

## Méthode de compensation de l'énergie réactive d'une installation industrielle: Application à l'entreprise CONGO OIL dans la ville de Boma, en RD Congo

### [ Compensation method for the reactive energy of an industrial installation: Application to the CONGO OIL company in the city of Boma, DR Congo ]

Ready Khiekie Ngembo

Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Lukula à Boma, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The electrical energy supplied to industrial consists of an active (useful) part used to transform electrical energy into another form of energy (mechanical, thermal, ...) and a reactive part necessary for magnetic and capacitive uses. The main concern here is to produce reactive energy in the industrial plant of Congo-Oil company in order to minimize the power passed through the pipes and the load rate of the electrical power supply (transformer). This article proposes a reliable mathematical method to be used to compensate reactive electrical energy in an industrial enterprise with bad power factor. We find that the demand power ( $S$ ) and the load ratio ( $T_x$ ) of the transformer are inversely proportional to the power factor. Also, the reactive energy ( $Q_c$ ) to be produced tends towards zero when the power factor progressively tends towards the unit. This method compensation allowed us to reduce the apparent power and the transformer load rate by approximately thirteen percent. ( $\approx 13\%$ ).

**KEYWORDS:** method, compensation, reactive energy, industrial plant, company.

**RESUME:** L'énergie électrique fournie aux consommateurs industriels se compose d'une partie active (utile) servant à la transformation de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (mécanique, thermique, ...) et d'une partie réactive nécessaire aux usages magnétiques et capacitifs. La grande préoccupation ici est de produire de l'énergie réactive dans l'installation industrielle de l'entreprise Congo-Oil afin de minimiser la puissance transitée dans les canalisations et le taux de charge de la source d'alimentation d'énergie électrique (transformateur). Cet article propose une méthode mathématique fiable à utiliser pour compenser l'énergie électrique réactive dans une entreprise industrielle à mauvais facteur de puissance. Nous constatons que la puissance demandée ( $S$ ) et le taux de charge ( $T_x$ ) du transformateur sont inversement proportionnels au facteur de puissance ( $\cos\varphi$ ). Aussi, l'énergie réactive ( $Q_c$ ) à produire tend vers zéro quand le facteur de puissance tend progressivement vers l'unité. Cette méthode de compensation nous a permis une réduction de puissance apparente et du taux de charge du transformateur d'environ treize pourcent ( $\approx 13\%$ ).

**MOTS-CLEFS:** méthode, compensation, énergie réactive, installation industrielle, entreprise.

## 1 INTRODUCTION

Les équipements consommateurs d'énergie réactive comme les moteurs qui inondent la quasi-totalité de récepteurs de l'entreprise CONGO OIL de la ville de Boma en République Démocratique du Congo, affectent le facteur de puissance globale de l'installation.

L'objectif de la compensation d'énergie réactive est alors d'améliorer la qualité du système énergétique grâce à l'amélioration du facteur de puissance global proche de l'unité [1], [2]. Il nous revient à nous poser les questions suivantes: *Quelle est la valeur de batterie de condensateur à choisir afin de ramener le facteur de puissance de la valeur proche de l'unité ? De plus, à quels endroits placer ces batteries de condensateur ?*

Toutes ces questions nous amènent à proposer la méthode analytique ci-après pour rationaliser la compensation de l'énergie réactive où les aspects électrique et économique du problème sont pris en considération.

## 2 CONCEPTS FONDAMENTAUX

### 2.1 DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE D'UNE INSTALLATION

Connaissant le coefficient d'utilisation ( $k_u$ ) et le facteur de simultanéité ( $k_s$ ), la puissance d'une installation ( $P$ ) est donc la somme pondérée des puissances électriques de chaque récepteur constituant l'installation [3]:

$$P = k_s \sum k_{ui} P_i \quad (1)$$

Où:

- $P_i$ : Puissance nominale du récepteur  $i$ , en watt;
- $k_{ui}$ : Coefficient d'utilisation du récepteur  $i$ ;
- $k_s$ : Facteur de simultanéité d'un groupe de circuit.

La puissance électrique  $P_{\text{él}}$  (en Watt) est le rapport de la puissance nominale ( $P_n$ ) d'un moteur (puissance disponible sur l'arbre) et de rendement du moteur ( $\eta$ ).

$$P_{\text{él}} = \frac{P_n}{\eta} \quad (2)$$

La puissance électrique réactive  $Q_{\text{él}}$  (en Volt – Ampère Réactive) est le produit de la puissance électrique par la tangente de l'angle  $\varphi$  (l'angle du facteur de puissance du moteur).

$$Q_{\text{él}} = P_{\text{él}} \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

### 2.2 CALCUL DE FACTEUR DE PUISSANCE

Le facteur de puissance (FP) permet d'évaluer la consommation ou l'apport en puissance réactive de l'élément mis en jeu. Pour une source sinusoïdale alternative, il est égal au cosinus de l'angle  $\varphi$ . [4]

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Où:

- $P$  et  $S$ : respectivement la puissance active et la puissance apparente;
- $\cos \varphi$ : cosinus de l'angle formé entre la puissance complexe et la puissance active.

Et la puissance apparente  $S$  (en Volt – Ampère) est [5]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (5)$$

En absence des récepteurs générateurs des harmoniques, la puissance déformante est nulle ( $D \cong 0$ ).

La puissance apparente  $S_2$  pour un facteur de puissance souhaité  $\cos \varphi_2$  vaut:

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad (6)$$

Le taux de charge d'un transformateur est déterminé par:

$$T_{x2}(\%) = \frac{S_2}{S_n (\text{Tfo})} * 100 \quad (7)$$

### 2.3 CALCUL DE LA PUISSANCE RÉACTIVE $Q_C$ NÉCESSAIRE À PRODUIRE

Connaissant la valeur de  $\operatorname{tg} \varphi_1$  et de  $\operatorname{tg} \varphi_2$  respectivement avant et après compensation, la puissance réactive  $Q_C$  nécessaire à produire vaut [4]:

$$Q_c = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (8)$$

## 2.4 DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ ET DE LA ZONE D'IMPLANTATION DES CONDENSATEURS

La capacité des condensateurs en triphasé pour un couplage triangle ( $C_\Delta$ ) est déterminée par la relation [4], [5]:

$$C_\Delta = \frac{Q_c}{3\omega U^2} \quad (9)$$

La zone d'implantation est fixée en fonction de l'architecture de l'installation, et de l'emplacement la puissance des récepteurs consommateurs d'énergie réactive. Ainsi, trois (3) sortes de compensation sont envisageables: *Compensation Globale (CG)*, *Compensation Sectorielle (CS)* et *compensation individuelle (CI)*.

## 2.5 DÉTERMINATION DU MODE DE COMPENSATION

Le choix du mode de compensation peut se faire par le calcul du rapport suivant [4]:

$$Rapport(\%) = \frac{Q_c}{S_T} * 100 \quad (10)$$

Où:

- $Q_c$ : Puissance active à produire pour compenser
- $S_T$ : Puissance apparente totale de l'installation

**Tableau 1.** Détermination du de Compensation d'énergie réactive [4]

Rapport	$(Q_c/S_T)$	
Plage	$\leq 15 \%$	$< 15 \%$
Mode de compensation	Fixe	Automatique

## 2.6 DÉTERMINATION DU TYPE DE BATTERIE DES CONDENSATEURS (SUIVANT LE NIVEAU D'HARMONIQUE)

En fonction du niveau des harmoniques, la détermination du type de batterie de condensateur se calcule par [4]:

$$D_p(\%) = \frac{S_H}{S_T} * 100 \quad (11)$$

Où:

- $D_p$ : Degré de pollution des harmoniques;
- $S_H$ : puissance totale de charges génératrices d'harmoniques;
- $S_T$ : Puissance apparente totale de l'installation.

**Tableau 2.** Détermination du type de batterie en fonction des harmoniques [4]

Plage	Degré de pollution ( $Dp = S_H/S_n$ )				
	$Dp \leq 15\%$	$15\% \leq Dp < 25\%$	$25\% \leq Dp < 35\%$	$35\% \leq Dp < 50\%$	$Dp > 50\%$
Condensateur du Type	S	H	SAH	SAH-R	FH

## 3 MATERIELS ET METHODES

### 3.1 MATÉRIELS

Pour aboutir aux résultats de notre étude, nous avons fait recours au logiciel **Matlab** et au tableur **Excel**.

### 3.2 MÉTHODES

#### 3.2.1 COLLECTES DES DONNÉES

L'entreprise Congo-oil est équipée d'un transformateur de puissance de **630kVA** (15kV/0.4kV), de marque **MIADENOVAC** et de Type **TP 1032 630** qui alimente les différents récepteurs présents dans les ateliers et services (*Ateliers Plastique, Savonnerie, Huilerie, Mécanique et Services de Menuiserie, de Maintenance et Administratif*) et dont les caractéristiques sont repris dans le tableau 3.

**Tableau 3. Les puissances totales installées des ateliers & services**

N°	1. ATELIER PLASTIQUE				2. ATELIER SAVONNERIE				
	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	
1	MAT (Pn=27kW, N=1478 tr/min)	8	27	216	MAT (Pn=20kW, N=1475tr/min)	2	20	40	
2	Agitateurs	2	10	20	Agitateurs	4	7	28	
3	Formeurs	6	4	24	Tables à coupeuse	3	2	6	
4	Eclairages internes (tubes 40W)	10	0,04	0,4	Formeurs	3	4	12	
5	Eclairages (lampes à décharges)	4	0,4	1,6	Eclairages internes (tubes 40W)	9	0,04	0,36	
6	Prises avec terre	4	0,3	1,2	Prises avec terre	4	0,15	0,6	
7	Prises avec terre	3	0,15	0,45					
<b>Total 1</b>				263,65	<b>Total 2</b>				86,96
N°	3. ATELIER HUILERIE				4. SALLE DE SERVICE MECANIQUE				
	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	
1	MAT (Pn=35W; N=1476tr/min)	7	35	245	Tour parallèle Demoor	2	5	10	
2	Pompes de filtrage	3	5	15	Etau limeur	1	4	4	
3	Evacuateurs d'huile	3	20	60	Foreuse sensitive	1	3	3	
4	Eclairages internes (tubes 40W)	10	0,04	0,4	Raboteuse en acier	1	3	3	
5	Prises avec terre	4	0,15	0,6	Meuleuses	2	2	4	
6					Perceuse	1	1,5	1,5	
7					Eclairages internes (tubes 40W)	10	0,04	0,4	
8					Prises avec terre	4	0,3	1,2	
<b>Total 3</b>				321	<b>Total 4</b>				27,1
N°	5. SALLE DE SERVICE MENUISERIE				6. LA CHAUDRONNERIE				
	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)	
1	Raboteuse	1	5	5	Tapit roulant de 2 tonnes	1	10	10	
2	Scie circulaire	1	4	4	Tapit roulant de 3 tonnes	1	12	12	
3	Scie ruban	1	13	13	Four à cuisson	1	20	20	
4	Tour parallèle en bois	1	0,6	0,6	Marteau pilon	1	8	8	
5	Eclairages externes (E40)	4	0,4	1,6	Eclairages internes (tubes 40W)	12	0,04	0,48	
6	Eclairages internes (tubes 40W)	8	0,04	0,32					
7	Prises avec terre	4	0,15	0,6					
<b>Total 5</b>				25,12	<b>Total 6</b>				50,48
N°	7. SERVICE ADMINISTRATIF				SERVICE /ATELIER				
	Equipements	Qté	Pn (kW)	Pit (kW)				Pit (kW)	
1	Climatiseurs	8	2	16	ATELIER PLASTIQUE			263,65	
2	Réfrigérateurs	4	0,35	1,4	ATELIER SAVONNERIE			86,96	
3	Eclairages internes (tubes)	24	0,04	0,96	ATELIER HUILERIE			321	
4	Eclairages externes (tubes)	8	0,04	0,32	SERVICE MECANIQUE			27,1	
5	Eclairage enclot (E40)	8	0,4	3,2	SERVICE MENUISERIE			25,12	
6	Prises avec terre	24	0,15	3,6	SERVICE CHAUDRONNERIE			50,48	
<b>Total 7</b>				25,48	<b>TOTAL</b>				<b>799,79</b>

La puissance totale utile installée au Congo Oil est évaluée à 799.79 kW soit 800 kW.

### 3.2.2 MÉTHODES DE CALCUL

Nous utiliserons la méthode de triangle de puissance pour la détermination de l'énergie réactive  $Q_c$  à produire, et en déduire la capacité de condensateurs à installer. D'abord nous déterminons les puissances électriques actives  $P_{\acute{e}l}$  et réactives  $Q_{\acute{e}l}$  de chaque atelier et service, et des puissances installées actives  $P_{\acute{e}l1}$  et réactives  $Q_{\acute{e}l1}$  en appliquant le facteur d'utilisation  $k_u$ .

1°). Atelier plastique:

**Tableau 4.** Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de l'Atelier plastique

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	MAT (Pn=27kW, N=1478 tr/min)	216	0,89	0,86	0,51	0,593	242,7	144	0,75	182	108
2	Agitateurs	20	0,86	0,85	0,527	0,62	23,256	14,41	0,8	18,6	11,53
3	Formeurs	24	0,82	0,8	0,6	0,75	29,268	21,95	0,8	23,4	17,56
4	Eclairages internes (tubes 40W)	0,5	1	0,86	0,51	0,593	0,5	0,297	1	0,5	0,297
5	Eclairages (lampes à décharges)	1,6	1	0,86	0,51	0,593	1,6	0,949	1	1,6	0,949
6	Prises avec terre	1,2	1	0,8	0,6	0,75	1,2	0,9	1	1,2	0,9
7	Prises avec terre	0,45	1	0,8	0,6	0,75	0,45	0,338	1	0,45	0,338
<b>Total 1</b>		263,75									

2°). Atelier Savonnerie:

**Tableau 5.** Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de l'Atelier Savonnerie

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	MAT (Pn=20kW, N=1475tr/min)	40	0,85	0,86	0,51	0,593	47,059	27,92	0,75	35,3	20,94
2	Agitateurs	28	0,89	0,83	0,558	0,672	31,461	21,14	0,8	25,2	16,91
3	Tables à coupeuse	6	0,79	0,8	0,6	0,75	7,5949	5,696	0,8	6,08	4,557
4	Formeurs	15	0,82	0,8	0,6	0,75	18,293	13,72	0,8	14,6	10,98
5	Eclairages internes (tubes 40W)	0,45	1	0,86	0,51	0,593	0,45	0,267	1	0,45	0,267
6	Prises avec terre	0,6	1	0,8	0,6	0,75	0,6	0,45	1	0,6	0,45
<b>Total 2</b>		90,05									

3°). Atelier huilerie:

**Tableau 6.** Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de l'Atelier huilerie

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	MAT (Pn=35W; N=1476tr/min)	245	0,9	0,86	0,51	0,593	272,22	161,5	0,75	204	121,1
2	Pompes de filtrage	15	0,84	0,83	0,558	0,672	17,857	12	0,8	14,3	9,6
3	Evacuateurs d'huile	60	0,89	0,86	0,51	0,593	67,416	40	0,8	53,9	32
4	Eclairages internes (tubes 40W)	0,5	1	0,86	0,51	0,593	0,5	0,297	1	0,5	0,297
5	Prises avec terre	0,75	1	0,8	0,6	0,75	0,75	0,563	1	0,75	0,563
<b>Total 3</b>		321,25									

4°). *Service mécanique:*

Tableau 7. Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de la salle de service mécanique

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	Tour parallèle Demoor	10	0,84	0,83	0,558	0,672	11,905	8	0,8	9,52	6,4
2	Etau limeur	4	0,82	0,8	0,6	0,75	4,878	3,659	0,8	3,9	2,927
3	Foreuse sensitive	3	0,81	0,8	0,6	0,75	3,7037	2,778	0,8	2,96	2,222
4	Raboteuse en acier	3	0,81	0,8	0,6	0,75	3,7037	2,778	0,8	2,96	2,222
5	Meuleuses	4	0,79	0,8	0,6	0,75	5,0633	3,798	0,8	4,05	3,038
6	Perceuse	1,5	0,78	0,8	0,6	0,75	1,9231	1,442	0,8	1,54	1,154
7	Eclairages internes (tubes 40W)	0,5	1	0,86	0,51	0,593	0,5	0,297	1	0,5	0,297
8	Prises avec terre	1,2	1	0,8	0,6	0,75	1,2	0,9	1	1,2	0,9
<b>Total 4</b>		27,2									

5°). *Service mécanique:*

Tableau 8. Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de la salle de service menuiserie

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	Raboteuse	5	0,84	0,83	0,558	0,672	5,9524	4	0,8	4,76	3,2
2	Scie circulaire	4	0,82	0,8	0,6	0,75	4,878	3,659	0,8	3,9	2,927
3	Scie ruban	13	0,87	0,86	0,51	0,593	14,943	8,866	0,8	12	7,093
4	Tour parallèle en bois	0,6	0,64	0,73	0,683	0,936	0,9375	0,878	0,8	0,75	0,702
5	Eclairages externes (E40)	1,6	1	0,86	0,51	0,593	1,6	0,949	1	1,6	0,949
6	Eclairages internes (tubes 40W)	0,4	1	0,86	0,51	0,593	0,4	0,237	1	0,4	0,237
7	Prises avec terre	0,6	1	0,8	0,6	0,75	0,6	0,45	1	0,6	0,45
<b>Total 5</b>		25,2									

6°). *Service chaudronnerie:*

Tableau 9. Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de la salle de service chaudronnerie

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\operatorname{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	Tapit roulant de 2 tonnes	10	0,86	0,85	0,527	0,62	11,628	7,206	0,8	9,3	5,765
2	Tapit roulant de 3 tonnes	12	0,87	0,86	0,51	0,593	13,793	8,184	0,8	11	6,547
3	Four à cuisson	20	0,89	0,86	0,51	0,593	22,472	13,33	1	22,5	13,33
4	Marteau pilon	10	0,85	0,83	0,558	0,672	11,765	7,906	0,8	9,41	6,325
5	Eclairages internes (tubes 40W)	0,6	1	0,86	0,51	0,593	0,6	0,356	1	0,6	0,356
<b>Total 6</b>		52,6									

7°). *Service administratif:*

**Tableau 10.** Calcul des puissances  $P_{\acute{e}l1}$  et  $Q_{\acute{e}l1}$  de la salle de service administratif

N°	Equipements	Pit* (kW)	$\eta$	$\cos\psi$	$\sin\psi$	$\text{tg}\psi$	Pél	Qél	ku	Pél1	Qél1
1	Climatiseurs	16	0,79	0,8	0,6	0,75	20,253	15,19	1	20,3	15,19
2	Réfrigérateurs	1,4	0,64	0,73	0,683	0,936	2,1875	2,048	1	2,19	2,048
3	Eclairages internes (tubes)	1,2	1	0,86	0,51	0,593	1,2	0,712	1	1,2	0,712
4	Eclairages externes (tubes)	0,4	1	0,86	0,51	0,593	0,4	0,237	1	0,4	0,237
5	Eclairage enclot (E40)	3,2	1	0,86	0,51	0,593	3,2	1,899	1	3,2	1,899
6	Prises avec terre	3,6	1	0,8	0,6	0,75	3,6	2,7	1	3,6	2,7
<b>Total 7</b>		25,8									

En utilisant la relation (1) et en appliquant le facteur de simultanéité ( $k_s$ ), nous trouvons les puissances  $P, Q, S$  et le facteur de puissance  $\cos\phi$  globale. (Voir tableau 9).

**Tableau 11.** Calcul des puissances globales  $P, Q$  et  $S$  des ateliers & services

N°	ATELIERS/SERVICES	Pél3	Qél3	ks3	Pél4	Qél4	ks4	P	Q	S	cosphi
1	PLASTIQUE	123,21	75,41	0,9	150,86	94,15	0,9	314,66	196,91	371,2	0,85
2	SAVONNERIE	44,41	29,20								
3	HUILERIE	147,76	88,32	0,8	175,82	107,78					
4	MECANIQUE	16,51	11,85								
5	MENUISERIE	17,36	11,22								
6	CHAUDRONNERIE	38,14	23,34								
7	ADMINISTRATIF	22,94	16,86	1	22,94	16,86					

## 4 RESULTATS & DISCUSSIONS

### 4.1 RÉSULTATS ALGÈBRIQUES

A partir du tableau 11, on a:  $P = 314,66$  [kVA] et  $Q = 196,91$  [kVAR], la puissance apparente avant compensation égale à:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(314,66)^2 + (196,91)^2} = 371,19 \text{ [kVA]}$$

Le facteur de puissance  $FP = \cos\phi_1$  égale à:

$$\cos\phi_1 = \frac{P}{S} = 0,847 = 0,85$$

Et le taux de charge pour transformateur de puissance ( $S_n = 630$  [kVA]) vaut:

$$T_{x1}(\%) = \frac{S_1}{S_n} * 100 = \frac{314,66}{630} * 100 = 58,9$$

En fixant la valeur du facteur de puissance  $FP$  désiré à  $\cos\phi_2 = 0,98$ , la nouvelle puissance apparente est:

$$S_2 = \frac{P}{\cos\phi_2} = \frac{314,66}{0,98} = 321,08 \text{ [kVA]}$$

Alors le nouveau taux de charge est:

$$T_{x2}(\%) = \frac{S_2}{S_n (Tfo)} * 100 = \frac{321,08}{630} * 100 = 50,96$$

La puissance  $Q_c$  nécessaire à produire pour compenser l'énergie réactive est:

$$Q_c = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) = 314,66 * (0,626 - 0,203) = 133,02 [kVAR]$$

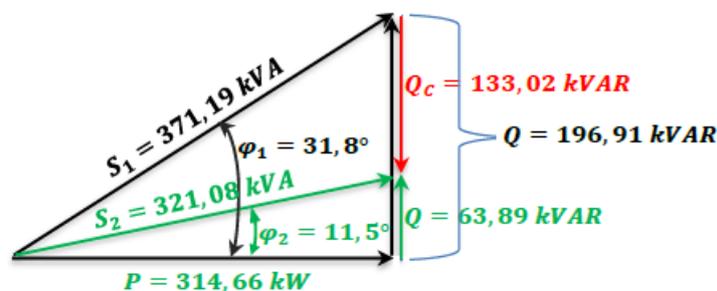


Fig. 1. Triangle de puissance avant et après compensation

La capacité des condensateurs en triphasé couplage triangle ( $C_{\Delta}$ ) est:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{3\omega U^2} = \frac{133,02 * 10^3}{3 * 2\pi * 50 * (380)^2} = 0,9774 [mF]$$

Le choix du mode de compensation se détermine par la relation:

$$\frac{Q_c}{S_n} (\%) = \frac{133,02 * 10^3}{371,19 * 10^3} * 100 = 0,36 \geq 0,15 \Rightarrow \text{Compensation AUTOMATIQUE}$$

**N.B.:** La réduction de puissance apparente et de taux de charge d'environ 13%.

#### 4.2 RÉSULTATS SIMULÉS

La puissance apparente  $S$  et de taux de charge  $T_x$  en fonction du  $\cos\varphi$  global:

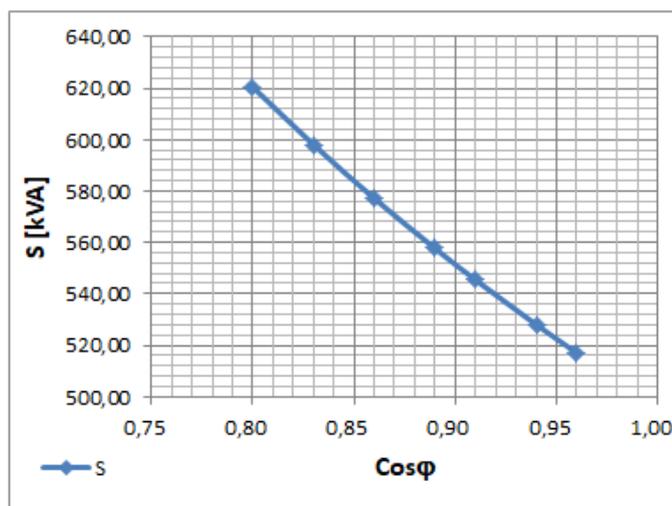


Fig. 2. Puissance  $S$  en fonction de  $\cos\varphi$

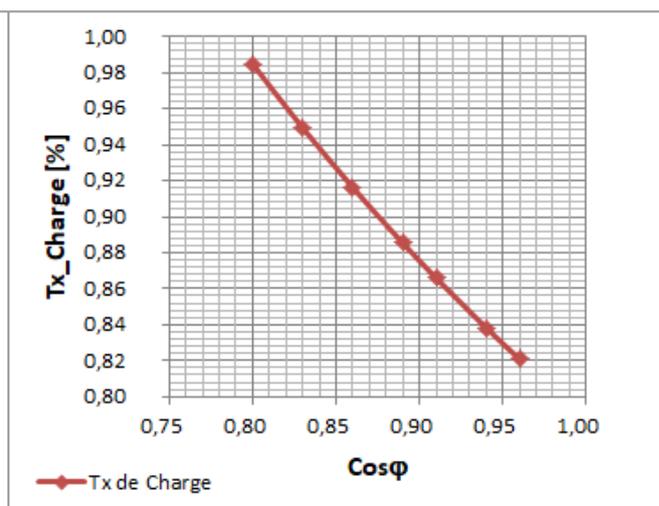


Fig. 3. Taux de charge  $T_x$  en fonction de  $\cos\varphi$

La puissance réactive à produire  $Q_c$  en fonction  $\cos\varphi$  global et du  $\tan\varphi$  global:

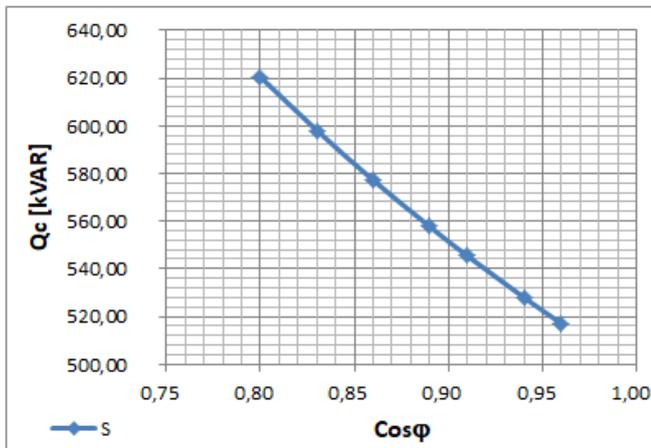


Fig. 4. Puissance  $Q_c$  en fonction de  $\cos\varphi$

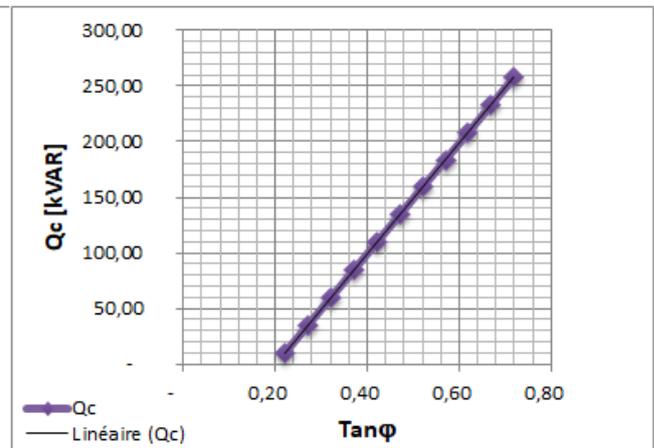


Fig. 5. Puissance  $Q_c$  en fonction de  $\tan\varphi$

La capacité des condensateurs  $C_\Delta$  à installer en fonction de la puissance  $Q_c$  à produire est:

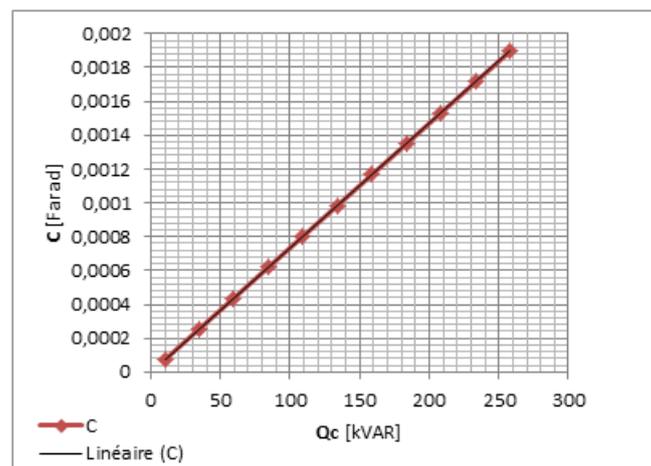


Fig. 6. Capacité des condensateurs  $C_\Delta$  en fonction de la Puissance  $Q_c$

### 4.3 DISCUSSION

La puissance apparente  $S$ , le taux de charge  $T_x$  (%) et l'énergie réactive  $Q_c$  à produire pour la compensation sont fonction du facteur de puissance global  $\cos\varphi$ .

- Le facteur de puissance  $\cos\varphi$  est inversement proportionnel à la puissance demandée  $S$  et au taux de charge  $T_x$  (%) comme illustré sur les figures 2 et 3.
- L'énergie réactive  $Q_c$  à produire décroît en fonction que le facteur de puissance  $\cos\varphi$  de l'installation croît (vers l'unité) ou lorsque la  $\tan\varphi$  décroît tel que illustré sur les figures 4 et 5.
- La capacité de condensateur  $C_\Delta$  à installer croît (décroît) linéairement quand l'énergie réactive à produire  $Q_c$  croît (décroît) comme illustré la figure 5.

### 5 CONCLUSION

La méthode que nous avons utilisée propose une approche mathématique fiable de compensation de l'énergie réactive d'une installation industrielle à faible facteur de puissance équipée d'un poste électrique. Ces résultats obtenus grâce aux outils Matlab et

Microsoft Excel ont permis de réduire jusqu'à près de treize pourcent le taux de charge du transformateur et la puissance apparente appelée aux récepteurs de l'installation de l'entreprise.

#### **REFERENCES**

- [1] LIUDVINAVIČIUS, Lioginas. The methods of reactive power compensation in the 25 kv, 50 hz contact network. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Railway Transport, J. Basanavičius str. 28, LT-03224 Vilnius, Lithuania. Mars 2017.
- [2] OSAMA, A. Al-Naseem; AHMAD, Kh. Adi. Impact of Power Factor Correction on the Electrical Distribution Network of Kuwait – A Case Study. OJPEE - Volume (2), Number (1), Reference Number: W10-0030. January 2011.
- [3] Schneider Electric. Guide de l'installation électrique 2010, Règles générales de conception d'une Installation électrique.
- [4] Legrand Catalogue. Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques. P0910ALPESFR- EX210027 - Mars 2010.
- [5] Cahiers techniques Scheider N° CT189, N° CT199.
- [6] OUMAIMA, Abdallaoui Maane; HALA, Naoui Khir. Amélioration des performances du réseau Basse Tension. Projet RADEEF, juin 2018.
- [7] BISIY, Antoine Bel. Optimisation de compensation de l'énergie réactive. Mémoire, Octobre 2020.
- [8] FAZAL M; WALEED Raza M and KHAN S. Reactive Power Compensation by Power Capacitor Method. Eng Technol Open Acc, 2018.

## ANNEXE 1.

## Script Matlab : Solution de compensation de réactive Qc

```

=====
== COMPENSATION_ENERGIE_REACTIVE_INSTALLATION_INDUSTRIELLE_BT ==
=====
Energie active Pd(kW) = 314.66 ; Energie réactive Q1(kVAR) = 196.91
Puissance Tfo Sn(kVA) = 630
Calcul S1 = (Pd.^2 + Q1.^2)^(1/2) [kVA]
S1 = 371.1933
Calcul du facteur de puissance FP =
cosphi1 = 0.8477
Calcul Tx1 = (S1./Sn)*100
Tx = 58.9196
Inserer : la valeur cosphi2 désirée :
cosphi2 = 0.98
Calcul S2 = P./cosphi2" [kVA]
S2 = 321.0816
Calcul Tx2 = (S2./Sn)*100
Tx2 = 50.9653
-----
Etape_1 : DETERMINATION DE Qc ET DE LA CAPACITE C
-----
Réafficher les valeurs FP AVANT & APRES compensation :
cosphi1 = 0.8477
cosphi2 = 0.98
Calcul tanphi1 = ?
tanphi1 = 0.62579
Calcul tanphi2 = ?
tanphi2 = 0.20306
Calcul Qc = Pd*(tan(phi1)-tan(phi2)) [kVAR]
Qc = 133.0156
Calcul C = 1000*Qc./(3*2*pi*f*U.^2) [mF]
Inserer : les valeurs de la tension "U(V)=?" et de la fréquence "f(Hz)=?"
U(V) = 380 ; f(Hz) = 50
C = 0.97738
-----
Etape_2 : CHOIX DE LA ZONE DE COMPENSATION
-----
Choisir Zone de compensation CG : 1
Choisir Zone de compensation CS : 2
Choisir Zone de compensation CI : 3
--- taper 1 pour augmenter la Puissance S(TFO) Secondaire
--- taper 2 pour réduire la perte Pj entre le TFO et le TD du secteur
--- taper 3 pour réduire la perte Pj entre le TFO et la(les) CHARGE(S)
Choisir Zone de compensation : 1
Choisir : Compensation Globale(CG)
-----
Etape_3 : CHOIX DE MODE DE COMPENSATION
-----
Calcul de (Qc/S1) (%)
Qc(kVAR) = 133.0156 ; S1(kVA) = 371.1933
Rapport1 = 0.35835
Rapport1 = (Qc/S1) >= 0.15, ==> Compensation AUTOMATIQUE
-----
Etape_4 : CHOIX DU TYPE DE BATTERIE DES CONDENSATEURS
-----
Inserer : la puissance de charge non linéaire Sh :
Sh(kVA) = 60
Calcul de (Sh/S1) (%)
Sh(kVA) = 60 ; S1(kVA) = 371.1933
Rapport2 = 0.16164
Rapport2 = (Sh/S1) <= 0.25, ==> Compensation du type H
===== FIN =====

```