	37.94	7.588
				Jour	356.92		
44	429.71	32.25	150.48	Unique	313.02	37.94	7.588
51	286.44	29.85	--	Pointe	716.32	--	--
				Pleine	191.07		
				Nuit	106.37		
52	66.40	29.85	--	Pointe	716.32		
				Hors Pointe	157.19		
53	66.40	14.81	--	Nuit	106.37	--	--
				Jour	429.88		
54		4.37	--	Unique	417.89	--	--

Tableau VI-I : Barèmes des prix en hors taxes

Conclusion :

Le prix élevé de l'énergie à la pointe et son bas niveau aux périodes creuses incitent puissamment les utilisateurs à reporter toute les consommations possibles vers les heures moins chargées.

La tarification a donc un pouvoir d'incitation et une capacité d'orientation élevés.

L'incitation à l'effacement aux heures chargées de la journée se fait uniquement par le biais de la différenciation des prix de l'énergie par poste horaire.

Le pouvoir d'orientation à l'efficacité économique du système tarifaire est accru grâce à l'introduction de la facturation de la puissance qui s'effectue :

- La puissance appelée en tant qu'élément variable facturé proportionnellement au maximum absorbé mensuellement par l'abonné
- La puissance mise à disposition qui est réservé par SONELGAZ pour l'abonné en vertu d'une clause contractuelle.

Introduction

Dans le cadre de notre étude et pour illustrer notre sujet, nous avons jugé nécessaire de prendre un exemple d'application. Pour cela nous avons choisi L'établissement public hospitalier d'AZAZGA.

Il s'agit :

- D'appliquer le système de tarification de SONELGAZ à l'hôpital ;
- D'évaluer le bilan d'énergie active et réactive (avant et après compensation) de l'hôpital ;
- D'évaluer les potentialités d'économie, d'énergie et l'optimisation de la facture.

V-I-Description de l'installation électrique de l'hôpital

L'alimentation en énergie électrique de l'hôpital est assurée par une ligne HTA de 30kV.

Le premier compartiment est un poste HTA/HTA type cabine haute alimenté en coupure d'artère. Il est composé de deux appareils de coupure HPC (arrivée et départ) et de 4 cellules (protection, disjoncteurs principaux et deux disjoncteurs, pour ligne souterraine), le poste est situé à l'extérieur de l'hôpital. Il alimente en HTA.

Le deuxième compartiment situé dans l'enceinte de l'hôpital par deux lignes souterraines de longueur de 60 mètre (l'une est active et l'autre de secours), ce deuxième compartiment est composé de 3 transformateurs de puissance 630kVA et de leurs équipements, de 3 cellules de protection de transformateur et deux appareils de coupure HTA en tête de ligne sous terrain.

V-2-Description général de l'hôpital

L'hôpital d'AZAZGA est d'une superficie de 13033 m² et une capacité de 272 lits, est implanté les hauteurs de la commune d'AZAGA, il est doté de :

- 4 services d'hospitalisations ;
- Une unité d'urgence médicochirurgicale ;
- Une unité d'hémodialyse, un laboratoire ;
- Un PTS, un service de radiologie ;
- Un bloc opératoire doté de 4 salles dont une réservée aux urgences.
-

Cet établissement public hospitalier couvre 3 daïras :

- Daïra d'AZAGA ;
- Daïra de BOUZEGUENE ;
- Daïra de MEKLA, ainsi que les daïras limitrophes (AZEFOUNE, ADEKAR et OUAGUENOUN).

2-1-Répartition des transformateurs

L'hôpital est constitué d'un seul bâtiment qui est partagé en cinq étages, le transformateur I alimente la moitié du bâtiment et le transformateur II alimente l'autre moitié. Juste à côté du bâtiment, on trouve une centrale climatique qui est alimentée par le transformateur III.

2-2-Panneau de comptage

L'hôpital possède un seul compteur SAGEM CX2500-CT-VT-CLI qui est un compteur triphasé à branchement indirect, on le trouve au niveau du poste de transformation. Il dispose des fonctionnalités suivantes :

- Raccordement indirect sur transformateur de courant et de tension ;
- Branchement indifférent en 3 ou 4 fils ;
- Mesure de l'énergie active conformément à la norme IEC 61036 classe 1 ;
- Mesure de l'énergie réactive dans les quatre quadrants conformément à la norme IEC 61268 classe 2 ;
- Contrôle de la puissance maximale active consommée appelée (PMA) par poste tarifaire.
- Courbes de charge configurables permettant d'enregistrer les puissances avec un temps d'intégration programmable. L'enregistrement gère une à huit « pistes ». La durée d'enregistrement est de un mois avec une période d'intégration de 15 minutes pour 4 pistes.
- Mémorisation automatique des énergies et des puissances maximales appelées en fin de période tarifaire avec une profondeur de 13 valeurs. L'enregistrement peut être déclenché immédiatement ou à date programmée.
- Un afficheur LCD permet l'affichage local des données. L'enregistrement peut être déclenché immédiatement ou à date programmée.

- Un afficheur LCD permet l'affichage local des données .Les choix des données à afficher est entièrement paramétrable.
- Dispositif émetteur d'impulsion conforme IEC 62056 61
- communication locale par liaison optique compatible avec les sondes IEC 61107.
- Communication locale par bus conforme IEC 62956-31 permettant l'extension vers le télé relevé par ajout de modems.

2-3-Police d'abonnement

L'établissement public hospitalier est un abonné SONELGAZ de moyenne tension (30kV), ayant souscrit une PMD de 750 kW avec un tarif 41

V-3-Analyse de la consommation de l'hôpital

La consommation d'énergie active et réactive de l'hôpital durant les douze mois de l'année 2009 est résumée par le tableau V-1.

3-1-Consommation d'énergie active

La consommation active totale à été estimé à 807294 kWh répartie mensuellement (comme le tableau V-1 l'indique) et répartie sur les trois postes horaires comme suit :

- En heures pointes : 123502 kWh, soit 15.3% de l'énergie active totale ;
- En heures creuses : 219112kWh, soit 27.14% de l'énergie active totale ;
- En heures pleines : 464662kWh, soit 57.56 de l'énergie active totale.

3-2-Consommation d'énergie réactive

L'énergie réactive consommée durant la période donnée, s'élève à 828513kVARh, le facteur de puissance moyen est estimé à 0.695 (inférieur à 0.894).

L'hôpital est pénalisé (à cause de l'excès de la consommation en énergie réactive), d'où la nécessité de procéder à une compensation.

Mois	PMD (kW)	PMA (kW)	Pointe (kWh)	Pleine (kWh)	Creuse (kWh)	Total (kWh)	W (kVArh)	$\cos\varphi$
Janvier	750	228	3093	11205	5589	19887	20292	0.700
Février	750	210	14607	54856	27105	96568	95132	0.712
Mars	750	672	11065	40844	21309	73218	73178	0.707
Avril	750	624	11999	46402	23305	81706	77211	0.727
Mai	750	156	9552	38576	18296	66424	71960	0.678
Juin	750	702	9178	35873	15562	60613	62315	0.697
Juillet	750	246	13036	45718	18977	77731	87772	0.663
Août	750	228	15859	56804	25459	98122	104807	0.683
Septembre	750	594	6170	25356	11626	43152	48694	0.663
Octobre	750	162	7567	30330	13635	51532	57836	0.656
Novembre	750	216	9787	37175	17435	64397	61701	0.722
Décembre	750	216	11589	41511	20844	73944	67615	0.738

Tableau V-1- relevé de la consommation de l'hôpital de Janvier à décembre 2009**3-3-Coût de l'énergie active consommée**

Le coût de l'énergie active consommée par l'hôpital avec le tarif 41 est de 1825727.53DA réparti comme suit (voir tableau V-2) :

- 888464.32 DA en heure pointe, soit un pourcentage de 48.66%
- 750269.35 DA en heures pleines, soit un pourcentage de 41.09%
- 186993. DA heures creuses, soit un pourcentage de 10.24%

Remarque :

Nous ne constatons que le fonctionnement en heures pleines (de 21h à 22h30 et de 6h à 17h) soit 12h30 min de fonctionnement, coûte presque le même de celui en heures pointes (4heures de marche).

V-4-Application des méthodes de réduction**4-1-Révision de la police d'abonnement****- Choix de la PMD**

Les résultats de la puissance consommée par les équipements de l'hôpital sont mentionnés dans les tableaux V-7, V-10.

Pour le calcul de cette puissance, on n'a pas pris en considération les pertes dans les câbles, estimées à quelques Watts, à cause de leur insignifiance devant la puissance consommée par les moteurs. L'hôpital a trois transformateurs qui fournissent respectivement 160.715kW, 160.715kW et 50.92kW

La puissance totale consommée par l'hôpital est :

$$P_t = 372.35kW$$

Par conséquence la PMD choisie par l'hôpital est de 750kW

❖ Etude tarifaire

Il faut rappeler que le choix dans les tarifs proposés par la SONELGAZ est ouvert. L'abonné, avec ou sans conseil de la SONELGAZ, choisit parmi tous les tarifs offerts celui qui minimisera sa facture d'énergie [14]

- **Tarif 31-32 :** Nous avons constaté dans ces deux tarifs, que la prime fixe est de l'ordre de 421 177.73 DA/Mois alors qu'avec le tarif 41 la majorité des montant ne dépassent pas 331852.3 DA/Mois. Donc ces deux tarifs sont déconseillés pour l'hôpital.
- **Tarif 41-42-43-44-51 :** une étude comparative est établie pour ces cinq tarifs ; 51 étant le tarif de liaison MT/HT, et s'étale sur une période suffisamment longue (12

mois), pour tirer des résultats plausibles ; voir les tableaux (V-2), (V-3), (V-4), (V-5) et (V-6).

Les montants de consommation sur les 12 mois avec chaque tarif appliqué, sont :

- Avec le tarif 41 : Montant = 2965201.65DA ;
- Avec le tarif 42 : Montant = 3773983.07DA ;
- Avec le tarif 43 : Montant = 4249584.17DA ;
- Avec le tarif 44 : Montant = 6182539.58DA ;
- Avec le tarif 51 : Montant = 2491028.55DA.

On remarque que le coût de la consommation avec le tarif 51 est nettement moins élevé que le coût de la consommation avec les tarifs 41, 42, 43, 44.

- 474173.1 DA de moins par rapport au tarif 41 ;
- 1282954.52 DA de moins par rapport au tarif 42 ;
- 1758555.62 DA de moins par rapport au tarif 43 ;
- 3691511.03 DA de moins par rapport au tarif 44.

➤ Tarifs 52-53-54 : Ce sont des tarifs réservés exclusivement aux abonnés bas tension. Donc, on n'ouvre pas droit à ces tarifs.

Conclusion :

Nous déduisons de cette étude que le tarif de MT-BT 51, est plus bénéfique que le tarif 41 appliqué à l'origine. En effet, il nous permet de faire une économie conséquente sur la durée de douze mois.

4-2-Contrôle de la facture d'énergie

Le contrôle systématique des factures d'énergie est très indispensable, à cause des erreurs importantes qui peuvent fausser le montant de la facture.

Après contrôle des factures nous n'avons pas trouvé d'erreurs.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	octobre	Novembre	Décembre
Pointe (DA)	22476.21	106146.14	80407.14	78194.33	69412.47	66694.69	94730	115244.18	44836.16	54987.88	71120.17	84214.95
Pleine (DA)	18092.71	88575	65950.81	74925.31	62288.67	57924.13	73820.85	91721.41	40942.33	48973.85	60026.47	67027.81
Creuse (DA)	4769.09	23128.69	18182.97	19886.16	15611.98	13279.05	16193.07	21724.16	9920.47	11634.75	14877.29	17786.18
g(W-0.5E) DA	3926.03	17774.13	13874.27	13794.22	14700.99	12144.84	18554.94	21150.03	10288.57	12167.35	11193.25	11625.95
c. PMD (DA)	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155	16155
d.PMA (DA)	22068.12	20325.9	65042.88	60396.96	15099.24	67946.58	23810.34	22068.12	57493.26	15679.98	20906.64	20906.64
a (DA)	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79	32227.79
TVA (DA)	8382.16	21303.31	20428.86	21320.58	15784.73	18645.98	19284.44	22420.32	14830.45	13427.86	15855.45	17496.10
Montant (DA)	516823.42	324230.52	313161.44	316900.3	241280.9	285017.24	294776.6	331852.3	14830.45	205254.46	242362.06	267440.42

Tableau V-2 : Facturation avec le tarif 41

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Pointe (DA)	22476.2	212292.29	160814.28	174388.66	138824.94	133389.38	189460.0	230488.36	89672.31	109975.75	142240.34	168429.89
H-Pointe (DA)	25280	123375.89	93558.51	104929.94	85609.42	77425.1	97385.38	12830.49	55669	66207.6	82204.43	93862.98
g(W-0.5E) (DA)	3926.22	17774.13	13874.27	13794.22	14700.99	12144.02	18555.12	21150.23	10288.56	12167.35	11193.24	11625.95
c.PMD (DA)	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5
d.PMA (DA)	22068.12	20325.9	65042.88	60396.86	15099.24	67946.58	23810.34	2206.12	57493.26	15679.98	26906.64	26906.64
a (DA)	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71
TVA (DA)	6885.74	27886.97	25053.5	26468.88	19519.62	22086.56	24767.96	18697.34	16641.82	16005.35	20101.33	22780.98
Montant total (DA)	105253.5	426272.39	382960.65	404595.77	298371.42	337608.85	378596.0	285802.25	254382.16	244653.24	307263.19	348223.65

Tableau V-3 : Facturation avec le tarif 42

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	novembre	Décembre
Nuit (DA)	4769.09	23128.69	18182.96	19886.15	15611.97	13279.05	16193.07	21724.16	9920.46	11634.74	14877.28	17786.18
Jour (DA)	51032.42	247927.34	185273.60	208444.58	171778.45	160796.03	209704.77	259348.78	112522.60	135261.97	167616.77	18524.52
g(W-0.5E) (DA)	3926.22	17774.13	13874.22	13794.22	14700.99	12144.02	18555.12	21150.23	10288.65	12167.35	11193.24	11625.95
c.PMD (DA)	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5
d.PMA (PMA)	29366.4	27048.0	86553.6	80371.2	20092.8	90417.6	131684.8	29366.4	766507.2	20865.6	27820.8	27820.8
a (DA)	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71
TVA (DA)	4744.69	23834.46	22995.07	24297.93	33115.62	21087.77	19756.7	24934.47	64669.94	14318.28	17228.77	7026.22
Montant total (DA)	72526.03	364330.04	351496.12	371411.29	506195.95	322341.68	301995.35	381141.25	988526.36	218865.15	263354.07	107400.88

Tableau V-4 : Facturation avec le tarif 43

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Poste unique (DA)	62250.28	302277.15	229186.98	255756.12	207920.40	189730.81	243313.57	30741.48	135074.39	161305.46	201575.48	231459.50
g(W-0.5E) (DA)	3926.22	17774.13	13874.22	13794.22	14700.99	121144.02	18555.12	21150.23	110288.65	12167.35	11193.24	11625.95
c.PMD (DA)	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5	24187.5
d.PMA (DA)	22068.12	220325.9	65042.28	60396.86	15099.24	67946.58	23810.34	2206.12	15493.26	15679.98	26906.64	26906.64
a (DA)	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71	429.71
TVA (DA)	7900.32	39549.60	23290.44	1858905	18363.64	28240.7	21720.73	5510.05	19983.14	14963.9	18500.47	20622.65
Montant total (DA)	120762.15	604543.99	356011.13	2840383.91	280701.48	431679.32	332016.97	84225.09	305456.65	228733.9	282793.04	315231.95

Tableau V-5 : Facturation avec le tarif 44

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Pointe (DA)	22155.77	104632.86	79260.80	85951.23	68422.28	65743.84	93379.47	113601.18	44196.94	54203.93	70106.23	83014.32
Pleine (DA)	21409.39	104813.35	78040.63	88660.3	73707.16	68542.54	87353.38	108535.4	48447.7	57951.53	71030.27	79315.06
Creuse (DA)	5942.22	28831.58	22666.38	24789.52	19461.45	16553.29	20185.83	27080.73	12366.53	14503.54	18545.60	22171.76
c.PMD (DA)	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5	22387.5
A (DA)	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44
TVA (DA)	5052.69	18266.62	14184.92	15545.25	12898.53	12145.95	15644.48	19032.38	11457.95	11468.51	12764.92	14502.25
Montant total (DA)	77234.01	279218.35	216826.6	237620.24	197163.3	185659.56	239137.1	290923.63	175143.06	175304.41	195120.96	221677.33

Tableau V-6 : Facturation avec le tarif 51

V-5-Bilan de puissance**5-1-Tableau général des transformateurs N°2 et N°3**

Code sectionneurs	Equipements	Puissance (kW)
ae1	Central chauffage	$5.5 \times 4 = 22$
ae2	Pompe à eau	$15 \times 2 = 30$
ae3	Pompe à eau	18.51
ae4	Armoire climatique	12.5
ae5	Sèche linge	$0.55 \times 2 = 1.1$
ae6	Ascenseur	$4 \times 2 = 8$
ae7	Monte charge	$5 \times 7 = 35$
ae8	Extraction d'air n 1	$3 \times 2 = 6$
ae9	Extraction d'air n 2	$11 \times 2 = 22$
ae10	Machine à laver	$3 \times 2 = 6$
ae11	Eclairage	$0.16 \times 355 = 56.8$
ae12	Eclairage	$0.02 \times 1600 = 32$
ae13	Eclairage	$0.018 \times 980 = 17.64$
ae14	Ordinateurs	$0.13 \times 49 = 6.37$
ae15	Climatiseurs	$13.25 \times 20 = 265$
ae16	Climatiseurs	$6.3 \times 20 = 126$
ae17	Laboratoire	37
ae18	Bloque opératoire	15
ae19	Pédiatrie et pharmacie	22
ae20	dialyse	15

Tableau V-6 : Présentation des réseaux

Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Cod sect	P (kW)	Q (kVAr)	K_u	P_u (kW)	Q_u (kVAr)	K_{s1}	P_{u1} (kW)	Q_{u1} (kVAr)	K_{s2}	P_{u2} (kW)	Q_{u2} (kVAr)
ae1	22	13.63	0.75	16.5	10.22	1	16.5	10.22	0.6	9.9	6.13
ae2	30	19.37	0.75	22.5	14.52	0.75	16.87	10.89	0.6	10.12	6.53
ae3	18.51	8.43	0.75	13.68	6.32	0.7	9.57	4.42	0.6	5.82	2.65
ae4	12.5	6.4	0.75	9.37	4.8	0.75	7.02	3.6	0.6	4.21	2.16
ae5	1.1	0.97	0.6	0.82	0.58	1	0.82	0.58	0.6	0.39	0.34
ae6	8	4.95	0.75	6	3.71	0.8	4.8	2.96	0.6	2.88	1.77
ae7	35	23.52	0.75	26.25	17.64	0.9	23.62	15.87	0.6	14.17	9.52
ae8	6	3.07	0.75	4.5	2.30	0.7	3.15	1.61	0.6	1.89	0.96
ae9	22	13.63	0.75	16.5	10.22	0.7	11.55	6.13	0.6	6.93	3.67
ae10	6	4.03	0.75	4.5	3.02	0.9	4.05	2.71	0.6	2.43	1.62
ae11	56.8	75.73	1	56.8	75.73	1	56.8	75.73	1	56.8	75.73
ae12	32	25.6	1	32	25.6	1	32	25.6	1	32	25.6
ae13	17.64	12.74	1	17.64	12.74	1	17.64	12.74	1	17.64	12.74
ae14	6.37	5.52	0.8	2.69	4.41	0.9	2.42	3.97	0.6	1.45	2.38
ae15	265	150.18	0.75	198.75	112.63	0.7	139.12	78.84	0.6	83.4	47.3
ae16	126	78.08	0.75	94.5	58.56	0.7	66.15	40.99	0.6	39.69	25.6
ae17	37	37.74	0.75	27.75	28.30	0.7	19.42	19.81	0.6	11.65	11.88
ae18	15	11.25	0.75	11.25	8.44	0.7	7.87	5.9	0.6	4.72	5.34
ae19	22	22.44	0.75	16.5	16.83	0.8	13.2	13.46	0.6	7.92	8.07
ae20	15	11.25	0.75	11.25	8.44	0.7	7.87	3.94	0.6	4.72	5.34

Tableau V-7

$$P_{u \text{ tot}}=321.43 \text{ kW}$$

$$\text{tg}\varphi=0.794$$



$$Q_{u \text{ tot}}=255.33 \text{ kVAr}$$

$$\cos\varphi=0.783$$

Donc, on trouve :

transformateur	$P_{u \text{ tot}}$ (kW)	$Q_{u \text{ tot}}$ (kVAr)	$\text{tg}\varphi$	$\cos\varphi$
I	160.715	127.665	0.794	0.783
II	160.715	127.665	0.794	0.783

Tableau V-8 : les caractéristiques de TR I et TR II

5-2-Tableau général de transformateur N° III

Code sectionneurs	Equipements	Puissance (kW)
ae1	Moteur n°1	37
ae2	Moteur n°2	1.5

Tableau V-9 : présentation des réseaux

Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Code sect	P (kW) inst	Q (kVAr) inst	K_u	P_u (kW)	Q_u (kVAr)	K_{s1}	P_{u1} (kW)	Q_{u1} (kVAr)	K_{s2}	P_{u2} (kW)	Q_{u2} (kVAr)
ae1	37	27.75	0.75	27.75	20.81	0.7	19.42	14.56	0.6	11.65	8.73
ae2	1.5	1.74	0.6	0.9	1.04	1	0.9	1.04	0.6	0.34	0.62

Tableau V-10 :

$$P_{u \text{ tot}}=50.92 \text{ kW}$$

$$\text{tg}\varphi=0.783$$



$$Q_{u \text{ tot}}=39.88 \text{ kVAr}$$

$$\cos\varphi = 0.787$$

V-6-Compensation de l'énergie réactive de l'hôpital

La compensation de l'énergie réactive de l'hôpital peut se faire à deux niveaux :

- Une compensation centralisée au niveau du poste de transformation à l'aide des batteries moyenne tension c'est la compensation moyenne tension.
- Une compensation global au niveau de chaque bloc, au secondaire de chaque transformateur c'est la compensation basse tension.

Dans cette étude on a choisi la compensation en BT, et cela pour les raisons suivantes :

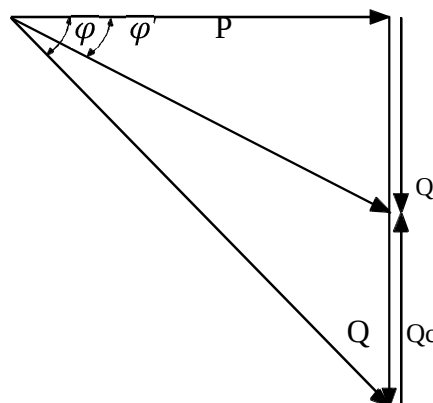
- L'énergie réactive doit être produite où elle est consommée, pour éviter des échauffements des transformateurs et des câbles ;
- L'installation au niveau moyenne tension coûte très cher.

6-1-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du premier transformateur

D'après le bilan des puissances, l'ensemble des services consomme 160.715kW. Le facteur de puissance moyen est de 0.783 correspondant à $\tan\varphi=0.794$

Nous voulons élever le facteur de puissance à $\cos\varphi=0.93$ correspondant à $\tan\varphi=0.395$.

D'où la capacité de la batterie de condensateurs :



$$Q_c = Q - Q'$$

$$Q_c = P \cdot (\tan\varphi - \tan\varphi')$$

$$C = \frac{P.(tg\varphi - tg\varphi')}{\omega U^2}$$

Avec :

U : Tension nominale aux bornes du condensateur égale à 380Volts ;

$\omega = 2.\pi.f$: la pulsation ;

f : fréquence du réseau = 50 HZ.

$$C = \frac{160.715.(0.794 - 0.395)}{2.\pi.50.380^2}$$

$$= 1.41.10^{-6} \text{ Farad}$$

La puissance réactive équivalente de cette batterie est :

$$Q_{c1} = C.2.\pi.f.U^2 = 2.3.14.380^2.50.1.41.10^{-6} = 63.93 \text{ kVAr}$$

- **Compensation fixe ou automatique :**

Le rapport de Q_c/S_n permet de choisir entre les équipements de compensation fixe et automatique. Le seuil de 15% est une valeur indicative conseillée pour éviter les effets de la compensation à vide.

Calcul du rapport Q_c/S_n :

$$Q_{c1}/S_n = \frac{63.93}{205.24} = 31.15\%$$

$$Q_{c1}/S_n > 15\% \Rightarrow \text{Compensation automatique}$$

6-2-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du transformateur :

D'après le bilan de puissance, la puissance totale consommée est de 156.06 KW

- Calcul de la puissance réactive à installer pour optimiser le facteur de puissance à $\cos \varphi = 0.93$

$$\cos \varphi = 0.7783 \Rightarrow tg \varphi = 0.794$$

$$\cos \varphi' = 0.93 \Rightarrow tg \varphi' = 0.395$$

$$Q_{c2} = 160.715. (0.794 - 0.395)$$

$$=63.93 \text{ kVAr}$$

- **Compensation fixe ou automatique :**

Calcul du rapport Q_c/S_n :

$$Q_{c2}/S_n = \frac{63.93}{205.24} = 31.15 \%$$

D'où : $Q_{c2}/S_n > 15\% \Rightarrow$ compensation automatique.

6-3-Dimensionnement de la batterie à installer aux bornes du secondaire du troisième transformateur

D'après le bilan de puissance, la puissance totale consommée par cette installation est de 50.92 kW. Le facteur de puissance moyen est de 0.787 correspondant à $\tan \varphi = 0.783$

- Calcul de la puissance réactive à installer pour optimiser le $\cos \varphi$ à 0.93.

$$\begin{aligned} Q_{c3} &= 50.92 (0.783-0.395) \\ &= 19.75 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

- Compensation fixe ou automatique :

Calcul du rapport Q_c/S_n :

$$Q_{c3}/S_n = \frac{19.75}{64.67} = 30\%$$

D'où : $Q_{c3}/S_n > 15\% \Rightarrow$ Compensation automatique.

- Type équipement de compensation des trois transformateurs
nous avons constaté qu'il n'y a pas des récepteurs produisant des harmoniques dans ce cas les équipement de type standard conviennent

V-7- Calcul de l'énergie réactive délivrée par les trois batteries de condensateurs

L'énergie délivrée par une batterie de condensateurs est donnée par la formule suivante :

$$W_{Qc} = Q_c \cdot T$$

Avec :

Q_c : Puissance réactive de la batterie de condensateurs

T : temps de fonctionnement de l'ensemble des récepteurs

Donc au secondaire de chacun des trois transformateurs on installera une puissance,

$Q_{c1} = 63.93 \text{ kVAr}$, $Q_{c2} = 63.93 \text{ kVAr}$ et $Q_{c3} = 19.75 \text{ kVAr}$ respectivement.

Ces batteries pouvant fournir une énergie réactive par mois de 30 jours :

$$147.61 \cdot 30 \cdot 24 = 106279.2 \text{ kVarh}$$

V-8- Analyse des couts de la consommation avant et après compensation

Pour le même tarif, l'hôpital a payé avant la compensation durant douze mois de l'année 2009 le montant de 3169201.1 DA. Après la compensation, l'hôpital doit payer une somme de 3023143.72DA (voir les tableaux V-11 et V-12).

Donc avec la compensation, l'hôpital réduira le montant de ces factures d'énergie de 146057.38DA correspondant à une moyenne de 12171.44 DA par mois.

Mois	PMD	PMA	Creuse	Pointe	Pleine	E total	W cons	Cos φ	W-E/2	Majoration	Coût Creuse	Coût Pointe	Coût Pleine	c.PMD	d.PMA	Prime	TVA	Total à
	(kW)	(kW)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kVArh)		kVARh	(DA)	(DA)	(DA)	(DA)			Fixe (DA)	(DA)	Payer (DA)
Janvier	570	228	5589	3093	11205	19887	20298	0.700	10354.5	3926.03	4769.09	22476.21	18092.71	16155	22068.12	32227.79	8382.16	516823.42
Février	750	210	27105	14607	54856	96568	95132	0.712	46848	17774.13	23128.96	106146.14	88575	16155	20325.9	32227.79	21303.31	324230.52
Mars	750	672	21309	11056	40844	73210	73178	0.707	365.68	13874.27	182.97	80407.14	65950.81	16155	65042.88	32227.79	20428.86	313161.44
Avril	750	624	23305	11999	46402	81706	77211	0.727	36358	13798.27	19886.16	87194.33	74925.31	16155	60396.96	32227.79	21320.58	316900.3
Mai	750	156	18296	9552	38576	66424	71960	0.678	38748	13794.22	15611.92	69412.47	62288.67	16155	15099.24	32227.79	15784.73	241280.9
Juin	750	702	15562	9178	35873	60613	62315	0.697	32008.5	14700.99	13279.05	66694.69	57924.13	16155	67946.85	32227.79	18645.98	285017.24
Juillet	750	264	18977	13036	45718	77731	87772	0.663	48906.5	12144.84	16193.07	94730	73820.85	16155	23810.34	32227.79	19284.44	294776.6
Aout	750	228	25459	15859	56804	98122	104807	0.683	55746	18554.94	21724.16	115244.18	91721.41	16155	22068.12	32227.79	22420.32	331852.3
Septembre	750	594	11626	6170	25356	43152	48694	0.663	27118	21150.03	9920.47	44836.16	40942.33	16155	57493.26	32227.79	14830.45	14830.45
Octobre	750	162	13635	7567	30330	51532	57836	0.656	32070	12167.35	11634.75	54987.88	48973.85	16155	57493.26	32227.79	13427.86	20525.46
Novembre	750	216	17435	9787	37175	64397	61701	0.722	29502.5	11193.25	14877.29	71120.17	60026.47	16155	15679.98	32227.79	15855.45	242362.06
Décembre	750	216	20844	11589	41511	73944	67615	0.738	30643	11625.95	17786.19	84214.95	67027.81	16155	20906.64	32227.79	17496.10	267440.40
	Total																	3169201.1

Tableau V-11 : Factures avant compensation

Mois	PMD	PMA	Creuse	Pointe	Pleine	E total	W cons	Cosφ	W-E/2	bonification	Coût Creuse	Coût Pointe	Coût Pleine	c. PMD	d. PMA	Prime	TVA	Total à
	(kW)	(kW)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	0.93	(kVArh)	(DA)	(DA)	(DA)	(DA)			Fixe(DA)	(DA)	Payer(DA)
Janvier	750	228	5589	3093	11205	19887	7859.8	0.93	2083.7	158.11	4769.09	22476.21	18092.71	16155	22068.12	32227.79	8116.29	124063..32
Février	750	210	27105	14607	54856	96568	38166.11	0.93	10117.89	767.74	23128.96	106416.14	88575	16155	20325.9	32227.79	20131.75	307728.32
Mars	750	672	21309	11056	40844	73210	28934.44	0.93	7670.56	582.04	182.97	80407.14	65950.81	16155	65042.88	32227.79	18238.4	278787.03
Avril	750	624	23305	11999	46402	81706	32292.27	0.93	8560.73	649.58	19886.16	87194.33	74925.31	16155	60396.96	32227.79	18510.45	282945.58
Mai	750	156	18296	9552	38576	66424	26252.44	0.93	6959.56	528.09	15611..92	69412.47	62288.67	16155	15099.24	32227.79	14792.64	226116.1
Juin	750	702	15562	9178	35873	60613	23955.79	0.93	6350.71	481.89	13279.05	66694.69	57924.13	16155	67946.85	32227.79	17829.65	272539.05
Juillet	750	264	18977	13036	45718	77731	30721.25	0.93	8144.25	617.98	16193.07	94730	73820.85	16155	23810.34	32227.79	18028.85	275583.88
Aout	750	228	25459	15859	56804	98122	38780.29	0.93	10280.71	780.10	21724.16	115244.18	91721.41	16155	22068.12	32227.79	20994.45	320915.21
Septembre	750	594	11262	61770	25356	43152	17054.76	0.93	4521.24	343.07	9920.47	44836.16	40942.33	16155	57493.26	32227.79	14134.26	216052.34
Octobre	750	162	13635	7567	30330	51532	20366.74	0.93	5399.26	409.69	11634.75	54987.88	48973.85	16155	57493.26	32227.79	15531.75	237413.9
Novembre	750	216	17435	9787	37175	64397	25451.32	0.93	6747.18	511.97	14877.29	71120.17	60026.47	16155	15679.98	32227.79	14741.89	225340.41
Décembre	750	216	20844	11589	41511	73944	29224.55	0.93	7747.47	587.87	17786.19	84241.95	67027.81	16155	20906.64	32227.79	16725.33	255658.57
Total																		3023143.72

Tableau V-12 : Factures après compensation

V-9-Calcul de l'investissement sur les batteries de condensateurs et la durée d'amortissement

Désignation	Puissance (kVAr)	Prix en DA
Condensateur de compensation rectimat de type standard 400V	52.5	1444 €
	60	1596 €
	75	1672 €
	80	1748 €

Si on choisit des batteries de condensateurs de puissance 75kVAr, 75kVAr et 52.5kVAr.

Montant des batteries de compensation :

- Les taxes douaniers : 47.4% (donnée par Schneider Electrique) ;
- TVA : 21% ;
- Taux de change : 1€ =102DA.

Pour 52.5kVAr :

- Montant en euro hors taxe = 1444 €
- Montant en DA hors taxe = $1444 \times 102 = 147288\text{DA}$;
- Montant des taxes douanières = $147288 \times 0.474 = 69814.51\text{DA}$;
- Montant total hors TVA = $15884 + 75290.16 = 217102.51\text{DA}$;
- Montant TVA = $217102.51 \times 0.21 = 45591.52\text{DA}$;
- Montant total TTC = $217102.51 + 45591.52 = 262694.03\text{DA}$.

Pour 75kVAr :

- Montant en euro hors taxe = 1672€ ;
- Montant en DA hors taxe = $1672 \times 102 = 170544\text{DA}$;
- Montant des taxes douanières = $170544 \times 0.474 = 80837.85\text{DA}$;
- Montant total hors taxe TVA = $170544 + 80837.85 = 251381.85\text{DA}$;
- Montant TVA = $251381.85 \times 0.21 = 52790.18\text{DA}$
- Montant total TTC = $52790.18 + 251381.85 = 304172.03\text{DA}$

Donc le prix d'achat total serait :

$$304172.03 \times 2 + 262694.03 = 871038.09\text{DA}$$

Le montant de la pose d'une batterie de condensateurs est estimé à 40000DA. Le taux d'intérêt bancaire est d'environ 10%

L'ordre de grandeur de la durée d'amortissement se calcul comme suit :

$$n = \frac{A + A \times 0.1 \times n - n \times 12171.44 \times 12}{12171.44 \times 12}$$

Avec :

n : durée d'amortissement ;

A : montant de fourniture et pose, $A = 871038.09 + 120000 = 991038.09 \text{ DA}$;

$A \times 0.1 \times n$: intérêt bancaire sur la durée d'amortissement ;

$n \times 12171.44 \times 12$ = ce qu'on gagne sur la durée d'amortissement après compensation.

$$n = \frac{991038.09 + 991038.09 \times 0.1 \times n - n \times 12171.44 \times 12}{12171.44 \times 12} = 5 \text{ ans et 2 mois.}$$

La batterie sera amortie au bout de 5 ans et 2 mois.

Pour la durée de vie des batteries de condensateurs d'au moins 15 ans, la compensation sera rentable à partir de cinq ans de son installation, ce qui représentera au bout de cette durée de vie un gain de :

$$15 \text{ ans} \times 12 - 5 \text{ ans} \times 12 - 2 \text{ mois} = 118 \text{ mois}$$

$$118 \times 12171.44 = 1436229.92 \text{ DA.}$$

Conclusion :

L'étude technique du problème doit être complétée par une étude économique plus rigoureuse permettant de chiffrer le gain réalisé par l'installation des condensateurs. Cette étude économique doit tenir compte :

- ❖ Du cout de l'énergie réactive facturée annuellement et du cout annuel des pertes supplémentaires provoquées par la circulation de la puissance réactive dans les éléments de l'installation concernée.
- ❖ Du cout d'installation des batteries de condensateurs incluant le cout des appareillages annexes de commande, protection et contrôle et celui, faible d'entretien

Il faut évidemment faire un bilan actualisé de l'ensemble de ces couts sur une période correspondant à la durée d'amortissement.

Donc à travers les résultats obtenus dans ce chapitre, nous pouvons conclure qu'un bon facteur de puissance fait :

- Diminuer les puissances (réactive et apparente) délivrées par le transformateur ;
- Diminuer les chutes de tension et les courants transportés ;
- Augmenter le rendement des installations.

Ce qui améliore nettement les performances.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés aux problèmes posés par la circulation de l'énergie réactive dans un réseau électrique. En effet, l'augmentation de la puissance réactive transportée dans un réseau électrique engendre un faible facteur de puissance. Ce dernier présente des inconvénients à savoir :

- ✓ Les pertes Joules élevées ;
- ✓ Les chutes de tension excessives ;
- ✓ Les diminutions des rendements des installations ;
- ✓ Majoration des factures énergétiques.

Pour améliorer le facteur de puissance, il est nécessaire de faire appel aux moyens de compensation. L'emploi des batteries de condensateurs est le moyen le plus efficace et le plus économique de production de l'énergie réactive dans les installations industrielles.

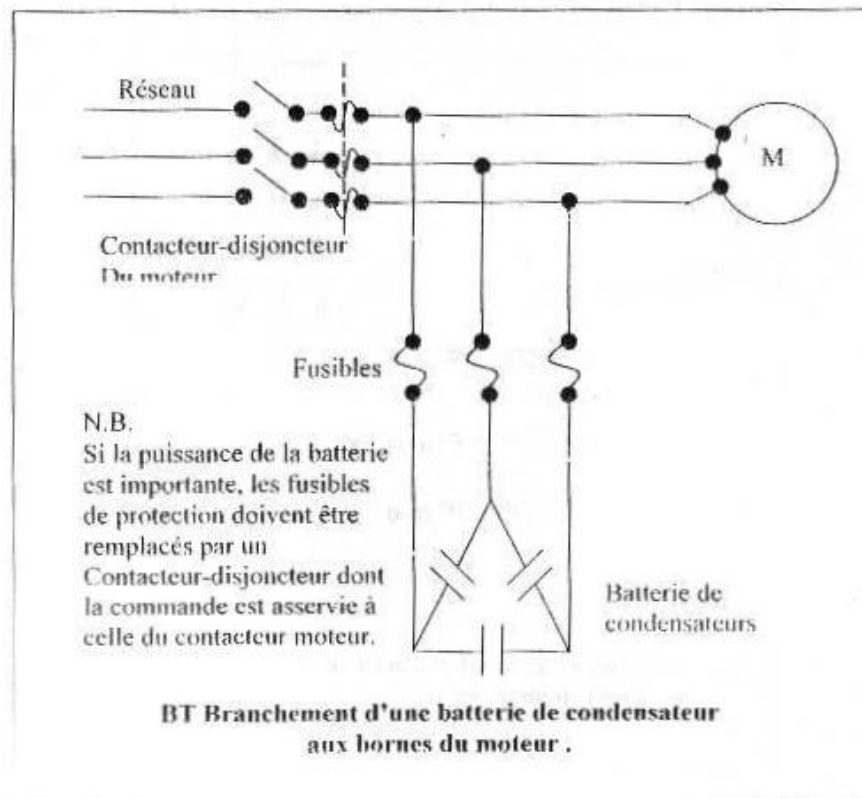
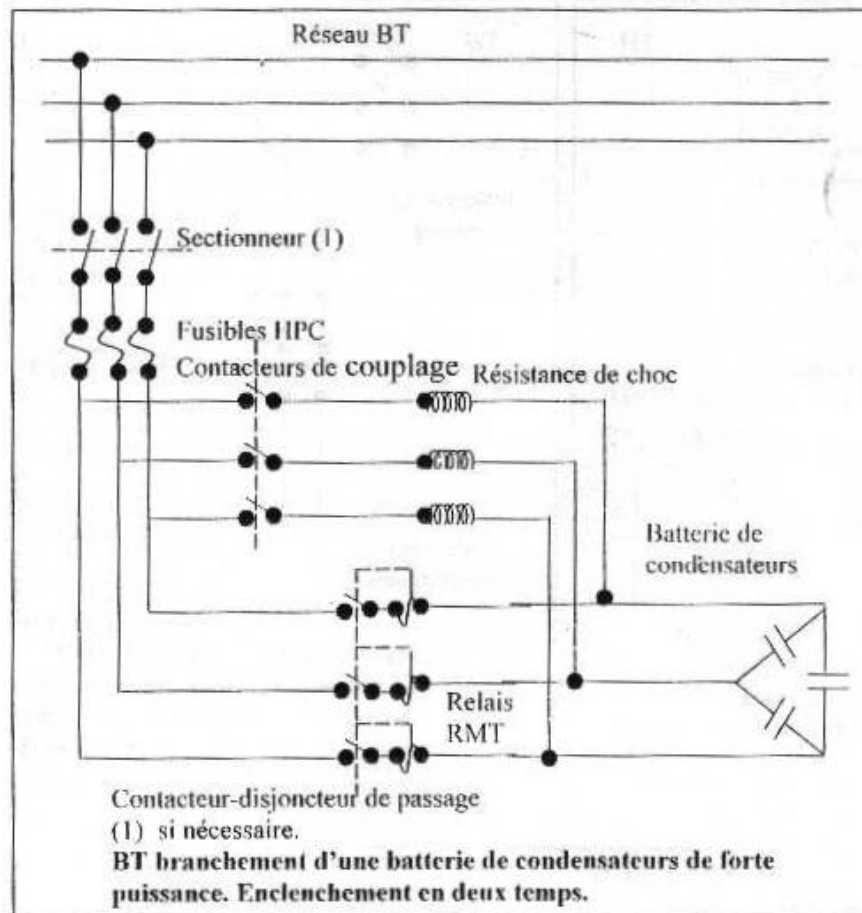
Pour L'hôpital d'AZAZGA, nous avons montré que l'installation des batteries de condensateurs pour compenser l'énergie réactive est intéressante, de plus L'hôpital pourrait réduire sa facture d'énergie en intervenant sur d'autres factures qui ne nécessitent pratiquement pas d'investissement :

- ❖ Le choix du tarif ;
- ❖ Une maintenance permanente des équipements, particulièrement des postes de comptage ;
- ❖ La vérification systématique des factures ;
- ❖ Un bon choix de la puissance souscrite ;
- ❖ La limitation de la puissance appelée.

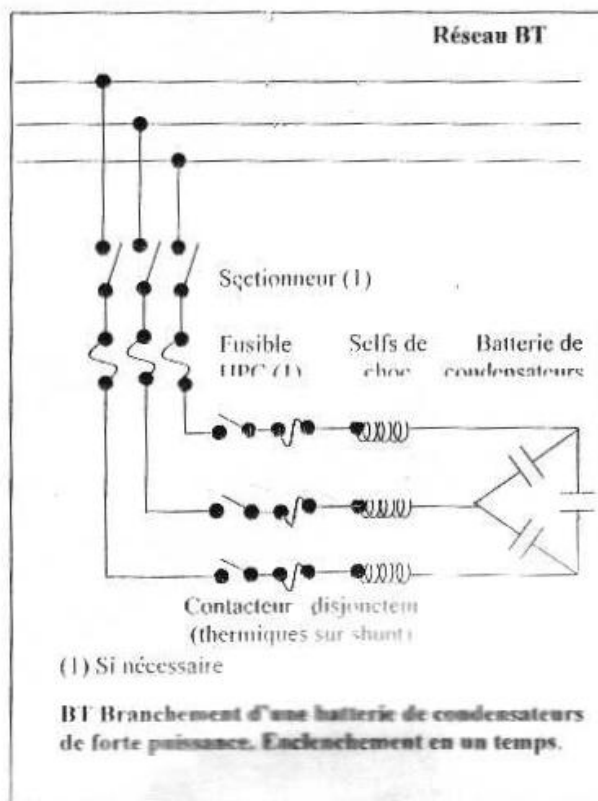
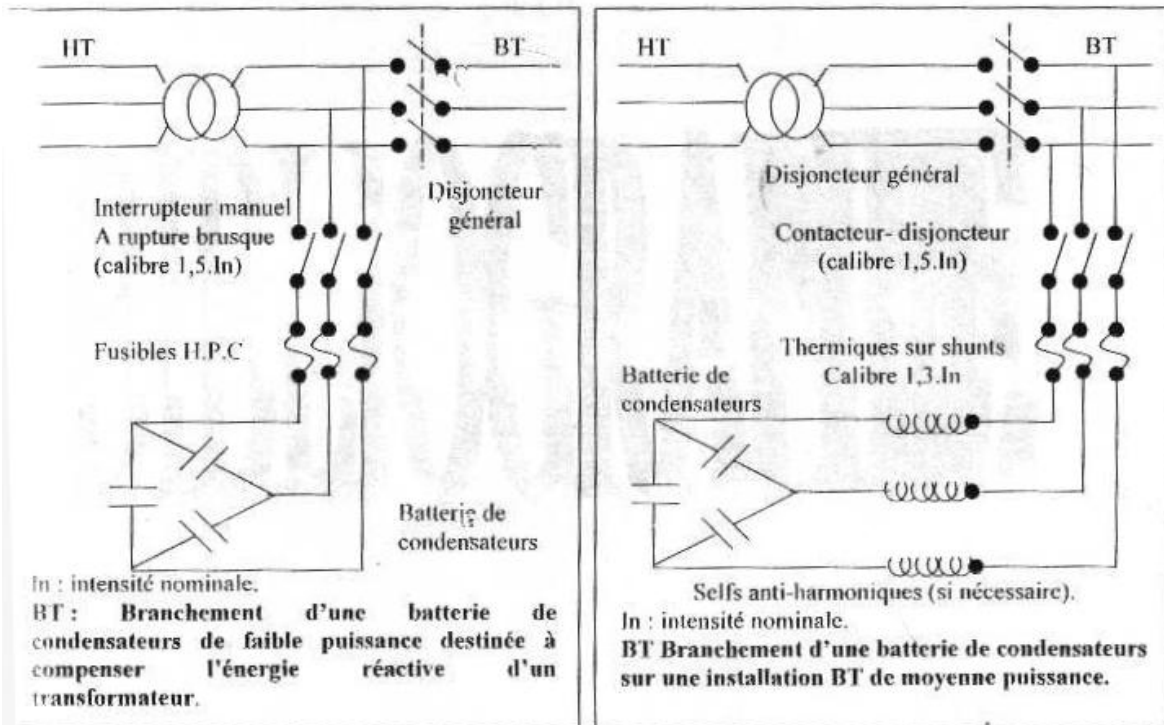
Tous ces éléments, sont d'une importance non négligeable dans l'optimisation des factures. Effectivement, même dans les cas les plus malaisés, la compensation est nécessaire, parce qu'elle permet de réduire considérablement les charges énergétiques de l'entreprise.

Enfin, nous espérons que ce travail sera utile pour l'hôpital d'AZAZGA et les promotions à venir.

SCHEMAS DE BRANCHEMENT DES BATTERIES :



SCHEMAS DE BRANCHEMENT DES BATTERIES :



Bibliographie

[1]-MERLIN GERIN 1982 «Guide de l'installation électrique»

[2]-R.BOGEOI et D.COIGNIEL «Mémothech d'électrotechnique»

Editions André CASTEILLA, 1987.

[3]-O.IRNATENE et S.ABBAS «mémoire de fin d'étude»

Elaboration d'un programme informatique pour réduire la facture d'énergie électrique d'une entreprise.

[4]-MERLIN GERIN «Guide de la compensation d'énergie réactive et filtrage d'harmoniques HT/MT» GROUPE SCHNEIDER.

[4-2]-PIERRE MEYNAUD «Compensation de l'énergie réactive et tenue de la tension dans les installations industrielles» Revue EDF 2000.

[5]-H.MERRI et B.TRAORE «Mémoire de fin d'étude» ; «Compensation pour l'économie de l'énergie» 1991.

[6]-QUILLET «Encyclopédie des sciences et de la technologie» E1pp-628-629.

[7]-MERLIN GERIN «Condensateurs et batteries BT/MT triphasé»

GROUPE SCHNEIDER.

[8]-MERLIN GERIN «Guide de la compensation d'énergie réactive BT»

GROUPE SCHNEIDER.

[9]-Alpe technologie «La compensation de l'énergie réactive par les conducteurs»

RVA- 2003 G 01 France.

[10]-GILBERT DROUIN «Compensation statique de la puissance réactive»

Revenue EDF 2001.

[11]-A.SMAIL et K.HAMEL«Optimisation des coûts de l'énergie électrique dans la station de pompage d'eau» mémoire de fin d'étude DUA, UMMTO 2002.

[12]-CHRISTOPHE PREVE «Protection des réseaux électriques» Editions HERMES

PARIS, 1998.

[13]-J.FAVRAUD«Fonctionnement et protection des réseaux de distribution»Electricité de France.

[14]-Document SONELGAZ.

Résumé

L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension.

L'énergie consommée est composée d'une partie <<active>>, transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie <<réactive>> transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie <<active>> ; la partie <<réactive>> ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. L'énergie totale soutirée au réseau de distribution sera ainsi globalement réduite.

Les économies d'énergie réalisées se chiffrent par dizaines de pour cent de la compensation globale, situant les procédés de compensation d'énergie réactive.

Cette compensation est le thème de notre projet qui est divisé en cinq chapitres dont :

1^{er} chapitre : porte en premier lieu sur des généralités concernant les puissances, ensuite on passera au bilan de puissances après on parlera des méthodes des calculs de la puissance consommée, on finira par le calcul des pertes de puissance.

2^{ème} chapitre : porte sur le facteur de puissance et la compensation de l'énergie réactive qui est détaillé en onze points.

3^{ème} chapitre : il traite l'étude des batteries de condensateurs, il est divisé en douze points.

4^{ème} chapitre : il concerne la tarification de l'énergie électrique qu'on expliquera dans trois points.

5^{ème} chapitre : on terminera par ce chapitre avec l'application de la compensation de l'énergie réactive au niveau de l'hôpital d'AZAZGA.

L'augmentation de la puissance réactive transportée dans un réseau électrique engendre un faible facteur de puissance. Ce dernier présente des inconvénients à savoir :

- ✓ Les pertes Joules élevées ;
- ✓ Les chutes de tension excessives ;
- ✓ Les diminutions des rendements des installations ;
- ✓ Majoration des factures énergétiques.

Pour améliorer le facteur de puissance, il est nécessaire de faire appel aux moyens de compensation. L'emploi des batteries de condensateurs est le moyen le plus efficace et le plus économique de production de l'énergie réactive dans les installations industrielles.

Pour L'hôpital d'AZAZGA, nous avons montré que l'installation des batteries de condensateurs pour compenser l'énergie réactive est intéressante, de plus L'hôpital pourrait réduire sa facture d'énergie en intervenant sur d'autres factures qui ne nécessitent pratiquement pas d'investissement :

- ❖ Le choix du tarif ;
- ❖ Une maintenance permanente des équipements, particulièrement des postes de comptage ;
- ❖ La vérification systématique des factures ;
- ❖ Un bon choix de la puissance souscrite ;
- ❖ La limitation de la puissance appelée.

Tous ces éléments, sont d'une importance non négligeable dans l'optimisation des factures. Effectivement, même dans les cas les plus malaisés, la compensation est nécessaire, parce qu'elle permet de réduire considérablement les charges énergétiques de l'entreprise.

Enfin, nous espérons que ce travail sera utile pour l'hôpital d'AZAZGA et les promotions à venir.