

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electrotechnique
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique



Mémoire de Master en Electrotechnique

Présenté par :
KHEDER Nazim

Installation et dimensionnement de batteries de compensation

Directeur du mémoire :

R.TAHMI Docteur ENP

Jury :

T.ZEBBADJI Docteur ENP(Président)

M.O.MAHMOUDI Professeur ENP(Examineur)

H.SAHRAOUI Docteur ENP(Examinatrice)

ENP 2013

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique (LRE) - Ecole Nationale Polytechnique (ENP)

10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

www.lre.enp.edu.dz www.enp.edu.dz

ملخص :

لقد تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة تركيب و تحديد أبعاد البطاريات المستعملة في تعويض الطاقة الالفعالة ابتداءً بدراسة نوع البطاريات وجميع أنواع طرق التركيب والأخطار الناجمة عنها، ثم قمنا بدراسة حالة الطاقة الالفعالة في مصنع " صافية " كما أجرينا جملة من التقييمات التي أدت إلى إيجاد البطارية المثلى المواتية لهذا المصنع.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الالفعالة، البطاريات، معامل الاستطاعة.

Résumé :

Nous nous sommes intéressés lors de ce travail à l'installation et au dimensionnement des batteries de compensation de l'énergie réactive en commençant par étudier les types de batteries ainsi que les types d'installation puis les précautions devant être prise, pour finir nous avons effectuer une étude de cas au niveau de l'usine SAFIA comprenant des évaluations nous permettons de trouver la compensation optimale.

Mots clés : Energie réactive,Batteries,facteur de puissance.

Abstract :

In this work we were interested in the installation and the detection of the batteries dimensions for the compensation of reactive energy beginning by studying the types of batteries also the types of the installation and the precaution which should be taken , in the end we made a study case at Safia factory about the evaluations that allow us in finding optimal compensation .

Key words: Reactive energy, battery, power factor.

Dédicaces

À ma famille qui a toujours été présente à mes côtés;

*À mes amis polytechniciens qui ont été ma deuxième famille
durant ces cinq dernières années;*

À tous ceux qui me sont chers et qui sauront se reconnaître;

Je dédie ce mémoire.

Nazim

Table de Matières

Introduction Générale.....	1
Puissances et facteur de puissances.....	2
Installation et type de batteries de condensateurs	5
Précautions à prendre.....	10
Etude de cas.....	11
Conclusion Générale.....	15
Bibliographie.....	16

Liste des Figures

<i>Figure 1.1 : Diagramme des puissances</i>	3
<i>Figure 1.2 Schéma de principe de la compensation de la puissance réactive</i>	4
<i>Figure 2.1 : Compensation globale d'une installation électrique</i>	5
<i>Figure 2.2 : Compensation partielle d'une installation électrique</i>	6
<i>Figure 2.3 : Compensation individuelle d'une installation électrique</i>	7
<i>Figure 4.1: Energie active et réactive consommées par la source1 durant les années 2011 et 2012</i>	11
<i>Figure 4.2: Energie active et réactive consommées par la source2 durant les années 2011 et 2012</i>	11

Liste des Tableaux

Tableau 4.1 : Évaluation du coût de la facture électrique avec un $\text{Cos } \varphi = 0,91$ pour le mois de février 2011.....12

Tableau 4.2 : Évaluation du coût de la facture électrique avec un $\text{Cos } \varphi = 0,91$ pour le mois de mars 2012.....14

Introduction Générale

Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive. Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique ou lumineuse, l'énergie réactive quant à elle sert à l'alimentation des circuits magnétique.

La surconsommation en énergie réactive est l'un des problèmes dont doit faire face et le distributeur et le consommateur d'énergie, lors de ce mémoire nous allons nous concentrer sur le consommateur et les mesures à prendre afin de rectifier cette surconsommation.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

- ✓ Chapitre1 : décrit les puissances électriques, le facteur de puissance et les façons de l'améliorer.
- ✓ Chapitre2 : comporte les types d'installation des batteries de compensation ainsi que les batteries disponibles.
- ✓ Chapitre3 : Illustre les précautions à prendre lors d'une installation de batteries de condensateurs.
- ✓ Chapitre4 : Réalisation d'une étude de cas au sein des COGRAL.

CHAPITRE I :

Puissances et facteur de puissance

Puissances et facteur de puissance

La puissance électrique se décompose en 3 forme : puissance apparente notée S, puissance active notée P et finalement puissance réactive notée Q, dans ce chapitre nous allons tenter d'expliquer le rôle de chaque une d'entre elle en évoquant aussi le facteur de puissance.

Tous récepteur ou charge raccordé à un réseau électrique consomme de l'énergie cette énergie fournit par le réseau sera convertie en énergie mécanique (travail) et en chaleur (pertes) elle est dite énergie active cependant et afin de réaliser cette conversion certain récepteurs ont besoin d'une autre forme d'énergie capable de crée des champs magnétiques cette énergie est appelé énergie réactive.

1.1 Puissance active :

La puissance active correspond à la réalité du travail ou de la chaleur fournie par la charge en tenant compte du déphasage existant entre tension et courant est calculé a partir de la formule suivante et a pour unité le WATT(W)

$$P = V * I * \cos \phi$$

1.2 Puissance réactive :

La puissance réactive est la puissance nécessaire a l'excitation des machines son unité de mesure est le VAR dans le cas des installations mal compensé l'énergie réactive oblige les industrielle a surdimensionné leur installation. Elle est calculée a partir de la formule suivante :

$$Q = V * I * \sin \phi$$

1.3 Puissance Apparente :

C'est la puissance totale fournie à la charge. Elle se mesure en voltampères (VA) et correspond à la somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive du circuit. L'équation suivante traduit cet énoncé :

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

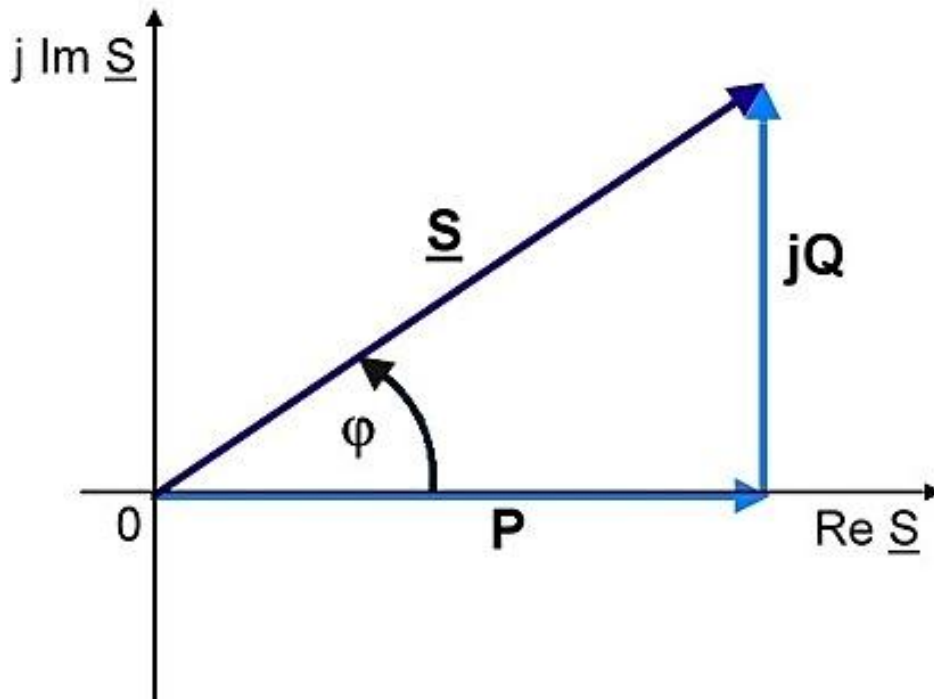


Figure1.1 : Diagramme des puissances

1.4 Facteur de puissance :

Définition :

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente.

$$Fp = \frac{P}{S}$$

Le FP est un terme qui décrit les caractéristiques des signaux en entrée d'un appareil électrique utilisant du courant alternatif.

Pour des grandeurs sinusoïdales le facteur de puissance est appelé $\cos \theta$.

Importance du facteur de puissance

Les récepteurs utilisés généralement en industrie sont de types résisto-inductifs, ils induisent un déphasage entre le courant I et la tension U faisant ainsi baisser le facteur de puissance.

Ces récepteurs sont dimensionnés selon des conditions de fonctionnement, notamment le courant nominal, mais ce n'est qu'une partie de ce courant qui se transforme en énergie utile, la proportion de cette énergie est égale au facteur de puissance on remarque alors qu'on peut

Puissances et facteur de puissance

obtenir la même puissance active pour un courant apparent plus faible. En effet, un récepteur ayant un bon facteur de puissance permettra une meilleure exploitation des équipements qui l'alimentent, ce qui économise l'investissement dans une éventuelle extension de puissance rien qu'en améliorant le facteur de puissance.

Conséquence d'un mauvais facteur de puissance

Les conséquences d'un mauvais facteur de puissance sont :

- Pénalités financières due a la valeur du facteur de puissance
- Importante pertes en ligne
- Chutes de tensions
- Fort appel de puissance non justifié

Amélioration du facteur de puissance

L'amélioration du facteur de puissance peut se faire de différentes façons l'important étant de rapprocher la valeur du facteur de puissance le plus possible de un, [1].

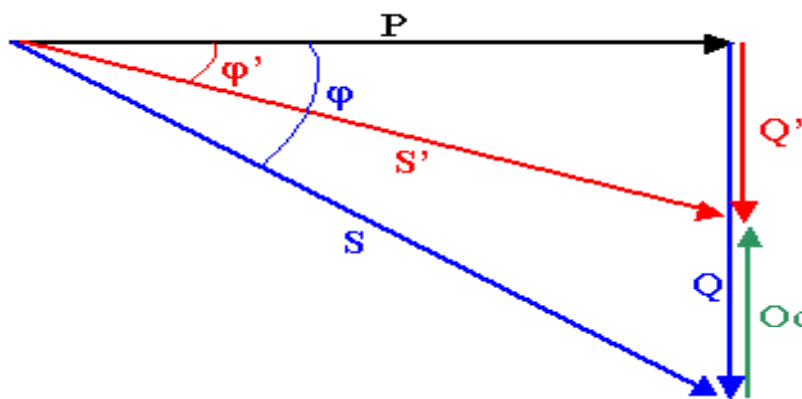


Figure 1.2 Schéma de principe de la compensation de la puissance réactive.

La figure ci-dessus illustre le principe de compensation de la puissance réactive Q d'une installation à une valeur plus faible Q^I par la mise en œuvre d'une batterie de condensateurs de puissance Q_c , dans le même temps la puissance apparente passe de S à S^I .

$$Q_c = P * (\operatorname{tg}(\varphi) - \operatorname{tg}(\varphi^I))$$

Avec :

Q_c : Puissance de la batterie de condensateurs en KVAR ;

P : Puissance active de la charge en KW

$\operatorname{tg}\varphi$: Tangente de l'angle de déphasage de l'installation avant compensation ;

$\operatorname{tg}\varphi^I$: Tangente de l'angle de déphasage après compensation

CHAPITRE II:

Installation et types de batteries de condensateurs

Installation et type de batteries de condensateurs

La compensation de l'énergie réactive peut se faire de différentes manières les types de compensations sont illustrés dans ce qui suit :

Types de Compensation

Compensation globale :

La compensation globale de l'énergie réactive consiste au raccordement de la batterie de condensateur en amont (en tête) de l'installation elle assurera la compensation pour l'ensemble des charges ce type de compensation est généralement appliqué pour une installation simple de moyenne puissance Elle convient lorsqu'on cherche essentiellement à supprimer les pénalités et soulager le poste de transformation, [2].

Avantage :

- Supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- Ajuster le besoin réel de l'installation et diminuer puissance apparente mise a disposition.
- Soulager le poste de transformation (une partie de l'énergie réactive est fournie par les condensateurs).

Inconvénient :

- Ce mode de compensation ne soulage pas les installations en aval car la totalité du courant réactif est présente dans les câbles jusqu'aux récepteurs.
- Les pertes par effet joule dans les câbles ne sont pas diminuer.

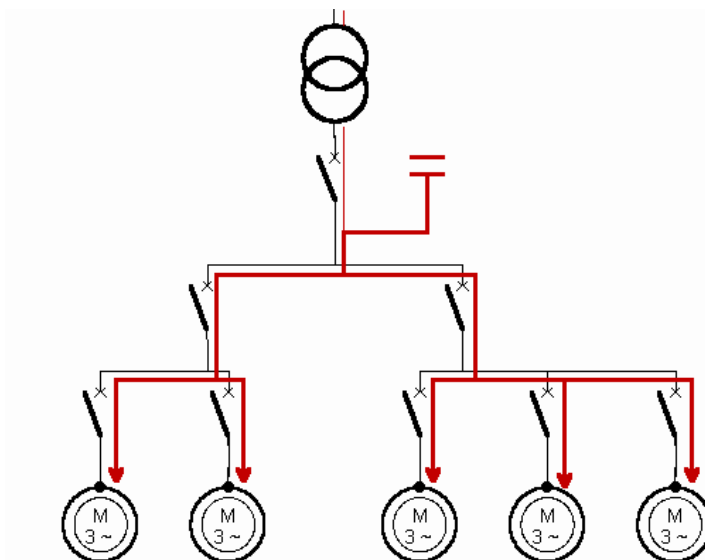


Figure 2.1 : Compensation globale d'une installation électrique

Installation et type de batteries de condensateurs

Compensation partielle :

La compensation partielle de l'énergie réactive est réalisée en connectant la batterie de condensateur au niveau du tableau de distribution intermédiaire (ou au niveau de chaque départ de l'atelier) elle fournit ainsi l'énergie réactive nécessaire par atelier ou par groupe de récepteur. Ce mode de compensation est préconisé pour des installations étendues comportant des ateliers dont les régimes de charge sont différents,[2].

Avantage :

- Soulage les câbles alimentant les différents ateliers à partir du transformateur et permet une réduction de leur section.
- Soulage le poste de transformateur.
- Permet un meilleur dimensionnement que la compensation globale et est adapter pour des ateliers fonctionnent a des régimes de charges différents.
- Réduit la puissance apparente de l'installation par rapport a celle correspondante aux charges installées

Inconvénient :

- Prix plus élevé que pour la compensation globale, nécessite un plus grand investissement.
- Présence de courant réactif en aval du tableau de distribution.

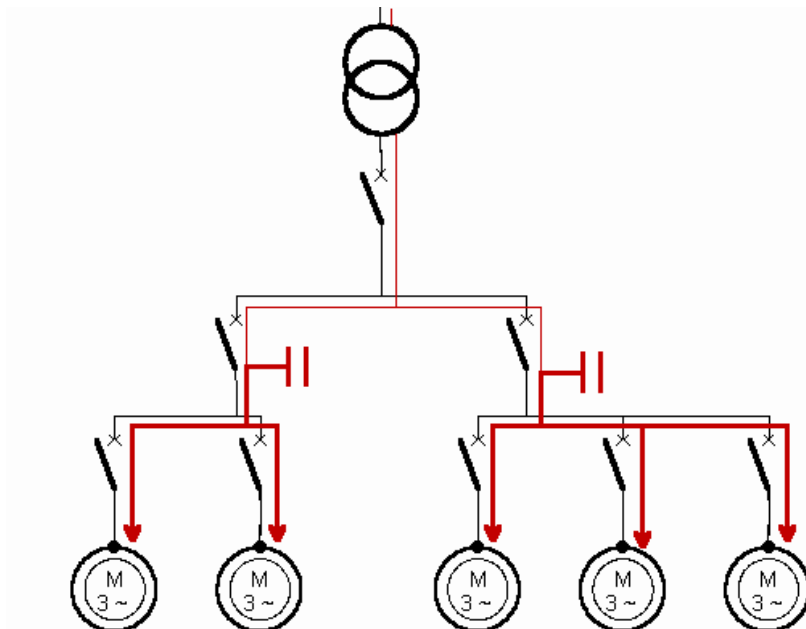


Figure 2.2 : Compensation partielle d'une installation électrique

Installation et type de batteries de condensateurs

Compensation individuelle :

La batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur inductif, et particulièrement des moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, ce type de compensation introduit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée, [2].

Avantage :

- Réduction des pénalités due a la consommation réactive.
- Réduction de la puissance apparente, économie en terme de choix de la PMD.
- Elimination des pertes joules et réduction des sections des câbles.
- Le courant réactif est pratiquement éliminé des câbles de l'installation.
- Optimisation du réseau électrique l'énergie réactive est fournit à l' endroit de sa consommation.

Inconvénient :

- Le nombre des batteries nécessaire pour la réalisation de cette compensation étant élevé cette installation nécessite un très grand investissement financier.

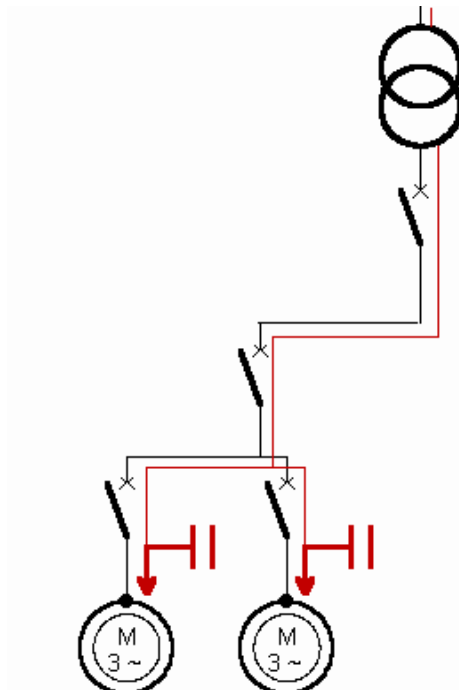


Figure 2.3 : Compensation individuelle d'une installation électrique

Installation et type de batteries de condensateurs

Types de batteries utilisés et accessoires :

La compensation de l'énergie réactive peut se faire en utilisant deux types de batteries de condensateurs.

Condensateur fixe :

Ces condensateurs sont d'une puissance unitaire constante elles sont adaptées aux installations dont la puissance réactive est inférieure à 15% de la puissance apparente nominale.

$$Q < 0.15 * S_n$$

Leurs mise en œuvre peut être manuelle (disjoncteur), Semi automatique (Contacteur) ou directe (Asservissement).

Ces condensateurs sont utilisés dans le cas où les fluctuations de charge est faible principalement ou bornes des récepteurs inductifs, [3].

Condensateur à régulation automatique :

Utilisée lorsque la puissance réactive doit s'adapter aux besoins de la consommation d'énergie réactive de l'installation. La batterie de compensation est alors divisée en plusieurs gradins de puissance contrôlés par un régulateur varométrique.

Les condensateurs à régulation automatiques sont placés au niveau des gros départs et des tableaux généraux, [3].

C) Accessoires accompagnant les batteries de condensateurs :

Différents accessoires accompagnent l'installation des batteries de condensateurs

- Accessoires complémentaires (selfs de décharge, selfs de choc, et anti-harmoniques).
- Protections électriques intégrées (fusibles HPC, protections de déséquilibre...).
- Appareillages de manœuvre (disjoncteurs, interrupteurs, contacteurs...).

Rôle des accessoires Complémentaires :

- **Self de décharge :**
L'installation de selfs de décharge rapide entre les phases de la batterie permet de réduire considérablement le temps de décharge des condensateurs. Cette réduction du temps de décharge apporte :
 - la sécurité pour le personnel lors d'une intervention éventuelle
 - La réduction du temps d'attente avant mise à la terre
 - . La possibilité de réenclencher plus rapidement après coupure

Installation et type de batteries de condensateurs

- **Self de choc :**

Une self de choc est connectée en série par gradin et sert à limiter la pointe de courant qui survient lors des opérations d'enclenchement. La valeur de l'inductance est choisie pour garantir que les courants de crête survenant lors des manœuvres restent toujours inférieurs à un certain multiple du courant nominal de la batterie.

Pointe de courant enclenchement :

L'enclenchement d'une batterie de condensateurs est accompagné d'un régime transitoire en courant et en tension. Une surintensité et une surtension apparaissent, dont l'amplitude et la fréquence dépendent des caractéristiques du réseau amont et du nombre de batteries de condensateurs.

Le courant d'enclenchement maximum prendra la valeur suivant L étant la valeur de l'inductance de la self de choc :

$$I_e = \sqrt{\frac{2}{3}} * U_n * \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Le courant nominal de la batterie étant égale à :

$$I_n = C * w * \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

On aboutit à :

$$\frac{I_e}{I_n} = \sqrt{\frac{2 * S_{CC}}{Q}}$$

- **Self anti-harmonique :**

Dans le cas d'un réseau fortement pollué par les harmoniques, l'installation d'une self anti-harmoniques, triphasée accordée en série avec la batterie de condensateurs, s'avère la seule protection efficace elle permettra d'augmenter l'impédance vis-à-vis des courants harmoniques et de déplacer la fréquence de résonance parallèle de la source et du condensateur, au dessous des principales fréquences des courants harmoniques perturbants.

Rôle des protections électriques :

Le dispositif de protection repose sur l'utilisation d'un film polypropylène métallisé auto cicatrisant ne nécessitant aucune imprégnation de gaz, de liquide ou de gel. Il fonctionne comme suit en cas de présence de court-circuit dans le film diélectrique le fusible fond directement.

Rôle des appareillages de manœuvre :

L'installation d'un contacteur en entrée de batterie, permet son asservissement à un automate ou à un système de régulation (régulateur varmétrique par exemple). Ce contacteur est adapté à la coupure des courants capacitifs, il est généralement à coupure sous vide.

Les interrupteurs et disjoncteurs permettent d'agir manuellement sur la mise sous réseau de notre batterie de compensation.

CHAPITRE III:

Précautions à prendre

Précautions à prendre

Des précautions doivent être prise pour le raccordement d'une batterie de condensateurs au réseau afin d'éviter l'apparition de certains phénomènes pouvant l'endommager parmi ces phénomènes :

1. Auto excitation des moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrones conçus pour entrainer des charges à forte inertie mettent du temps à s'arrêter lorsqu'ils sont freinés.

Dans le cas d'un moteur non compensé. L'« inertie magnétique » du circuit du rotor signifie qu'une f.e.m. est générée dans les enroulements du stator pendant une courte période après la coupure, et devrait s'annuler après 1 ou 2 périodes.

En compensant l'installation et après avoir coupé l'alimentation électrique du moteur les condensateurs constituerons alors une charge réactive pour cette FEM induite, qui fera circuler des courants capacitifs dans les bobinages du stator.

Ces courants statoriques produisent un champ magnétique tournant dans le rotor qui est colinéaire avec le champ magnétique induit entraînant ainsi l'augmentation du flux rotorique, des courants statoriques ainsi que de la tension aux bornes du moteur jusqu'à atteindre des valeurs de tension élevées et dangereuses. Ce phénomène est connu sous l'appellation de « autoexcitation ».

La batterie de condensateurs doit avoir une puissance inférieure à la puissance nécessaire à l'auto-excitation du moteur. A défaut, il doit être prévu, dans l'appareillage de commande des condensateurs, une coupure évitant cette auto-excitation, [4].

2. Harmoniques

Lors du placement d'une batterie de condensateurs, il faut effectuer une vérification de la présence d'harmoniques dans l'installation: celles-ci peuvent endommager les batteries de condensateurs et provoquer des surtensions dangereuses pour l'installation. Elles peuvent être à l'origine du "claquage des condensateurs".

Les harmoniques sont présentes dans les systèmes utilisant des redresseurs. On en trouve dans les systèmes d'alimentation des salles informatiques, par exemple.

Chapitre IV:

Etude de cas

Etude de cas

L'UP6 puise son énergie électrique de deux sources 10kV. Elle est liée à la SONELGAZ par deux contrats de facturation : le **0456** concernant le poste 428 (qui sera désigné dans l'étude par « source 1 ») et le **4012** concernant la source 1016 (et qui sera désigné dans l'étude par « source 2 »).

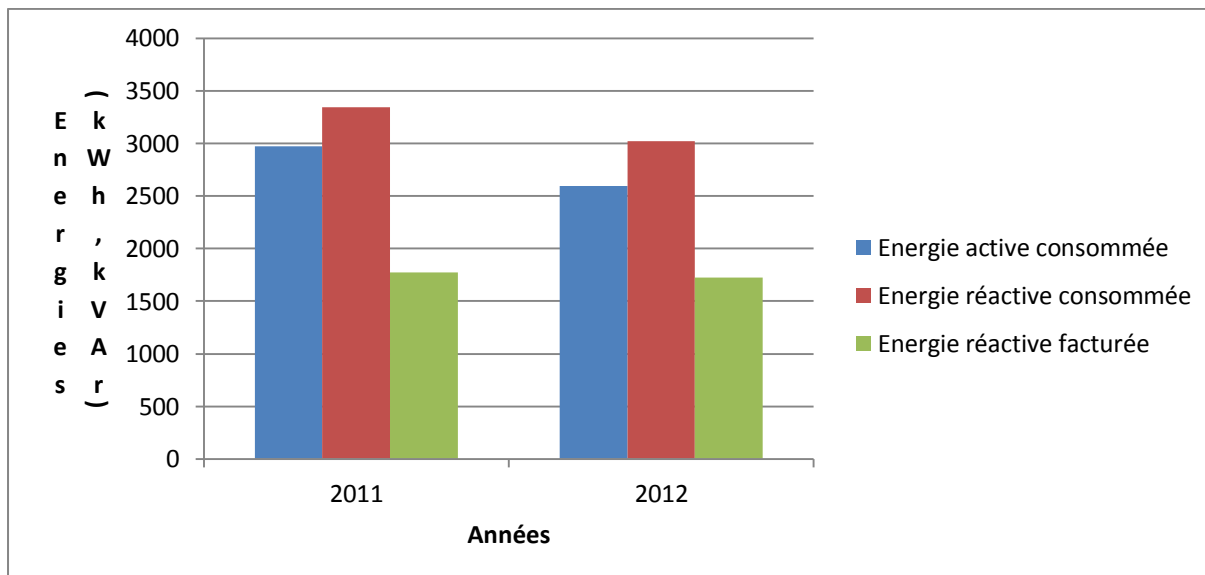


Figure 4.1: Energie active et réactive consommées par la source1 durant les années 2011 et 2012

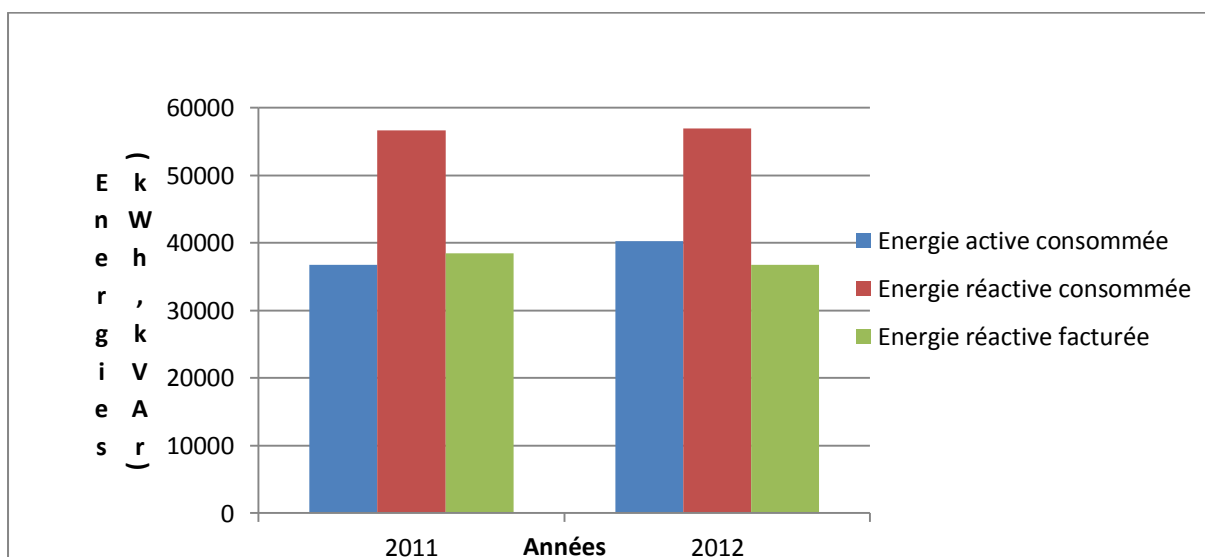


Figure 4.2: Energie active et réactive consommées par la source2 durant les années 2011 et 2012

Etude de cas

L'énergie fournie par Sonelgaz est normalement accompagnée d'une quantité d'énergie réactive pouvant aller jusqu'au 50% de l'énergie active. L'excédent de consommation est facturé à l'abonné selon le tarif en vigueur appliqué.

Mais comme le bonus appliqué par SONELGAZ correspond au $\frac{1}{5}$ du coût du kVARh, il est conseillé d'obtenir un facteur de puissance égal à 0,91.

En effet, l'obtention d'un facteur de puissance supérieur à 0,91 nécessite un investissement plus important et vu le prix auquel est bonifiée la compensation d'énergie réactive, le retour sur investissement est très long et n'incite pas à consentir des investissements supplémentaires.[5]

Pour vérifier l'intérêt d'un tel investissement nous avons réalisé une simulation du coût annuel de la facture électrique pour le mois de février de l'année 2011 avec un facteur de puissance égale à 0,91, celui-ci est présentée dans le tableau suivant :

Source 1 :

Consommation Février 2011	Unité	Évaluation du coût de la facture électrique	Évaluation du coût de la facture électrique avec $\text{Cos}\varphi = 0.91$
H. creuses	kWh	72058	72058
H. de pointe	kWh	42025	42025
H. pleines	kWh	131874	131874
Total active	kWh	245957	245957
Puissance réactive retenue	kVARh	412077	112060
$\tan \varphi$		1.67	0,4556
$\text{Cos}\varphi$		0.512	0,9100
Puissance réactive Facturée	kVARh	289098	-10918.5
PMA	kW	1500	1500
PMD	kW	640	640
Coût			
Prix total puissance active	DA	579811,309	579811,309
Prix total puissance réactive	DA	109683,78	-827.62
Gains	DA	0	110511,4

Tableau 4.1 : Évaluation du coût de la facture électrique avec un $\text{Cos}\varphi = 0,91$ pour le mois de février 2011.

Etude de cas

Les pertes financières dues au mauvais facteur de puissance sont évaluées à plus de **109 683,78DA** par mois, voir le tableau ci-dessus. L'UP6 était équipée de dix (10) batteries de condensateurs identiques hors d'usage nous recommandant l'installation de batteries de condensateur afin d'augmenter le cos phi de cette installation cette augmentation permettra a l'entreprise de réaliser des économies financières qui se présentent sous trois formes : absence de pénalités pour le facteur de puissance, une bonification et la réduction des pertes d'énergie.

4.5 Puissance des batteries de condensateurs nécessaire pour augmenter le Cosφ à 0,91 :

La consommation de l'énergie réactive varie dans le temps du fait des variations de la charge des moteurs, il faut donc estimer la puissance réactive moyenne à fournir Q_c :

$$Q_c = P_a [\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2]$$

Le calcul de la puissance des batteries de condensateurs sera effectué en fonction de :

➤ La puissance moyenne de l'installation : P_a

$$P_a = \frac{W}{t} \begin{cases} P_a: \text{Puissance active en kW} \\ W: \text{Energie active en kWh} \\ t: \text{Temps en heures(h)} \end{cases}$$

Tangente de l'angle de déphasage de l'installation avant compensation : $\text{tg}\varphi_1$;

Tangente de l'angle de déphasage après l'installation de la batterie de condensateurs $\text{tg}\varphi_2=0,4556$.

$$P_a = \frac{245957}{28 * 24} = 366kW$$

$$Q_c = 366 * (1.67 - 0.4556) = 444.47kVAr$$

5.2 Calcul du temps de retour sur investissement :

L'installation d'une batterie de condensateur **Varset** de 450kVAr à régulation automatique accompagnée de son disjoncteur et de son armoire de marque **SCHNEIDER** est estimée à 2.5 million de dinars (**2 500 000 Da**).

Le gain annuel avec l'installation de cette batterie de condensateurs est de **1326136,8 Da**.

Le temps de retour de l'investissement sera donc de **24 mois**, [5].

Etude de cas

Source2 :

Consommation Aout 2012	Unité	Évaluation du coût de la facture électrique	Évaluation du coût de la facture électrique avec Cos $\varphi = 0.91$
H. Jour	kWh	3317	3317
H. Nuit	kWh	1196	1196
Total active	kWh	4513	4513
Réactive retenue	kVArh	6627	2056.12
tg φ		1.46	0,4556
Cos φ		0.56	0,9100
Réactive Facturée	kVArh	4370	-200.37
PMA	kW	10	10
PMD	kW	120	120
Coût			
Total active	DA	12859,5832	12859,5832
Total Réactive	DA	1657,98	15.20
Gains	DA	0	1673.18

Tableau 4.2 : Évaluation du coût de la facture électrique avec un Cos $\varphi = 0,91$ pour le mois de mars 2012.

Les Pertes financières dues au mauvais facteur de puissance sont évaluées à **1673,18 DA** par mois.

Détermination de la puissance des batteries de condensateurs nécessaire pour augmenter le Cos φ à 0,91 :

$$P_a = \frac{4513}{30 \times 24} = 6.26 \text{ kW}$$

$$Q_C = 6.26 * (1.46 - 0.4556) = 6.29 \text{ kVAr}$$

Calcul du temps de retour sur investissement :

Il n'est pas nécessaire de compenser l'énergie réactive pour cette source.

Conclusion Générale

Lors de ce travail nous nous sommes intéressés à l'impacte qu'avait une surconsommation d'énergie réactive sur le consommateur de part les pénalités encourues ainsi que l'usure des installations.

Puis nous nous sommes dirigés vers la réduction de cette consommation par l'installation de batteries de condensateurs, les types d'installations ainsi que les précautions à prendre.

Pour finir nous avons effectué une étude de cas au sein de l'entreprise SAFIA filiale des COGRAL où un audit énergétique a été effectué et une compensation de l'énergie réactive a été proposée après l'analyse de la facturation et son évaluation avec un $\cos \varphi = 0.91$.

Grace à cette étude nous avons pu juger la place qu'occupe le facteur de puissance au sein des industries. Le bon fonctionnement, les pénalités financières ainsi que la durée de vie des équipements étant directement affecté par sa valeur les industrielles se doivent de réaliser une bonne compensation d'énergie réactive afin de s'assurer une rentabilité financière.

Bibliographie

- [1] APRUE rapport d'audit UP4 COGRAL, 2002.
- [2] Schneider Electric, Guide de la compensation d'énergie réactive et du filtrage des harmonique n°6,2001.
- [3] Schneider Electric, Guide de l'installation électrique chapitre L ,2010.
- [4] <http://www.energieplus-lesite.be>
- [5] KHEDER Nazim, LADJAL Lokman «Analyse de la qualité de l'Énergie Électrique-étude de cas » PFE de l'Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2013.