



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electromécanique  
Electromécanique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**Zehani Mohamed Elhacen**

Le : Mardi 9 juillet 2019

## **Amélioration de la facturation d'électricité au niveau de « S.A.R.L INDTRAV EL-KANTARA »**

---

### Jury :

Pr.	Bouziane Mohamed Tewfik	Université de biskra	Encadreur
Dr.	Kraa Okba	Université de biskra	Président
Dr.	Naimi Djemai	Université de biskra	Examineur



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electromécanique  
Electromécanique

---

Présenté et soutenu par :  
**Zehani Mohamed Elhacen**

Le : mardi 9 juillet 2019

## **Amélioration de la facturation d'électricité au niveau de « S.A.R.L INDTRAV EL-KANTARA »**

---

Présenté par :  
Zehani Mohamed Elhacen

Avis favorable de l'encadreur :  
Pr. Bouziane Mohamed Tewfik

**Avis favorable du Président du Jury**

**Cachet et signature**

### **Remerciement**

*Je remercie, avant tout, Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé parmi Ses innombrables Grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.*

*Mes plus vifs remerciements vont à mon encadreur pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement, **Bouziane Mohamed Tewfik**, professeur à l'Université Mohamed Khider de BISKRA.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury de soutenance de ce mémoire :*

***Dr.Naimi Djemai** pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du jury*

***Dr.Kraa Okba** d'avoir accepté la présidence de jury de soutenance.*

*Mes remerciements vont à Mes collègues **Zaater med lamine** et **Khelifi debili** et sur l'esprit de coopération au cours de la réalisation de notre mémoire. Je remercie **Dr.Naimi Djemai**, **Pr.Golia Ammar**, **Pr.Zouzou Salah Eddine**, **Dr.Tidjani Mohamed**, **Boubaker Belghith** et tout l'équipe de **SONELGAZ** de m'aider*

*Je n'oublierai pas d'exprimer un profond respect à tous mes professeurs qui m'ont inculqué les fondements scientifiques tout au long des cursus de mon étude.*

*Mes derniers mots s'adressent tous ma famille particulièrement à : **Mes Parents***

## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

- ✚ A mon père, à ma mère*
- ✚ A mon frère et mes sœur*
- ✚ A tous mes amis (es)*
- ✚ A tous mes maîtres et professeurs : du primaire au supérieur*
- ✚ A tous ceux qui ont contribué au développement des sciences engénéral et de l'électromécanique en particulier.*

*Zehani Mohamed Elhacen*

**List des figures**

Fig I.1 : Localisation géographique de l'entreprise.....	3
Fig I.2 : Organigramme général .....	4
Fig I.3 : Format de bouteille supporté .....	5
Fig I.4 : Alimentation des préformes .....	6
Fig I.5 : Préforme en PET.....	6
Fig I.6 :Préforme à la sortie du four.....	6
Fig I.7 : Chauffage des préformes.....	6
Fig I.8 : Les étapes du soufflage d'une préforme.....	7
Fig I.9 : Souffleuse de préforme.....	7
Fig I.10 : Convoyeur aérien de bouteilles .....	8
Fig I.11 : Machine soutireuse .....	8
Fig I.12 : Remplisseuse de bouteilles.....	9
Fig I.13 : Bouchonneuse de bouteilles .....	10
Fig I.14 : Etiqueteuse de bouteille .....	10
Fig I.15 : Le dateur .....	11
Fig I.16 : Fardeleuse de bouteilles PET .....	12
Fig I.17 : Le tapis roulant .....	12
Fig I.18 : Robot Palettiseur .....	13
Fig I.19 : Machine Banderoleuse .....	14
Fig II.1 : Composants de la formule tarifaire .....	16
Fig II.2 : Courbe de charge quotidienne .....	18
Fig II.3 : Comptage quatre quadrants.....	23
Fig II.4 : Comptage classique.....	24
Fig II.5 : Comptage Electronique .....	24
Fig II.6 : Comptage de type A .....	25
Fig II.7 : Comptage de type B .....	25
Fig II.8 : Comptage de type C.....	26
Fig II.9 : Compteur numérique Itron ACE6000 .....	26
Fig II.10: Modem PME/PMI .....	27

Fig II.11 : Interface de logiciel saturne .....	27
Fig II.12 : Compteur Itron ACE6000 .....	28
Fig III.1 : Composition vectorielle des puissances .....	29
Fig III.2 : Association en parallèle d'éléments résistif, inductif et capacitif .....	30
Fig III.3 : Influence du $\cos \varphi$ sur la valeur du puissance apparente.....	32
Fig III.4 : Influence du $\cos \varphi$ sur la valeur du courant apparente.....	32
Fig III.5 : Compensateur synchrone statique .....	34
Fig III.6 : les compensateurs statiques de l'énergie réactive .....	35
Fig III.7 : Les bancs de condensateur.....	35
Fig III.8 : Les principe de compensation.....	36
Fig III.9 : compensation fix.....	38
Fig III.10 : Automatique compensation.....	38
Fig III.11 : principe de la compensation automatique d'une installation.....	39
Fig III.12 : onde déformé et harmonique en fonction du temp.....	40
Fig III.13 : Principe de l'utilisation de filtrage d'harmonique.....	41
Fig IV.1 : Option du tarif 41.....	42
Fig IV.2 : Option du tarif 42.....	43
Fig IV.3 : Option du tarif 43.....	43
Fig IV.4 : Option du tarif 44.....	44
Fig IV.5 : Graphique des coûts mensuel selon les tarifs.....	45
Fig IV.6 : Graphique de l'analyse PMD / PMA.....	47
Fig IV.7 : Consommation énergétique pendant une année.....	48
Fig IV.8 : Bilan des Puissances.....	49
Fig IV.9 : Diagramme de Fresnel.....	50
Fig IV.10 : Tension et courant de la phase A.....	50
Fig IV.11 : Tension et courant de la phase B.....	50
Fig IV.12 : Tension et courant de la phase C.....	50
Fig IV.13 : Analyseur de réseau « FLUKE 435 série II ».....	51
Fig IV.14 : Interface du Logiciel SATURNE.....	52
Fig IV.15 : Courbe de charge de la puissance active.....	55
Fig IV.16 : Courbe de charge de la puissance moyenne active.....	55

FigIV.17 : La Puissance réactive avant la compensation.....	56
Fig IV.18 : La puissance réactive après et avant la compensation.....	56
Fig IV.19 : Le facteur de puissance avant la compensation.....	57
Fig IV.20 : Le facteur de puissance après et avant la compensation.....	57
Fig IV.21 : La puissance apparente après et avant la compensation.....	58
Fig IV.22 : Courbe de charge de courant.....	59
Fig IV.23 : Transformateur de courant (TC).....	59
FigIV.24 : Les trois phases des courants.....	61
Fig IV.25 : Les trois phases des tensions.....	61
Fig IV.26 : Le courant et la tension dans le neutre.....	61
Fig IV.27 : plaque signalétique de transformateur 630 kVA.....	62
Fig IV.28 : Mesure réalisée par nos soins en tête de l'installation.....	63
Fig IV.29 : Batterie de condensateurs automatique.....	64
Fig IV.30 : L'ensemble des Harmoniques de tension, du rang 1 au rang 17.....	66
Fig IV.31 : L'ensemble des Harmoniques de courant, du rang 1 au rang 17.....	66

## Liste des tableaux

Tableau II.1 : Valeurs normalisées de la PMD (en KW).....	17
Tableau II.2 : Périodes tarifaires.....	19
Tableau II.3 : Domaine de tension et Tarifs.....	20
Tableau II.4 : Descriptions des tarifs.....	20
Tableau II.5 : Présentation des tarifs et leur prix.....	21
Tableau II.6 : Les puissances en fonction de type de pertes.....	22
Tableau III.1 : Les puissances actives et réactives absorbées par la résistance, ..... inductance et capacité	30
Tableau III.2 : Avantages et inconvénients de la localisation.....	37
Tableau IV.1 : Les différents prix des tarifs pendant une année.....	46
Tableau IV.2 : Résultats obtenus par analyseur sur 4h.....	51
Tableau IV.3 : Résultats obtenus par logiciel saturne sur 24h.....	52
Tableau IV.4 : Les mesures sur une année/selon factures.....	53
Tableau IV.5 : Les mesures obtenus pendant 24 heure/Analyseur.....	54
Tableau IV.6 : Les mesures obtenus pendant 24 heure/SATURNE.....	54
Tableau IV.7 : fichier de vérification exploitation et surexploitation des..... transformateur SDC	62
Tableau IV.8 : Choix de types de batteries en fonction du degré de pollution en ..... harmoniques	65

## Liste des abréviations et symboles

### Abréviations

<b>FACTS</b>	Flexible Alternative Current Transmission Systems.
<b>PMD</b>	La puissance mise à disposition
<b>PMA</b>	La puissance maximale absorbée
<b>MT</b>	Moyenne tension
<b>BT</b>	Basse tension
<b>SDC</b>	Société de Distribution d'électricité et de gaz
<b>TC</b>	Transformateur de Courant

### Symboles

<b>PF</b>	Facteur de puissance
<b>PFC</b>	Correction du facteur de puissance
<b>P</b>	Puissance active
<b>Q</b>	Puissance réactive
<b>S</b>	Puissance apparente
<b>SH</b>	Puissance apparente des récepteurs produisant des harmoniques
<b><math>V_{eff}</math></b>	Tension efficace
<b><math>I_{eff}</math></b>	Courant efficace
<b><math>\omega</math></b>	La pulsation
<b><math>\varphi</math></b>	Angle de déphasage
<b>L</b>	L'inductance
<b>C</b>	La capacité
<b>U</b>	Tension compose
<b><math>Q_c</math></b>	Puissance réactive de condensateur
<b>a</b>	Redevance fixe, Il concerne les frais mensuels liés à la gestion des clients (techniques et commerciaux). (DA/ mois)
<b><math>P_c</math></b>	Puissance mise à disposition du client et qu'il peut appeler suivant ses besoins elle est exprimée en KW
<b><math>P_a</math></b>	Puissance mise à disposition du client et qu'il peut appeler suivant ses besoins elle est exprimée en KW.
<b>C,d</b>	Prix de facturation de la puissance mise à disposition et de la puissance maximale absorbée (DA/kW/mois).
<b>E</b>	énergie consommée au cours du mois (kWh/mois)
<b>eh</b>	Prix de l'énergie par poste horaire h (c DA/kWh)
<b>W</b>	Energie réactive consommée au cours du mois (k VAR h/mois)
<b>g</b>	Prix de l'énergie réactive (c DA/kVarh)

## Liste des abréviations et symboles

---

- r** concerne la facturation de l'énergie réactive : valeur du rapport  $\tan \varphi = W/E$  au delà duquel il y a majoration et en deçà bonification. On prend  $r = 0,5$  ce qui correspond à un  $\cos \varphi$  de 0,894.
- R** Montant mensuel de la facture (DA/mois)
- E<sub>h</sub>** énergie consommée au cours du mois dans le poste horaire  
 $h (E = \sum E_h)$

## Résumée

Dans cette étude, nous avons fait une collecte d'informations sur les consommations d'énergie électrique. Ensuite, nous avons procédé à l'établissement d'un bilan de puissance permettant de cibler les gisements potentiels d'économie d'énergie pour réduire le cout de facture d'électricité pour la SARL INDTRAV avec un diagnostic des factures de l'électricité. Puis, des solutions d'efficacité énergétique. Pour mener cette étude, deux stages ont été réalisés au niveau de la SONELGAZ et la SARL INDTRAV où plusieurs logiciels ont été exploités (SATURNE, Power Log 430-II, Excel).

**Mots clés :** Coût de l'électricité, facture d'électricité, puissance réactive, facteur de puissance SARL INDTRAV.

## ملخص

الغرض من هذه المذكرة هو دراسة تقليل فاتورة الكهرباء لشركة القنطرة للمياه المعدنية هذه الدراسة تنقسم الى قسمين اساسيين تتمثل في:

القسم الاول نظري اين قمنا بدراسة تسعيرات سونلغاز وبعد ذلك قمنا بالتعريف عن الطاقة التفاعلية وطريقة تعويضها بوسائل تعويض الطاقة التفاعلية.

والقسم الثاني للمذكرة يتناول الجانب التطبيقي اين قمنا بدراسة اختيار نوع التسعيرة المناسبة للشركة وبعد ذلك قمنا بتعويض الطاقة التفاعلية المستهلكة من الشبكة الكهربائية ببطارية التعويض الآلية، وفي الاخير وصلنا الى التقليل من استهلاك الطاقة التفاعلية من الشبكة من جهة و من جهة اخرى قمنا بالتقليل من تكلفة استهلاك الكهرباء. وقد استعنا لإجراء هذه الدراسة بتدريبيين داخلين في SONELGAZ و SARL INDTRAV حيث تم استخدام العديد من البرامج (Excel ،Power Log 430-II ،SATURNE ).

الكلمات المفتاحية : تكلفة الكهرباء، فاتورة الكهرباء، الطاقة التفاعلية، معامل القدرة، شركة القنطرة.

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Présentation et structure de la chaîne de production</b>	
Introduction.....	3
I.1. Présentation de la SARL INDTRAV .....	3
I.2. Organigramme général de la chaîne de la SARL INDTRAV.....	4
I.3. Description des formats de bouteilles.....	5
I.4. Principe de la ligne d’embouteillage.....	5
I.5. Convoyeur aéraulique.....	7
I.6. Soutireuse.....	8
I.7. Remplisseuse .....	9
I.8. La Bouchonneuse.....	9
I.9. Etiqueteuse.....	10
I.10. Le dateur.....	10
I.11. Fardeleuse .....	11
I.12. Tapis roulant.....	12
I.13. Le palettiseur.....	13
I.14. Banderoleuse.....	14
Conclusion .....	14
<b>Chapitre II : Tarification de l’énergie électrique</b>	
Introduction .....	15
II.1. Les principes de la tarification de l’électricité .....	15
II.1.1. Les réalités de la tarification.....	15
II.2. Présentation du système tarifaire de l’électricité .....	16
II.2.1. Structure générale des tarifs .....	16
II.2.1.1. La structure de tarification est caractérisée par .....	16
II.2.1.2. L’expression de la formule tarifaire est schématisée comme suit .....	16
II.2.1.2.1. Un terme constant .....	17
II.2.1.2.2. La puissance Mise à Disposition (PMD) .....	17
II.2.1.2.3. La Puissance Maximum Appelée (PMA) .....	17
II.2.2. Les périodes tarifaires.....	18
II.2.2.1. Postes Horaires.....	18

II.2.2.1.1. Courbe de charge quotidienne .....	18
II.2.2.2. Périodes tarifaires .....	19
II.2.3. Présentation des tarifs.....	19
II.2.4. Calcule des pertes à vide et en charge .....	22
II.2.5. Le polynôme tarifaire .....	22
II.3. Comptage et Compteurs Électrique.....	23
II.3.1. Comptage classique.....	24
II.3.2. Comptage électronique.....	24
II.3.3. Techniques de comptage SDC.....	25
II.3.3.1. Comptage type A.....	25
II.3.3.2. Comptage type B.....	25
II.3.3.3. Comptage type C.....	26
II.3.4. Compteur Itron ACE6000 .....	26
II.3.4.1. Constitution .....	28
Conclusion.....	28
 <b>Chapitre III : Compensation de l'énergie réactive</b>	
Introduction.....	29
III.1. Puissance réactive.....	29
III.1.1. Sens physique de la puissance réactive.....	30
III.1.2. Le facteur de puissance ( $\cos\varphi$ ).....	31
III.1.2.1 Inconvénients d'un mauvais $\cos \varphi$ .....	31
III.1.3. La circulation de la puissance réactive dans un réseau.....	31
III.1.4. Problématique de l'énergie réactive au milieu industriel.....	32
III.1.5. Energie réactive et composants des réseaux.....	33
III.2. Compensation de l'énergie réactive.....	33
III.2.1. Moyens de compensation de la puissance réactive.....	34
III.2.1.1. Compensateurs synchrones.....	34
III.2.1.2. Compensateurs statiques de l'énergie réactive.....	34
III.2.1.3. Bancs de condensateurs.....	35
III.2.1.3.1. Choix du mode de compensation.....	36
III.2.1.3.1.1. Compensation globale .....	36
III.2.1.3.1.1. Compensation locale ou par secteurs (partielle).....	36
III.2.1.3.1.3. Compensation individuelle.....	36

III.2.1.3.1.4. Avantages et inconvénients de la localisation.....	37
III.2.1.3.2. Choix du type de compensation.....	38
III.2.1.3.2.1. Compensation fixe .....	38
III.2.1.3.2.2. Compensation automatique ou en “gradins”.....	38
III.2.1.3.2.2.1. Principe et intérêt de la compensation automatique .....	39
III.2.1.3.3. Avantages de la compensation d’énergie réactive.....	39
III.2.1.3.3.1 Avantages économiques .....	39
III.2.1.3.3.2 Avantages techniques .....	39
III.3. Compensation d’énergie réactive en présence d’harmoniques.....	40
III.3.1. Effets des harmoniques.....	40
III.3.2. Solutions envisageables .....	41
Conclusion .....	41
<b>Chapitre IV : Applications et mesures in situ</b>	
Introduction.....	42
IV.1. Tarif « HTA » et le choix des clients .....	42
IV.1.1. Tarif 41.....	42
IV.1.2. Tarif 42.....	43
IV.1.3. Tarif 43.....	43
IV.1.4. Tarif 44.....	44
IV.2. Factures et coût mensuel selon les types .....	44
IV.3. Analyse détaillée de la facture .....	47
IV.3.1. Analyse PMD/PMA.....	47
IV.3.2. Analyse de la consommation réactive.....	48
IV.4. Compensation de l’énergie réactive .....	49
IV.4.1. Calcul de la puissance réactive.....	53
IV.4.1.2. Calcul la puissance de condensateur à partir d’analyseur de réseau.....	54
IV.4.1.3. Calcul la puissance de condensateur à partir de logiciel SATURNE .....	54
IV.4.2. Les courbes de charge obtenues pendant les 24h (à partir saturne) .....	55
IV.4.2.1. Puissance active dans l’installation.....	55
IV.4.2.2. Puissance réactive de l’installation .....	56
IV.4.2.3. Facteur de puissance dans l’installation.....	57
IV.4.2.4. La puissance apparente dans l’installation.....	58
IV.4.2.5. Le courant dans l’installation .....	59

IV.4.2.5.1. Le courant dans l'installation avant et après la compensation .....	60
IV.4.2. Choix du mode de compensation.....	63
IV.4.3. Choix du type de compensation.....	64
IV.4.4. Détermination du type de batterie en fonction au niveau harmonique.....	65
<b>IV.5. Conclusion générale.....</b>	<b>67</b>

### Introduction générale

Le thème de notre étude suit les directives de l'administration de l'université, qui favorise le rapprochement de l'université au secteur utilisateur.

Dans ce cadre le thème choisi est : **Amélioration de la facturation de l'énergie électrique par compensation de l'énergie réactive.**

Il s'agit d'audit de "Qualité de l'énergie" ; de mettre en évidence l'efficacité économique, de satisfaire la demande en électricité de l'usine au moindre coût en optimisant la facture, et de dimensionner la compensation d'énergie réactive.

Le contrat de fourniture de l'électricité est cosigné par la SARL INDTRAV et la Direction de Distribution avant la mise en service du poste de livraison. Le contrat de fourniture est valable pour une durée de 5 ans à partir de sa date d'entrée en vigueur.

**Le client supporte les pertes d'énergie dont il est responsable** dans les transformateurs et sur la ligne de raccordement. Ces pertes seront estimées forfaitairement et figureront dans le contrat de fourniture d'électricité si le compteur est installé en aval des transformateurs.

C'est une forme particulière de puissance mise en jeu par un réseau ou une installation possédant une capacité, elle est transformée par les machines électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'objectif de notre présente étude est **d'optimiser l'utilisation de l'énergie électrique dans la SARL INDTRAV pour minimiser les coûts de fonctionnement.** Le présent travail a trois centres d'intérêt, à savoir : intérêt personnel, intérêt académique et scientifique ainsi que l'intérêt économique. Pour cela nous subdivisons notre présente étude en deux parties distinctes, une purement théorique et l'autre pratique comportant des applications et des mesures in situ.

La première partie comporte trois chapitres, le premier chapitre est une présentation, de la SARL INDTRAV, sa structure générale et toutes les étapes de production d'eau minérale. Le second chapitre traite la tarification de l'énergie électrique et les objectifs assignés au système tarifaire en vue d'orienter le choix des consommateurs, en concordance avec les options nationales en matière de développement et de politique énergétique en incitant à la minimisation des coûts et à l'efficacité énergétique. Le troisième et dernier chapitre de la première partie est consacré à la notion de la puissance réactive, de son aspect physique et sa formulation mathématique.

En outre, afin d'améliorer les performances on s'est appelé à améliorer le facteur de puissance.

La seconde partie de l'étude est la partie importante de notre étude, elle a nécessité des mesures in situ, des calculs de factures pour les différents tarifs en vue de choisir la facture la plus appropriée, et une synthèse sur l'historique de la consommation de tous les points obtenus par le logiciel de gestion numérique de la SDC Saturne.

Concernant la démarche méthodologique nous avons appliqué les diverses techniques et méthodes. A propos des techniques nous avons eu recours aux techniques : documentaire, d'échantillonnage, du questionnaire et d'entretien. Pour ce qui est des méthodes, celles que nous avons utilisées sont : comparative, analytique et statistique.

Notre étude est terminée par une conclusion générale.



# Chapitre I

## **Présentation et structure de la chaîne de production**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la SARL INDTRAV, sa structure générale et toutes les étapes de production d'eau minérale, pour avoir une idée générale sur cette chaîne de production d'eau minérale dont la nomination est **EL-KANTARA**

### I.1. Présentation de la SARL INDTRAV

La S.A.R.L INDTRAV, est une société commerciale où la responsabilité est limitée jusqu'à concurrence, pour la production d'eau minérale. Fondée en 2017 par un groupe d'associés, située au chef-lieu de commune d'EL-KANTARA, une oasis située dans le sud-ouest des Aurès, à 52 km au nord de Biskra et à 62 km au sud-ouest de Batna



**Fig I.1:** Localisation géographique de l'entreprise.

I.2. Organigramme général de la chaîne de la SARL INDTRAV

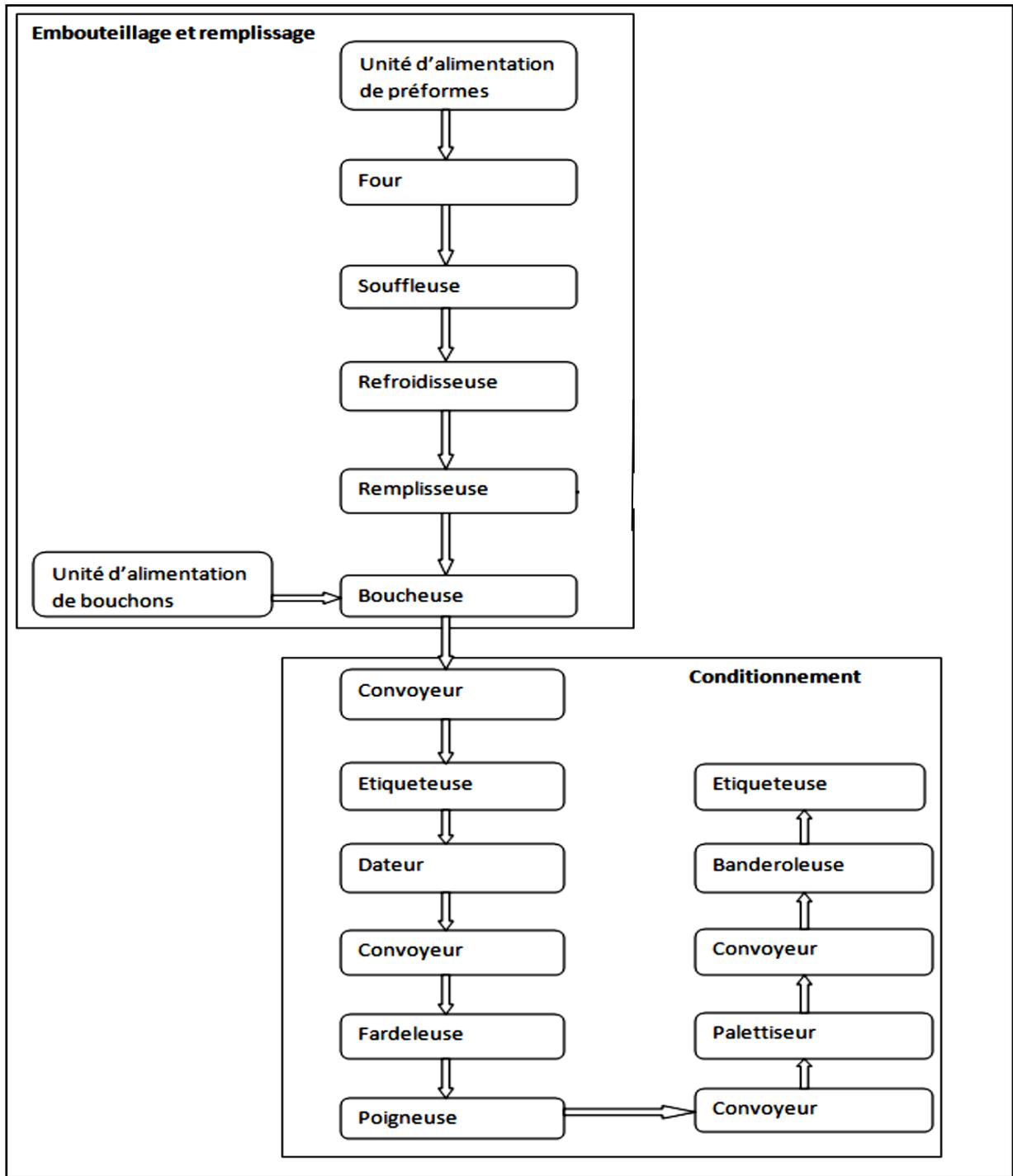


Fig I.2 : Organigramme général

### I.3. Description des formats de bouteilles

La ligne d’embouteillage est construite pour remplir les bouteilles de (5 litres, 1,5 litre, 0,5 litre). Alimentation unique pour produire tous types de formats de bouteilles d’où l’avantage de cette innovation à la différence des chaînes précédentes.



**Fig I.3 :** Format de bouteille supporté

### I.4. Principe de la ligne d’embouteillage

D’abord chaque bouteille se présente sous forme de préforme fabriquée en PET.

**Le PET** : polyéthylène téréphtalate peut être décrit comme un pétrole raffiné, les produits liquides initiaux, l’éthylène glycol et les connexions téréphtalate, sont issus du pétrole qui a été partiellement transformé avec l’oxygène [1].

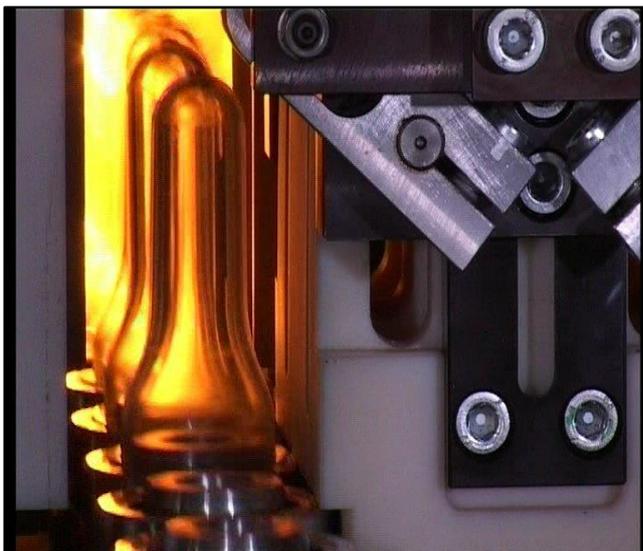


**Fig I.4 :** Alimentation des préformes

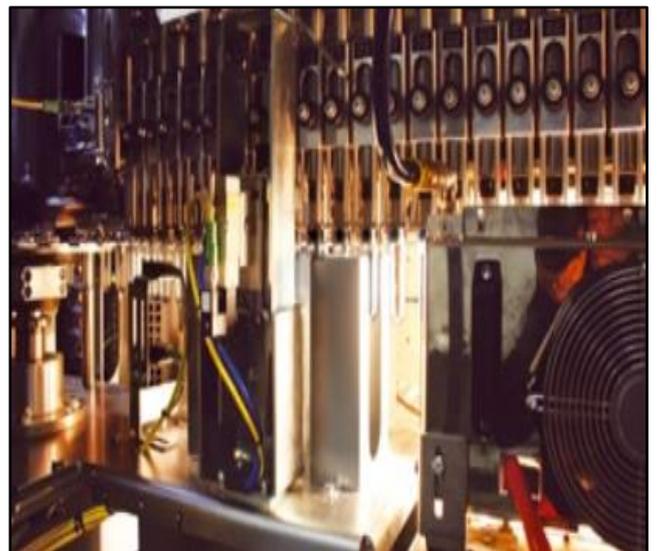


**Fig I.5 :** Préforme en PET

Cette dernière sera introduite dans une machine appelée souffleuse. Placée sur un support la préforme sera introduite dans un four qui la fera chauffer. Ce four est en forme de tunnel qui est composé de lampes halogènes la préforme sera chauffée à une température optimale « elle est suffisamment chaude pour se délater sans qu'elle fonde ».

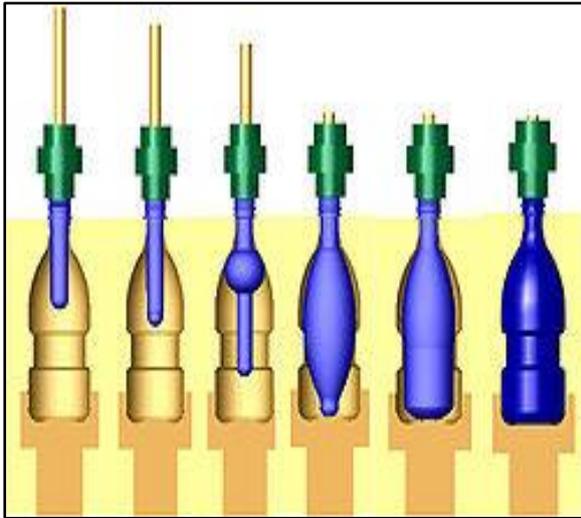


**Fig I.6 :** Préforme à la sortie du four.

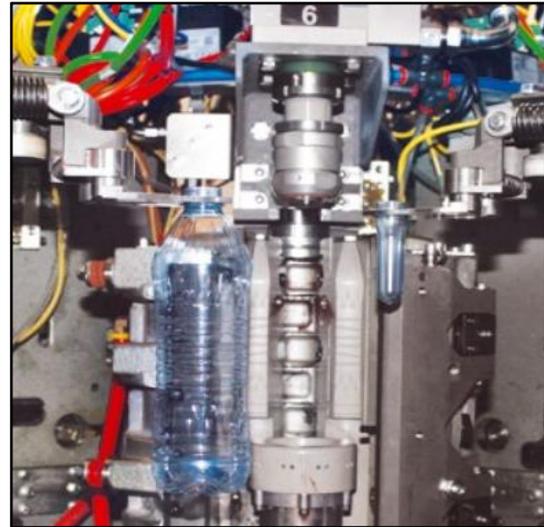


**Fig I.7 :** Chauffage des préformes

La préforme sera introduite dans un moule qui présente le format de la bouteille désiré.



**Fig I.8 :** Les étapes du soufflage d'une préforme.



**Fig I.9 :** Souffleuse de préforme.

Vient alors le tour des transporteurs aériens qui ont pour fonction de transporter les bouteilles soufflées de la souffleuse à l'entrée de la remplisseuse elle s'appelle. Le convoyeur aéraulique

### **I.5. Convoyeur aéraulique**

Le convoyeur aéraulique permet de transporter des bouteilles en PET vide, entre les différents équipements de soufflage et remplissage d'une ligne, les charges sont transportées par l'énergie du soufflage d'air, ce souffle est produit par les colonnes de ventilation, équipées de filtre garantissant un air propre.



**Fig I.10** : Convoyeur aérien de bouteilles.

A la fin de convoyeur vient la soutireuse.

### **I.6. Soutireuse**

Elle comporte deux machines : la remplisseuse et la bouchonneuse.



**Fig I.11** : Machine soutireuse

### I.7. Remplisseuse

La remplisseuse est l'unité chargée du remplissage des bouteilles du produit fini dont la vitesse du remplissage peut être variée. Elle est constituée essentiellement de la cuve qui est remplie d'eau à partir des bacs journaliers par l'intermédiaire des pompes de soutirage, ces cuves donnent une indication sur le niveau d'eau à l'intérieur à l'aide de quatre voyants reliés aux capteurs, cette même information est utilisée pour la variation de la vitesse des pompes ou leur arrêt de démarrage [1].

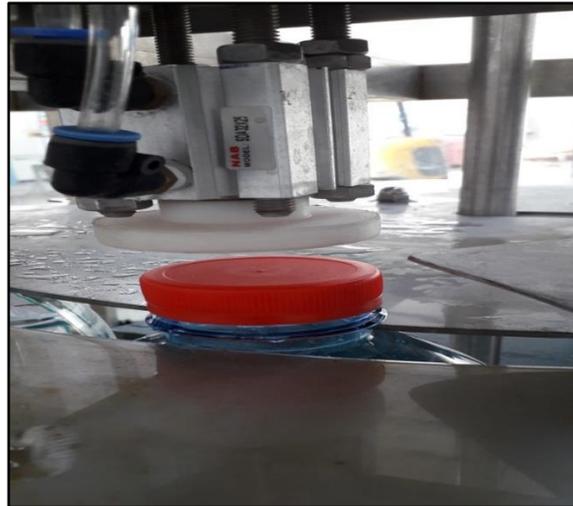


**Fig I.12 :** Remplisseuse de bouteilles.

A la sortie de remplisseuse vient la bouchonneuse.

### I.8. La Bouchonneuse

La bouchonneuse se trouve encastrée dans la remplisseuse pour permettre le bouchage des Bouteilles juste à la fin de leur remplissage pour éviter le débordement, les bouchons sont fabriqués et préparés par une autre unité, donc ils sont prêts à être utilisés directement par la bouchonneuse.



**Fig I.13 :** Bouchonneuse de bouteilles

À la sortie de la Soutireuse vient l'étiqueteuse

### **I.9. Etiqueteuse**

L'étiqueteuse est destinée à coller des étiquettes enveloppantes sur des récipients cylindriques portant des informations sur le produit et le fabricant.



**Fig I.14 :** Etiqueteuse de bouteille.

À la sortie de l'étiqueteuse vient le dateur

### **I.10. Le dateur**

Le dateur sert à mentionner la date et l'heure de fabrication du produit, chaque ligne dispose de deux types de dateurs, soit celle qui utilise l'impression à jet d'encre ou celle qui emploie la gravure directe sur la bouteille à l'aide d'un laser.



**Fig I.15 : Le dateur**

À la sortie du dateur vient La fardeleuse

### **I.11. Fardeleuse**

Machine automatique de construction simple, son rôle est de recevoir les bouteilles et les envelopper avec un film thermo rétractable, la machine est de type barre de soudeur avec Superposer de film de paquet

La machine fardeleuse comporte les éléments suivants :

- Bobine de film, placé dans la partie inférieure de la machine,
- Frein progressif pour assurer une tension électrique constante du film,
- Mandrin porte bobine,
- Barre de soudeur manuel pour le raccordement du film quand la bobine en utilisation est terminée,
- Coupe film,
- Résistance du tunnel de thermo rétractable,
- Refroidisseur des fardeaux à la sortie du tunnel.

La fardeleuse qui rassemble les bouteilles selon un format exigé  $3 \times 2 = 6$  pour bouteilles «5.litres, 1.5 litre» et  $3 \times 4 = 12$  pour bouteilles « 0.5 litres » en fardeau.



**Fig I.16 :** Fardeuse de bouteilles PET

### **I.12. Tapis roulant**

Le tapis roulant est un moyen de transport des fardeaux de la sortie de la fardeuse jusqu'à

L'entrée du palettiseur, ce tapis roulant est entraîné à l'aide de moteurs asynchrones



**Fig I.17 :** Le tapis roulant

**I.13. Le palettiseur**

Cette machine est destinée à superposer des couches de fardeaux sur une palette. Il comporte

Plusieurs organes :

- Tourne fardeaux,
- Pousseur des fardeaux,
- Ascenseur,
- Magasin palettes,
- Convoyeur à rouleaux d'alimentation palettes vides et évacuation palettes pleines



**Fig I.18 :** Robot Palettiseur.

Après l'opération de robot palettiseur vient directement une autre opération elle s'appelle le bond roulage.

### I.14. Banderoleuse

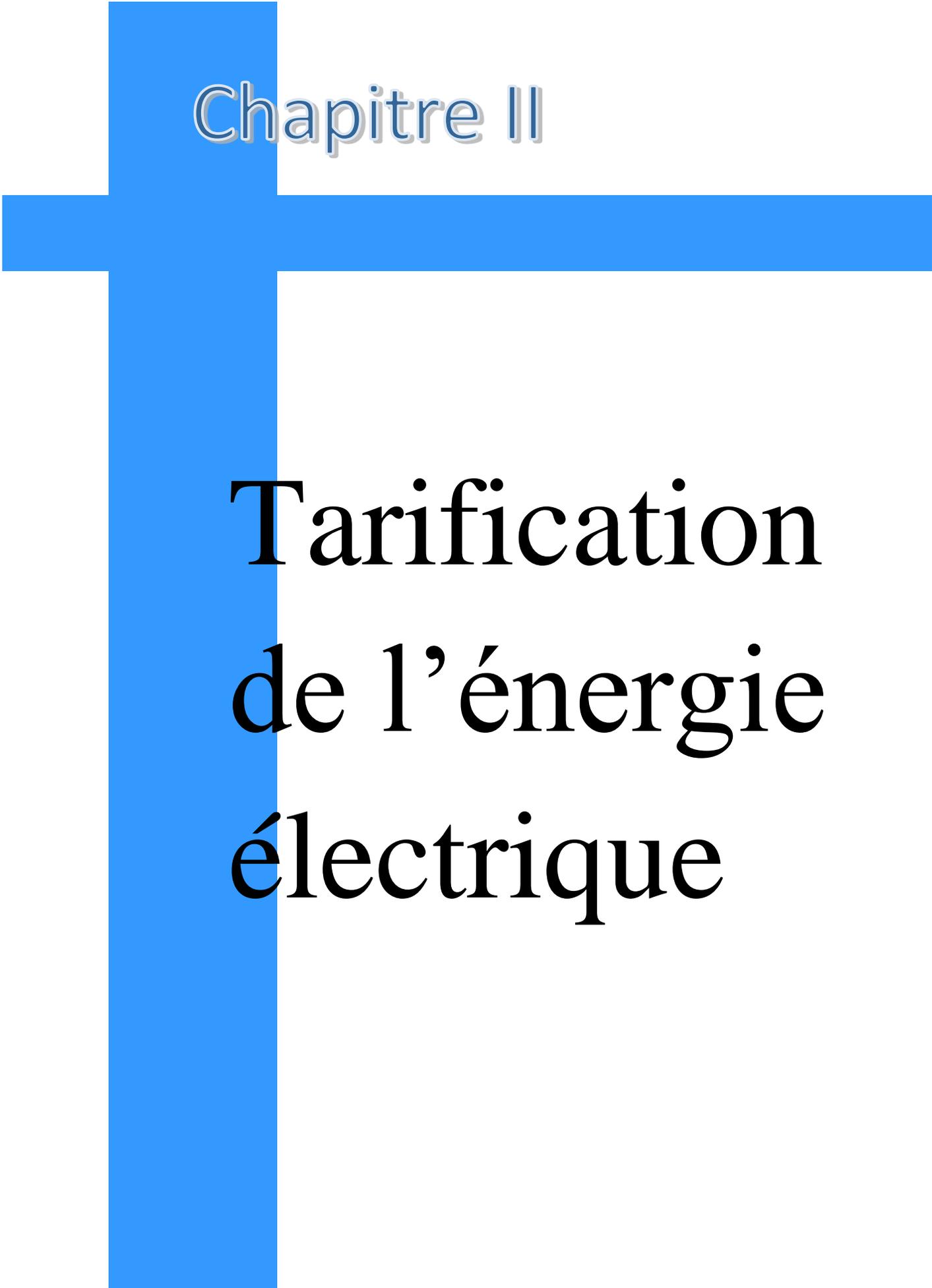
Cette machine enveloppe la charge avec la palette arrêtée au moyen de la rotation du bar porte-bobine, et assure un emballage stable et compact des produits palettisés par un banderolage à plusieurs couches en film étirable non toxique.



**Fig I.19 : Machine Banderoleuse**

### Conclusion

Toutes ces opérations sont synchronisées, de la mise en bouteilles jusqu'au produit finis. La succession de ces opérations consomme de l'énergie pour fonctionner, leurs efficacités énergétiques dépendent largement du choix judicieux de la tarification de l'énergie électrique objet de notre prochain chapitre.



## Chapitre II

# Tarifification de l'énergie électrique

## Introduction

L'analyse des factures d'électricité de la SARL INDTRAV, permet de déterminer les économies potentielles, qui nécessitent des actions immédiates avec des investissements moins coûteux. C'est une étape essentielle dans le processus de rationalisation de la consommation d'électricité. En effet, cette analyse nous permettra d'identifier les mesures nécessaires avec un retour sur investissement raisonnable. Les variables qu'il faut prendre en compte dans l'analyse :

- Consommation électrique (Energie active et réactive) selon les tranches horaires.
- Puissance souscrite et puissance absorbée.
- Facteur de puissance.

La base de ce chapitre est la documentation technique de la Sonelgaz y compris la documentation du matériel de comptage agréés par la Sonelgaz.

### II.1. Les principes de la tarification de l'électricité

#### II.1.1. Les réalités de la tarification

Sonelgaz est une entreprise qui s'est vu confier l'exercice le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'électricité, du transport et de la distribution du gaz. A ce titre, SONELGAZ doit concilier deux objectifs :

- La recherche de l'efficacité économique : il s'agit de satisfaire la demande de sa clientèle au moindre coût, sous contrainte de qualité de service
- Le respect de ses contraintes budgétaires par un équilibre de son compte d'exploitation

L'électricité est un bien non stockable, dont la demande varie selon le moment de la journée (et/ou l'année). Ceci oblige l'Entreprise à assurer à tout instant l'équilibre **offre - demande**. Elle investit alors dans les capacités supplémentaires pour faire face à des pics de demandes concentrés sur de brèves périodes.

Ainsi, dans un souci d'efficacité, l'entreprise doit agir sur la demande et amener le client à étaler au maximum sa consommation d'énergie de façon à éviter des pointes trop marquées, trop coûteuses.

En renonçant à une unité supplémentaire d'énergie pendant les périodes les plus chargées, le client contribue à une minimisation des coûts pour l'entreprise et à satisfaire les besoins énergétiques des clients dont la consommation, pour des considérations d'usage, ne peut être déplacée.

L'un des moyens pour atteindre cet objectif est le prix.

Dans cette optique, la tarification est bâtie sur la structure des coûts. Ces derniers sont en fonction du niveau de tension auquel est raccordé le client et de la période de consommation

Pour chacun des niveaux de tension, la SDC a élaboré une série de tarifs présentés sous forme d'options, reflétant les coûts des kilowattheures desservis pendant telle ou telle période de la journée et orientant par la même le choix des consommateurs.

Le tarif le plus avantageux pour le client correspond au coût minimal pour la collectivité [2].

## II.2. Présentation du système tarifaire de l'électricité

### II.2.1. Structure générale des tarifs

La structure de la tarification est un polynôme comportant un terme constant, un terme relatif à l'énergie et un autre à la puissance. Cette structure sert à calculer le montant de la facture électricité en hors taxes.

#### II.2.1.1. La structure de tarification est caractérisée par

- La minimisation des coûts de l'énergie électrique
- La modulation des prix de l'énergie selon les heures de son utilisation pour assurer une égalité de traitement de tous les clients d'un même niveau de tension
- L'incitation à l'effacement aux heures chargées de la journée en offrant plusieurs tarifs (rationaliser l'utilisation de l'énergie) [3].

#### II.2.1.2. L'expression de la formule tarifaire est schématisée comme suit

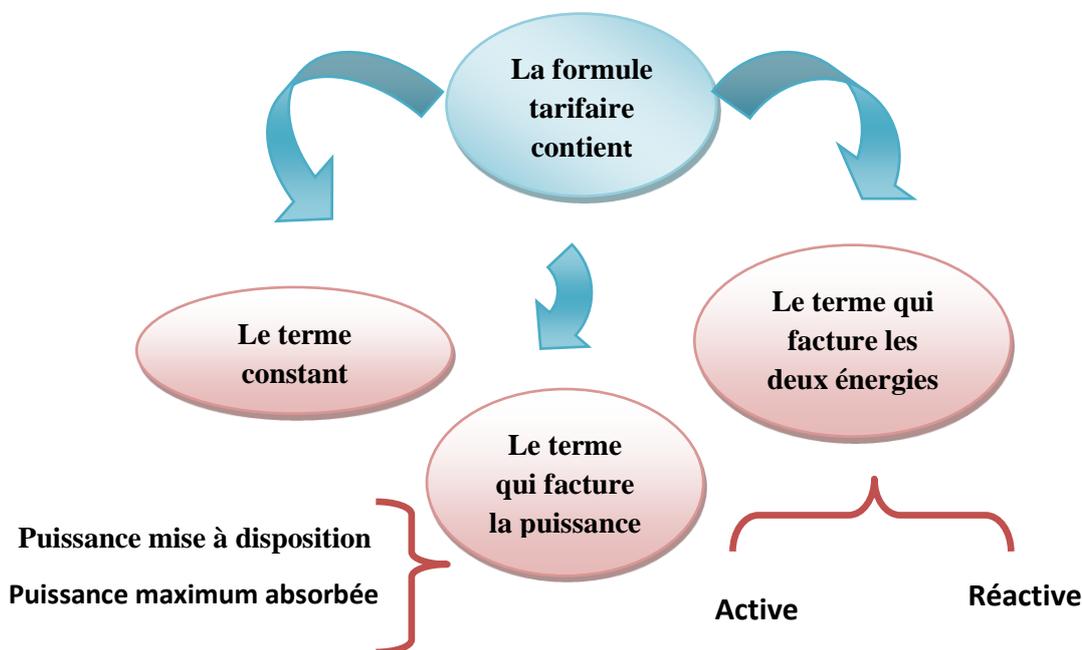


Fig II.1 : Composants de la formule tarifaire

**II.2.1.2.1. Un terme constant**

Il concerne les frais mensuels liés à la gestion technique et commerciale entretien du raccordement au réseau entretien courant et vérification du comptage, relève et facturation.

**II.2.1.2.2. La puissance Mise à Disposition (PMD)**

Réservée par la SDC au client en vertu d'un accord qu'il peut appeler selon ses besoins, à son gré et à tout moment (son unité de mesure est le kW). Elle est choisie par le client, en général avec le conseil de la Direction Commerciale et Marketing parmi les puissances normalisées, contractée pour une durée de 10 ans [3].

**Tableau II.1 : Valeurs normalisées de la PMD (en KW)**

<b>Valeurs de PMD</b>		
<b>50</b>	<b>3000</b>	<b>35 000</b>
<b>80</b>	<b>3500</b>	<b>40 000</b>
<b>120</b>	<b>4500</b>	<b>45 000</b>
<b>320</b>	<b>5000</b>	<b>50 000</b>
<b>500</b>	<b>7500</b>	<b>60 000</b>
<b>750</b>	<b>10 000</b>	<b>70 000</b>
<b>1000</b>	<b>15 000</b>	<b>80 000</b>
<b>1500</b>	<b>20 000</b>	<b>90 000</b>
<b>2000</b>	<b>25 000</b>	<b>100 000</b>
<b>2500</b>	<b>30 000</b>	

**II.2.1.2.3. La Puissance Maximum Appelée (PMA) :**

Elle est dite puissance absorbée ou atteinte. C'est le maximum de puissance demandée par le client durant le mois de facturation. La PMA ne doit pas dépasser la PMD.

- Facturation de l'énergie réactive

L'excédent d'énergie réactive causant des perturbations dans le réseau, la consommation d'énergie réactive donne lieu à une bonification si le rapport énergie réactive sur énergie active est inférieur à 50 % et à un malus dans le cas contraire.

## II.2.2. Les périodes tarifaires

### II.2.2.1. Postes Horaires

Les heures de la journée ont été regroupées en 3 postes horaires, de manière à ce que les conditions de couverture de la charge soient identiques à l'intérieur d'un même poste.

- **Pointe** : Tous les jours de l'année de 17h à 21h (correspond aux heures les plus chargées).
- **Heures pleines** : Tous les jours de l'année de 6h à 17h et de 21h à 22h30 (heures moyennement chargées)
- **Heures creuses** : Tous les jours de l'année de 22h30 à 6h (heures faiblement chargées).

#### II.2.2.1.1. Courbe de charge quotidienne

Les appels de puissance enregistrés par SDC au cours des 24 heures ont fait ressortir les constatations suivantes :

- Des périodes de très forte demande de puissance,
- Des périodes de forte demande de puissance,
- Des périodes de faible demande de puissance.

Ces appels ont été schématisés sur un graphe appelé courbe de charges dont la configuration est donnée ci-après [4].

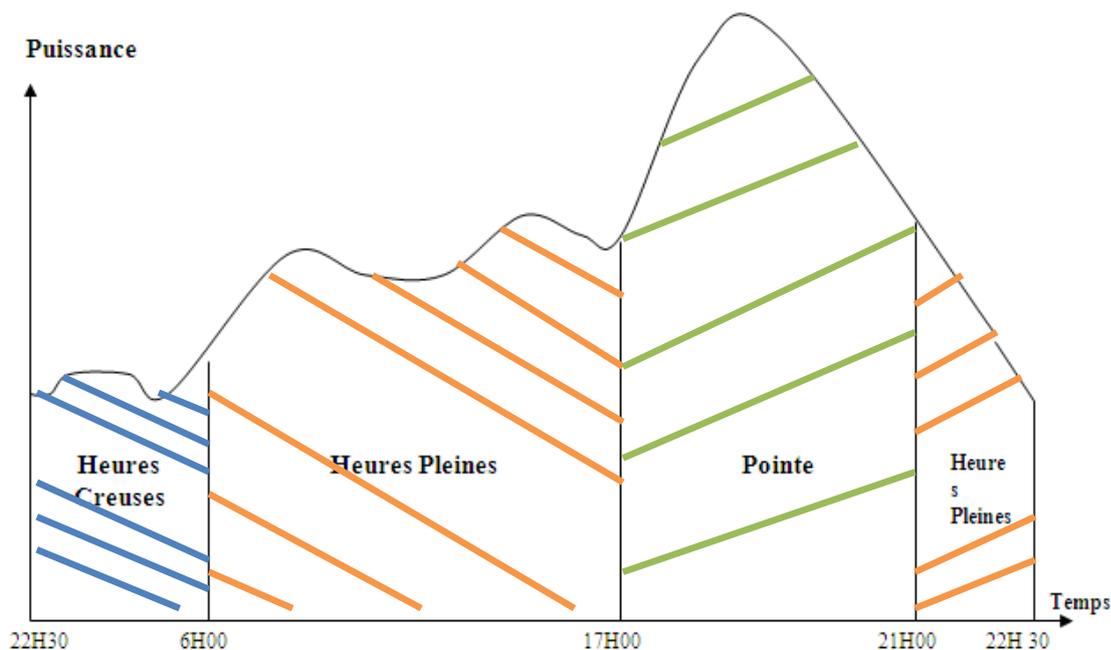


Fig II.2 : Courbe de charge quotidienne

### II.2.2.2. Périodes tarifaires

Aux différents postes horaires définis ci-dessus, correspondent, selon le tarif, six périodes tarifaires (pointe, heures pleines, heures creuses, hors pointe, jour, poste unique).

La différenciation des prix de l'énergie selon les six périodes tarifaires donne lieu à quatre types de tarifs.

**Tableau II.2 : périodes tarifaires**

Triple tarif	Heures creuses (22h 30 → 6h) (7h 30/jour)	Heures pleines (6h → 17h) (21h → 22h30)	Heures pointes (17h → 21h) (4h/jour)
Double tarif	Heures hors pointe (21h → 17h) (20h/jour)		Heures pointe (17h → 21h) (4h/jour)
Double tarif	Nuit (22h 30 → 6h) (7h 30/jour)	Jour (6h → 22h 30) (16h 30 /jour)	
Simple tarif Unique	Poste unique (24h/jour)		

### II.2.3. Présentation des tarifs

Les tarifs d'électricité actuellement en vigueur sont classés en trois séries ou chaque série regroupe les tarifs propres à un niveau de tension auquel le client est raccordé.

- **Tarifs série 30** : abonnés Haute Tension type B (HTB)
- **Tarifs série 40** : abonnés Haute Tension type A (HTA)
- **Tarifs série 50** : abonnés Basse Tension. (BT)

**Tableau II.3 : Domaine de tension et Tarifs**

Domaines de tension	Courant alternatif (volt efficace)	Tarifs	Série de tarif
<b>HTB</b> (Haute Tension)	<b>60 kV, 90 kV, 220 kV</b>	<b>31,32</b>	<b>30</b>
<b>HTA</b> (Moyenne Tension)	<b>5,5 kV, 10 kV, 22 kV, 30 kV</b>	<b>41, 42, 43, 44</b>	<b>40</b>
<b>BTB</b>	<b>500V &lt; U ≤ 1 kV</b>	<b>51, 52, 53, 54</b>	<b>50</b>
<b>BTA</b>	<b>50 V &lt; U ≤ 500 V ou (220V et 400V)</b>		

**Tableau II.4 : Descriptions des tarifs**

TARIFS	DESCRIPTIONS
<b>HAUTE TENSION.</b>	
<b>31</b>	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses)
<b>32</b>	1 - seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés à très longues utilisations de la Puissance mise à disposition.
<b>MOYENNE TENSION.</b>	
<b>41</b>	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses).
<b>42</b>	2 - Périodes Tarifaires (Pointe. Hors Pointe).
<b>43</b>	2 - Périodes Tarifaires (Jour. Nuit).
<b>44</b>	1 - seule Période Tarifaire (Poste Unique).
<b>BASSE TENSION.</b>	
<b>51</b>	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses).
<b>52</b>	2 - Périodes Tarifaires (Pointe. Hors Pointe).
<b>53</b>	2 - Périodes Tarifaires (Jour. Nuit).
<b>54 – 1</b>	1 seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés ménages consommant moins de 500 kWh/an.
<b>54 – 2</b>	1 seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés ménages et non ménages consommant plus de 500 kWh/an.

Tableau II.5 : Présentation des tarifs et leur prix

ELECTRICITE							
Code Tarif	Redevance Fixe (DA/Mois)	PMD	MPA	Energie Active		Energie réactive (cDA/kVARh)	
		DA/KW/Mois		(cDA / kWh)		Malus	Bonus
31	<b>505413.28</b>	37.93	189.46	Pointe	660.85	31.01	6.20
				Pleine	136.62		
				Nuit	59.03		
32	<b>505413.28</b>	100.94	505.38	Unique	136.94	31.01	6.20
41	<b>38673.35</b>	25,85	116,15	Pointe	872,02	45,53	9,11
				Pleine	193,76		
				Nuit	102,40		
42	<b>515,65</b>	38,70	180,58	Pointe	872,02	45,53	9,11
				Hors Pointe	180,64		
43	<b>515,65</b>	38,70	154.56	Nuit	102,40	45,53	9,11
				Jour	428,30		
44	<b>515 ,65</b>	38,70	180,58	Unique	375,62	45,53	9,11
51	<b>286,44</b>	29,85	...	Pointe	811.47	...	...
				Pleine	216.45		
				Nuit	120.50		
52	<b>66,4</b>	29,85	...	Pointe	811.47	...	...
				Hors Pointe	178.07		
53	<b>66,4</b>	14,81	...	Nuit	120.50	...	...
				Jour	486.98		
54	...	4,37	...	Unique	417,89	...	...

### II.2.4. Calcule des pertes à vide et en charge

Les pertes à vide et en charge sont calculées en appliquant les coefficients respectifs pour chaque transformateur. Ces coefficients sont préalablement définis dans la police d'abonnement.

**Tableau II.6** : Les puissances en fonction de type de pertes

Puissance	PERTES ACTIVES		PERTE REACTIVES	
	Avide en kWh/h	EN CHARGE %	Avide en kVARh/h	EN CHARGE %
25	0,160	3,20	1,10	4,00
40	0,220	2,90	1,60	4,00
50	0,425	2,30	3,00	4,00
63	0,300	2,60	2,10	4,00
100	0,425	2,30	3,00	4,00
160	0,600	2,10	4,20	4,00
200	0,720	1,90	4,60	4,00
250	0,900	1,70	6,40	4,00
315	1,05	1,60	6,80	4,00
400	1,300	1,50	8,30	4,00
500	1,530	1,50	9,60	4,00
630	1,800	1,50	11,50	4,00

### II.2.5. Le polynôme tarifaire

$$R = a + c.Pc + d.Pa + \sum eh. Eh + g.(W - r.E)$$

Où

**R** : Montant mensuel de la facture (DA/mois)

**a** : Redevance fixe (DA/ mois)

**Pc** : Puissance mise à disposition du client et qu'il peut appeler suivant ses besoins elle est exprimée en KW

**Pa** : Puissance maximale absorbée en cours de la période de facturation mesurée par un appareil indicateur de maximum avec remise à zéro à chaque relève. Elle est exprimée en KW.

**C, d** : Prix de facturation de la puissance mise à disposition et de la puissance maximale absorbée (DA/kW/mois).

**E** : énergie consommée au cours du mois (kWh/mois)

**Eh** : énergie consommée au cours du mois dans le poste horaire h ( $E = \sum E_h$ )

**eh** : Prix de l'énergie par poste horaire h (cDA/kWh)

**W** : Energie réactive consommée au cours du mois (kVarh/mois)

**g** : Prix de l'énergie réactive (cDa/kVarh)

**r** : concerne la facturation de l'énergie réactive : valeur du rapport  $\text{tg}\varphi = W/E$  au delà duquel il y a majoration et en deçà bonification. On prend  $r = 0,5$  ce qui correspond à un  $\cos\varphi$  de 0,894.

### II.3. Comptage et Compteurs Électrique

#### Principe

un compteur électrique est un organe électrotechnique servant à mesure la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu habitation, agriculture, industrie...etc.

Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de comptabiliser la consommation en énergie du client. À l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique, ils sont remplacés dorénavant par des compteurs électroniques.

Les nouvelles versions de compteurs électriques sont de type communicant appelés parfois compteurs intelligents [5].

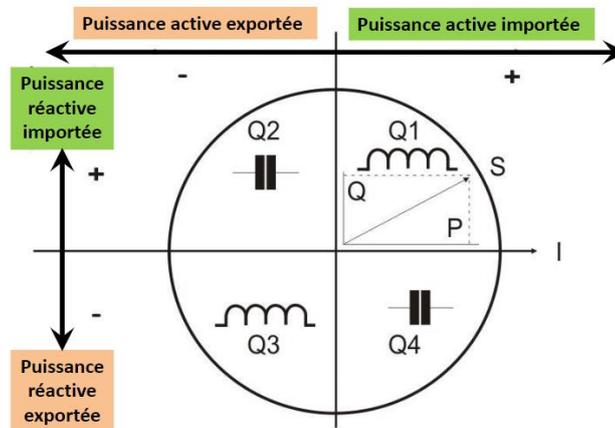
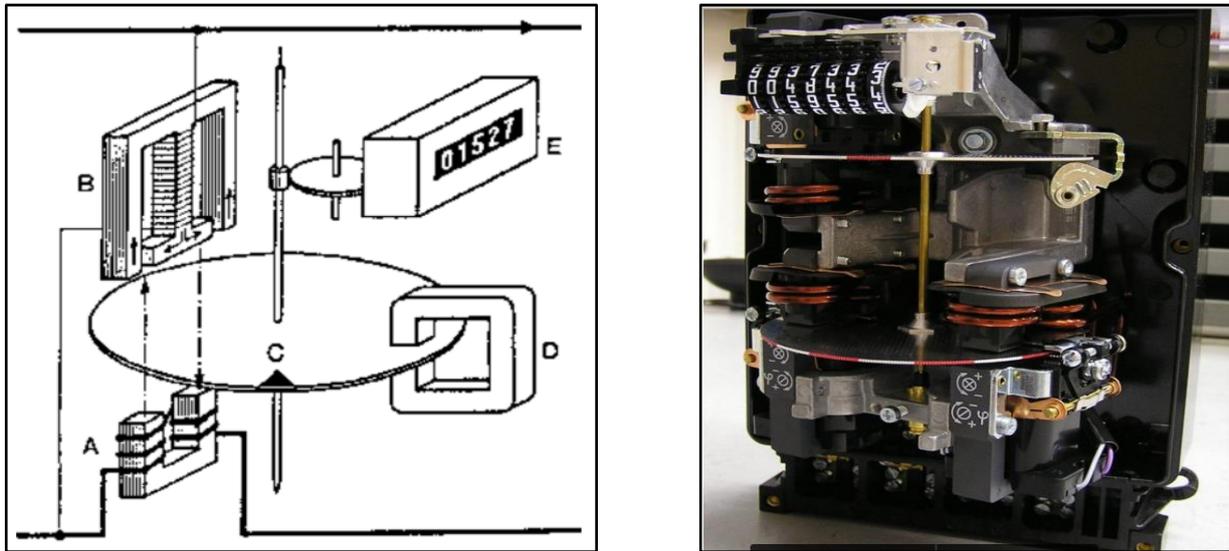


Fig II.3 : Comptage quatre quadrants

**Technologies :** On distingue deux types de comptage :

**II.3.1. Comptage classique**

Compteur dans lequel des courants circulant dans des enroulements fixes réagissent sur des courants induits dans des pièces conductrices mobiles, généralement un disque, ce qui entraîne leur mouvement proportionnel à l'énergie consommé par les abonnés.

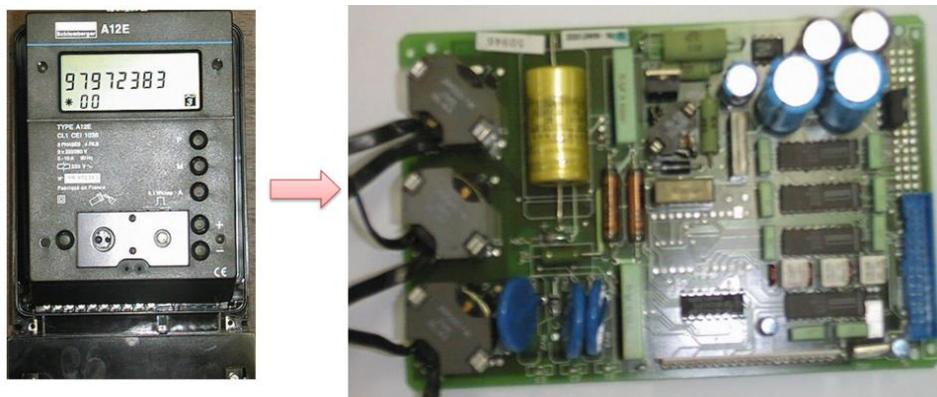


**Fig II.4 :** Comptage classique

- (A) Bobine courant
- (B) Bobine tension
- (C) Disque (courants de Foucault)
- (D) Aimant permanent
- (E) Afficheur

**II.3.2. Comptage électronique**

Compteur dans lequel le courant et la tension appliqués à un élément électronique de mesure produisent une sortie proportionnelle à l'énergie électrique consommé par l'abonné [5].

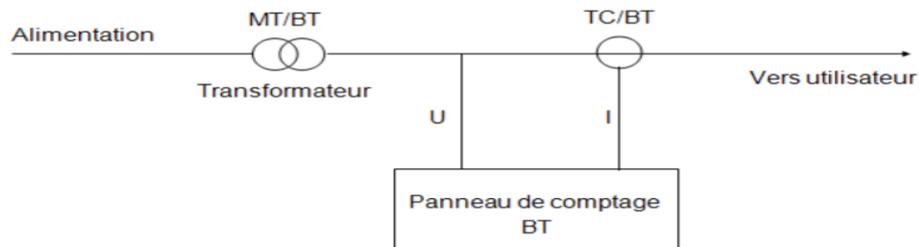


**Fig II.5 :** Comptage Electronique

### II.3.3. Techniques de comptage SDC

#### II.3.3.1. Comptage type A

- Réalisé sur la basse tension pour un abonné HTA,
- La puissance du transformateur est inférieure ou égale à 630 KVA,
- PMD Inférieure ou égale à 500 KW.



**Fig II.6 :** Comptage de type A

#### II.3.3.2. Comptage type B

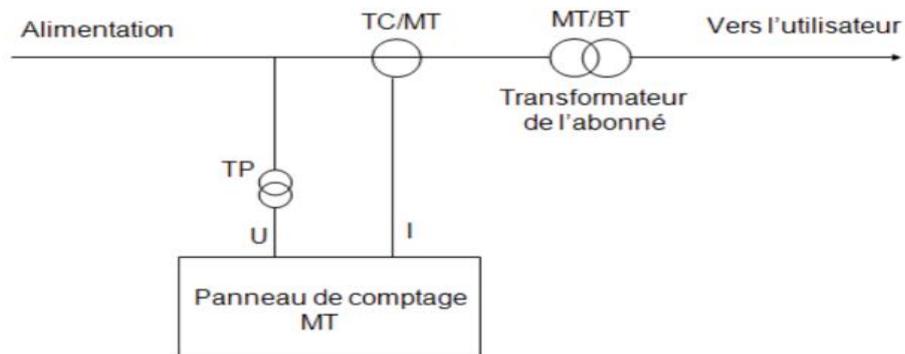
Il est réalisé sur la moyenne tension en amont du transformateur,

La Puissance du transformateur :  $630 \text{ KVA} < \text{STR} \leq 2500 \text{ KVA}$ ,

PMD supérieure à 500 KW et inférieure ou égale à 2000 KW,

Ou dans le cas de deux ou plusieurs transformateurs :

- $\text{STR} \leq 630 \text{ KVA}$ ,
- $\text{PMD} \leq 500 \text{ KW}$ .



**Fig II.7 :** Comptage de type B

### II.3.3.3. Comptage type C

- Le client étant un abonné HTA ou HTB,
- Le comptage sera réalisé sur la moyenne tension en amont du transformateur de l'abonné,
- Pour une puissance du transformateur supérieure à 2500 KVA,
- PMD supérieure à 2000 KW.

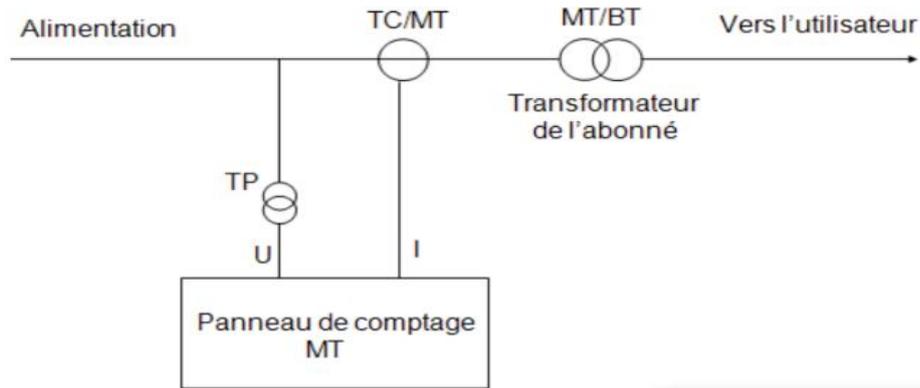


Fig II.8 : Comptage de type C

### II.3.4. Compteur Itron ACE6000

Le comptage au sein de la SARL INDTRAV est réalisé par le biais du compteur numérique Itron « ACE6000 »



Fig II.9 : Compteur numérique Itron ACE6000

Le compteur ACE 6000 est destiné au client dont l'installation est connectée au réseau de type triphasé BT et dont le contrat est supérieur à 36 kVA.

- L'ACE 6000 est un compteur quatre quadrants permettant de couvrir les besoins des contrats producteur et consommateur en un seul et même produit.
- L'ACE 6000 **permet l'enregistrement plusieurs types d'énergie (énergie active, réactive et apparente) et le stockage de courbes de charge** quel que soit le type d'utilisation du compteur (consommateur ou producteur).
- L'ACE 6000 est équipé de trois ports de communication :
  - ✓ Un port de communication optique
  - ✓ Un port téléinformation client
  - ✓ Un port de communication destiné au gestionnaire de réseau de distribution

Le port de communication destiné au gestionnaire de réseau de distribution peut être équipé suivant les besoins de différents media de communication tels que :

Un modem EURIDIS ou un modem GSM [6].

### *Produits Associés*

#### Equipement

- ✓ Modem PME/PMI EURIDIS
- ✓ Modem PME/PMI GSM



**Fig II.10** : Modem PME/PMI

#### Logiciel de relève

- ✓ Saturne et Saturne Mobile



**Fig II.11** : Interface de logiciel saturne

II.3.4.1. Constitution

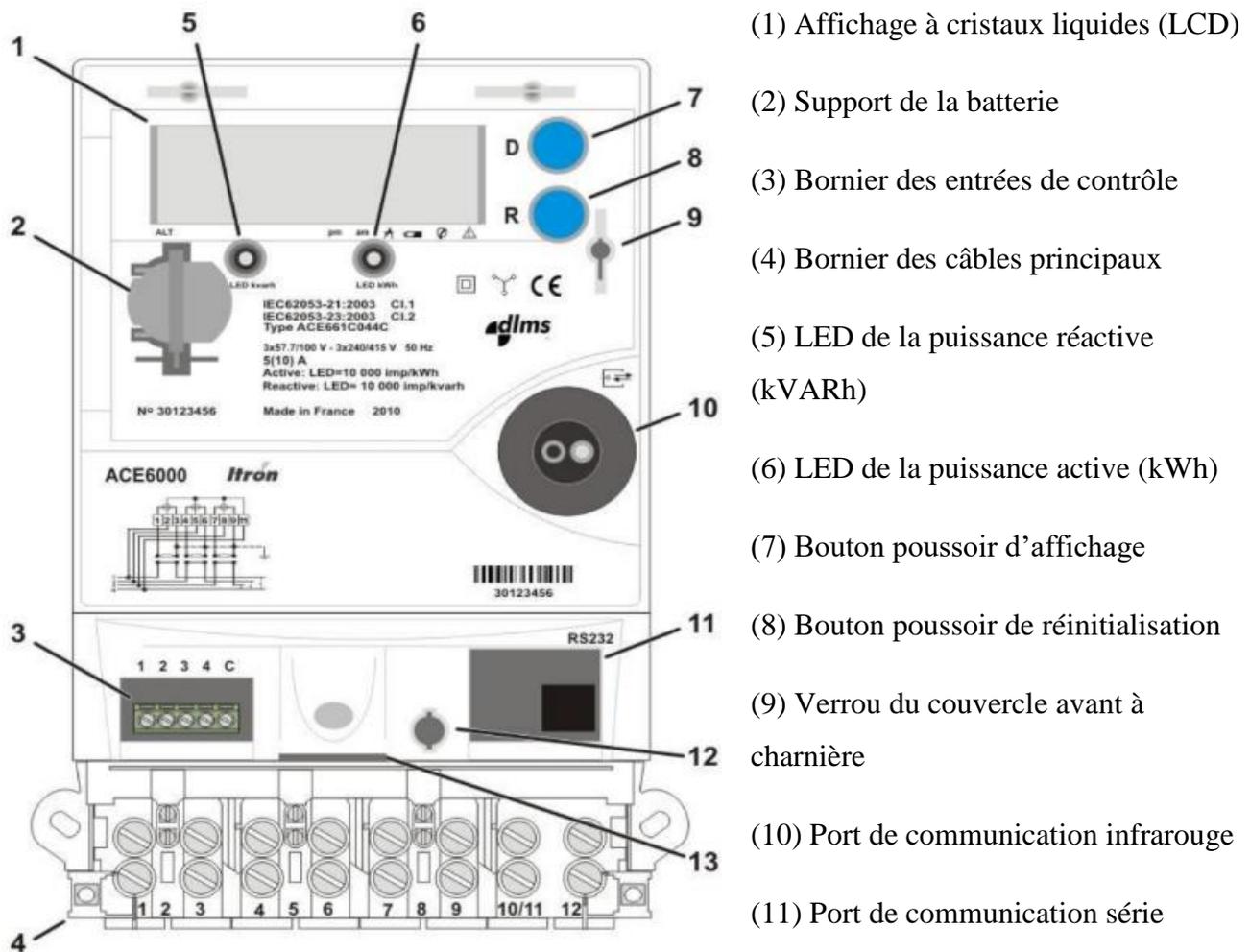


Fig II.12 : Compteur Itron ACE6000

Conclusion

L'objectif assigné au système tarifaire est double, il s'agit d'assurer les volumes de recettes imposés par les exigences du développement équilibré et de gestion saine de l'Entreprise.

En second lieu d'orienter le choix des consommateurs, en concordance avec les options nationales en matière de développement et de politique énergétique en incitant à la minimisation des coûts et à l'efficacité.

Les tarifs ainsi proposés reflètent la structure et le niveau des coûts, en faisant supporter à chaque catégorie de consommateurs les dépenses qu'elle occasionne à la collectivité.



# Chapitre III

## **Compensation de l'énergie réactive**

## Introduction

Dans ce chapitre, on abordera la notion de la puissance réactive en se basant sur son aspect physique et sa formulation mathématique.

En outre, une partie importante de ce chapitre sera consacrée à la compensation de cette énergie afin d'améliorer les performances du réseau électrique.

### III.1. Puissance réactive

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente (ou puissance appelée). Cette énergie se décompose en deux formes d'énergie : L'énergie active et L'énergie réactive

#### ➤ L'énergie active consommée (kWh)

Est celle qui est utilisée par les appareils électriques pour les faire fonctionner. Ces derniers transforment l'énergie active en puissance mécanique, qui servira à faire marcher l'appareil, et en chaleur (pertes). Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).

#### ➤ L'énergie réactive consommée (kVARh)

Est utilisée par les circuits magnétiques de l'appareil en question. C'est elle qui crée par exemple le champ magnétique des bobines ou des transformateurs. L'énergie réactive ne sert donc pas à faire fonctionner l'appareil de manière directe. Toutefois, sans elle, celui-ci ne pourrait pas fonctionner. Elle correspond à la puissance réactive  $Q$  (kVAR) des récepteurs.

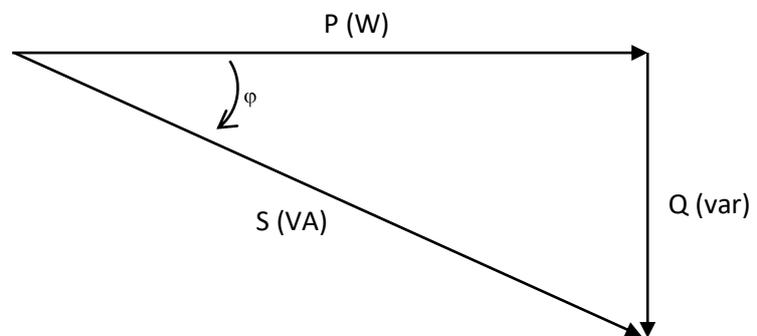
#### ➤ L'énergie apparente (kVAh)

Est la somme vectorielle des deux énergies précédentes.

Elle correspond à la puissance apparente  $S$  (kVA) des récepteurs, somme vectorielle de  $P$  (kW) et  $Q$  (kVAR).

On définit ainsi la Composition vectorielle des puissances (**Fig III.1**)

- ❖ Puissance apparente :  
 $S = U.I$  (kVA)
- ❖ Puissance active :  
 $P = U.I \cos \varphi$  (kW)
- ❖ Puissance réactive :  
 $Q = U.I \sin \varphi$  (kVAR)



**Fig III.1** : Composition vectorielle des puissances

**III.1.1. Sens physique de la puissance réactive**

La nature de la puissance réactive doit être prise en compte pour sa valorisation. Pour cela il est nécessaire de revenir sur sa définition et son interprétation physique. La puissance instantanée d'un système électrique monophasé est définie par :

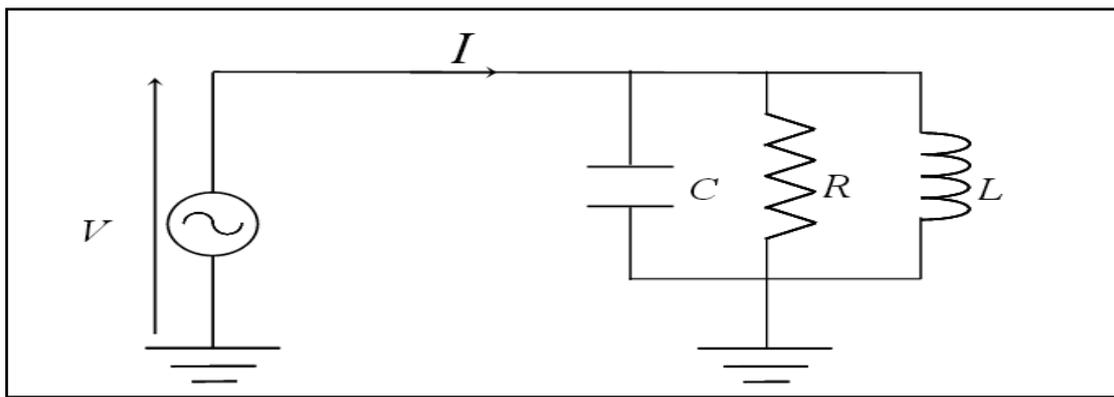
$$p(t) = v(t) \times i(t) \tag{III.1}$$

$$\text{Avec } v(t) = v_{eff} \sqrt{2}. \sin(\omega t) \tag{III.2}$$

$$\text{Et } i(t) = I_{eff} \sqrt{2}. \sin(\omega t - \varphi) \tag{III.3}$$

Où  $V_{eff}$  et  $I_{eff}$  sont les valeurs efficaces de la tension et du courant,  $\omega$  la pulsation, et  $\varphi$  le déphasage du courant par rapport à la tension prise comme référence de phase.

Si l'on considère une charge R L C connectée en parallèle et alimentée par une source de tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz (**Fig : III.2**), les différents éléments vont absorber des courants dépendant de leurs impédances.



**Fig III.2 :** Association en parallèle d'éléments résistif, inductif et capacitif

Chaque élément va absorber les puissances actives et réactives suivantes :

**Tableau III.1.** Les puissances actives et réactives absorbées par la résistance, inductance et capacité

<i>Charge</i>	<i>Impédance</i>	<i>Courant</i>	<i>Déphasage I/V</i>	<i>Puissance active</i>	<i>Puissance réactive</i>
<b>Résistance</b>	$R$	$V/R$	$0$	$V^2/R$	$0$
<b>Inductance</b>	$jL\omega$	$V/L\omega$	$+90^\circ$	$0$	$V^2/L\omega$
<b>Capacité</b>	$1/jC\omega$	$C\omega V$	$-90^\circ$	$0$	$-C\omega V^2$

La puissance instantanée consommée par chacun de ces éléments est sinusoïdale et d'une fréquence double de celle de la source d'alimentation. La puissance instantanée de chaque élément peut être résumée par les expressions suivantes [7] :

$$P_R(t) = v_R(t) \cdot i_R(t) = \frac{V^2}{R} \cos^2(\omega t) = \frac{V^2}{2R} (1 + \cos(2\omega t)) \quad (\text{III.4})$$

$$P_L(t) = v_L(t) \cdot i_L(t) = V \cos(\omega t) \frac{V}{L\omega} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{V^2}{2L\omega} \sin(2\omega t) \quad (\text{III.5})$$

$$P_C(t) = v_C(t) \cdot i_C(t) = V \cos(\omega t) \cdot C \omega V \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \frac{C\omega V^2}{2} \sin(2\omega t) \quad (\text{III.6})$$

### III.1.2. Le facteur de puissance ( $\cos\varphi$ )

Le facteur de puissance est une caractéristique d'un récepteur électrique, il est le rapport entre la puissance active **P (kW)** par ce dipôle et la puissance apparente **S (kVA)** et peut varier de 0 à 1.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{\text{puissance active (kW)}}{\text{puissance apparente (kVA)}}$$

- ✓ Un facteur de puissance **proche de 1** indique une faible consommation de l'énergie réactive
- ✓ Un facteur de puissance **égale à 1** ne conduira à aucune consommation de la puissance réactive (purement résistive).
- ✓ Un facteur de puissance **inférieur à 1** conduira à une consommation de la puissance réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (purement inductive).

#### Remarque

Le facteur de puissance est détérioré par :

- ✓ La puissance réactive (lorsque la tension et le courant sont déphasés)
- ✓ Les harmoniques (lorsque la tension ou le courant présentent des distorsions).

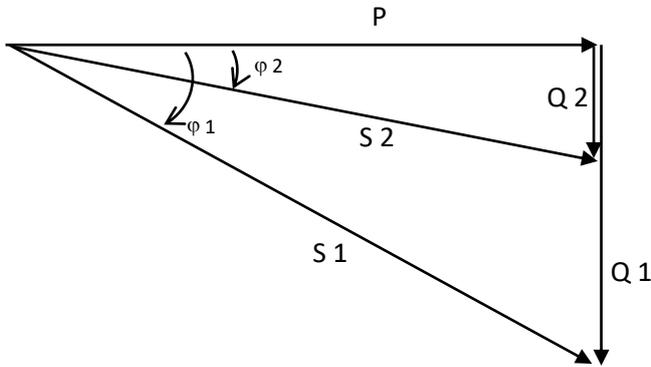
#### III.1.2.1 Inconvénients d'un mauvais $\cos\varphi$

- ✓ Une surcharge ou un surdimensionnement de l'installation. En effet, si le  $\cos\varphi$  diminue, l'intensité de courant en ligne augmente ce qui engendre l'augmentation des pertes d'énergie active dans les câbles.
- ✓ Augmentation de la puissance souscrite en kVA (contrat entre client et SDC).
- ✓ Entraîne une surfacturation SDC par une surconsommation ou une pénalité.
- ✓ Accroît les chutes de tension dans les câbles.
- ✓ Dégrade la capacité de transport de l'énergie électrique par les câbles

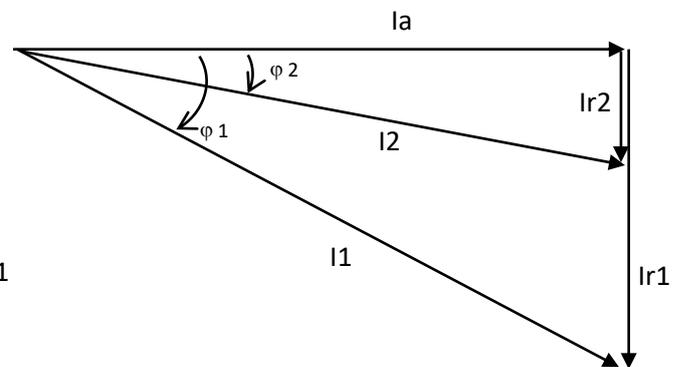
### III.1.3. La circulation de la puissance réactive dans un réseau

La circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques importantes sur le choix des matériels et le fonctionnement des réseaux. Elle a par conséquent, des incidences économiques.

En effet, pour une même puissance active  $P$  utilisée, la figure **III.3** montre qu'il faut fournir d'autant plus de puissance apparente ( $S_1 > S_2$ ) que le  $\cos \varphi$  est faible, c'est-à-dire que l'angle  $\varphi$  est élevé. De façon identique, pour un même courant actif utilisé  $I_a$  (pour une tension constante  $U$  du réseau), il faut fournir d'autant plus un courant apparent ( $I_1 > I_2$ ) que le  $\cos \varphi$  soit faible (**Fig III.4**)



**Fig III.3** : Influence du  $\cos \varphi$  sur la valeur de la puissance apparente



**Fig III.4** : Influence du  $\cos \varphi$  sur la valeur du courant apparent

#### III.1.4. Problématique de l'énergie réactive au milieu industriel

Dans l'environnement industriel actuel, la présence excessive de la puissance réactive dans le réseau électrique peut engendrer plusieurs inconvénients tels que :

- Les surcharges au niveau des transformateurs,
- L'échauffement des câbles d'alimentation et les dispositifs présentent un champ électromagnétique.
- Les pertes supplémentaires dans les lignes, les transformateurs
- Les chutes de tension importantes.
- Dégradation de la durée de vie des équipements et la diminution de leurs performances.
- La dégradation du facteur de puissance. [8,9]

### III.1.5. Energie réactive et composants des réseaux

- **Machines synchrones :** Ces machines ont une fonction de générateurs (d'énergie active) lorsqu'ils transforment l'énergie mécanique en énergie électrique. Ce sont des moteurs dans le cas inverse. En agissant sur leur excitation, ces machines peuvent fournir ou absorber de l'énergie réactive.  
Dans certains cas, la machine ne fournit aucune puissance active. Il est ensuite utilisé comme condensateur synchrone. Les moteurs synchrones sont rarement utilisés comme modulateurs [10].
- **Machines asynchrones :** Elles se différencient des précédentes, en particulier, par leur propriété d'être toujours consommatrices d'énergie réactive. Cette énergie est très importante : de 25 à 35 % de l'énergie active à pleine charge, beaucoup plus à charge partielle. Le moteur asynchrone est universellement répandu. C'est le principal consommateur d'énergie réactive des réseaux industriels.
- **Lignes et câbles :** Les caractéristiques inductives et capacitatives des lignes aériennes et des câbles sont telles qu'ils sont consommateurs l'énergie réactive.
- **Transformateurs :** Les transformateurs absorbent de l'énergie réactive correspondant à environ 5 à 10 % de l'énergie apparente qu'ils transitent.
- **Inductances :** Les inductances sont essentiellement consommatrices d'énergie réactive. Les pertes d'énergie active ne représentent qu'un faible pourcentage de l'énergie réactive ( $Q_r$ ) consommée [10].
- **Condensateurs :** Les condensateurs génèrent de l'énergie réactive avec de très faibles pertes, d'où leur emploi dans l'application de compensation d'énergie réactive ( $Q_c$ ).

### III.2. Compensation de l'énergie réactive

La circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques et économiques importantes sur les réseaux de distribution. Elle entraîne aussi des effets néfastes au milieu industriel (les surcharge, l'échauffement des câbles, les pertes ...)

Pour ces raisons, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau, c'est ce qu'on appelle

#### 'Compensation de l'énergie réactive'.

Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil [11].

### III.2.1. Moyens de compensation de la puissance réactive

Il existe plusieurs catégories de dispositifs de production de puissance réactive : compensateurs synchrones, les bancs de condensateurs et les compensateurs statiques de puissance réactive.

#### III.2.1.1. Compensateurs synchrones

Les compensateurs synchrones sont des alternateurs synchrones connectés au réseau, mais ils ne sont pas entraînés par une turbine et ne fournissent donc pas de puissance active. Comme ils fonctionnent en moteur, ils consomment la puissance active correspondante à la compensation de ces pertes mécaniques et électriques. A l'instar des générateurs synchrones, leur courant d'excitation est réglable, permettant ainsi de contrôler la tension à leur nœud de connexion (**Fig III.5**). [12]



**Fig III.5** : Compensateur synchrone statique

#### III.2.1.2. Compensateurs statiques de l'énergie réactive

Les compensateurs statiques de puissance réactive, ou FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) sont des dispositifs plus récents, qui associent des bancs de condensateurs et de bobines à des convertisseurs d'électronique de puissance permettant de régler la puissance réactive délivrée et absorbée selon le besoin instantané de la charge. Ces appareils ont un temps de réponse très court, de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes (**Fig III.6**). [13]



**Fig III.6 :** les compensateurs statiques de l'énergie réactive

### III.2.1.3. Bancs de condensateurs

Les bancs de condensateurs sont des dispositifs statiques de compensation de puissance réactive. Leur connexion sur les systèmes énergétiques permet d'injecter de la puissance réactive. Néanmoins leur fonctionnement en tout ou rien ne permet pas un pilotage de la tension, même s'ils peuvent être connectés par gradins. Les connexions ou déconnexions de condensateurs entraînent une diminution de leur durée de vie. Un inconvénient supplémentaire de ces dispositifs est que la puissance réactive générée diminue avec le carré de la tension ; en effet la puissance réactive est générée par un banc de condensateur triphasé de capacité par phase  $C$  sous la tension composée  $U$  vaut. [13]

$$Q_c = CwU^2 \quad (\text{III.7}).$$



**Fig III.7 :** Les bancs de condensateur

### III.2.1.3.1. Choix du mode de compensation

La compensation de l'énergie réactive peut être réalisée sur tout point d'une installation. Chaque méthode où elle sera installée suivra une stratégie différente pour obtenir l'amélioration du facteur de puissance.

#### III.2.1.3.1.1. Compensation globale

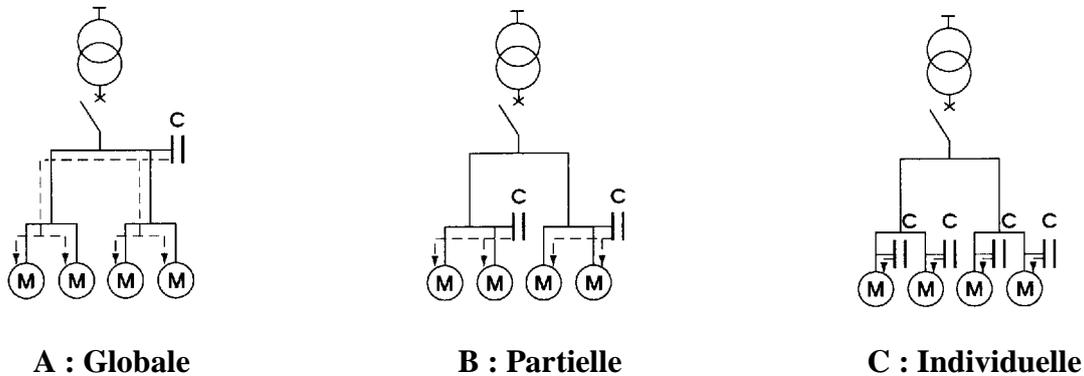
La batterie de condensateurs est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue (**Fig III.8.A**).

#### III.2.1.3.1.2. Compensation locale ou par secteurs (partielle)

La batterie est installée en tête du secteur d'installation à compenser (**Fig III.8.B**). Elle convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

#### III.2.1.3.1.3. Compensation individuelle.

La batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur du type inductif, notamment les moteurs (**Fig III.8.C**). Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantage



**Fig III.8** : Les principe de compensation

III.2.1.3.1.4. Avantages et inconvénients de la localisation

Tableau III.2 : Avantages et inconvénients de la localisation

	COMPENSATION GLOBALE	COMPENSATION PARTIELLE	COMPENSATION INDIVIDUELLE
<b>AVANTAGES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suppression de la facturation d'énergie réactive</li> <li>• Diminuer la puissance apparente en l'ajustant au besoin en puissance active de l'installation</li> <li>• Augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur</li> <li>• Solution la plus économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suppression de la facturation d'énergie réactive</li> <li>• Réduction des pertes en ligne entre le transformateur et les TD secteur</li> <li>• Solution économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suppression de la facturation d'énergie réactive</li> <li>• Réduction des pertes sur toute la ligne entre le transformateur et la charge</li> </ul>
<b>INCONVENIENTS</b>	<p>Pas de réduction de pertes en ligne (chutes de tension pour les charges éloignées de la batterie de condensateurs)</p> <p>Pas d'économies sur le dimensionnement des équipements électriques</p>	<p>Solution généralement utilisée pour réseau usine très étendu</p>	<p>Solution la plus onéreuse compte tenu de la multiplicité des installations</p>

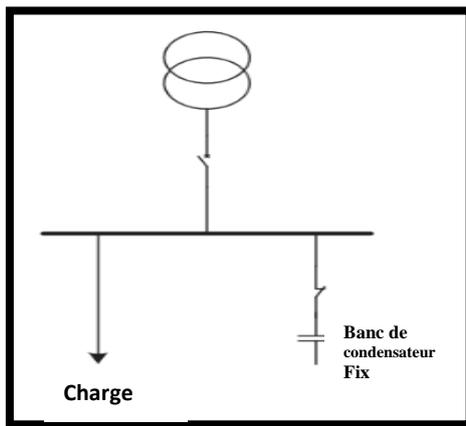
**III.2.1.3.2. Choix du type de compensation**

La compensation peut être réalisée avec deux familles de produits :

**III.2.1.3.2.1. Compensation fixe**

On met en service l'ensemble de la batterie dans un fonctionnement **“tout ou rien”** (Fig III.9). La mise en service peut être manuelle (par disjoncteur ou interrupteur), ou Semi-automatique (par contacteur).

Ce type de compensation est utilisé lorsque la puissance réactive est faible (< 15 % de la puissance du transformateur) et la charge relativement **stable** [10].

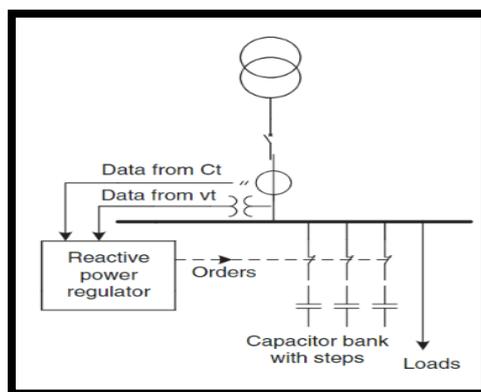


**Fig III.9 :** compensation fix.

**III.2.1.3.2.2. Compensation automatique ou en “gradins”**

La batterie de condensateurs est fractionnée en gradins, avec possibilité de mettre en service plus ou moins de gradins, en général de façon automatique (Fig III.10).

Ce type de batterie est installé en tête de la distribution BT ou d'un secteur important. Cela permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive. L'enclenchement et le déclenchement des gradins sont pilotés par un relais var-métrique, Pour cela, un transformateur de courant doit être placé en amont des récepteurs et des batteries [10].

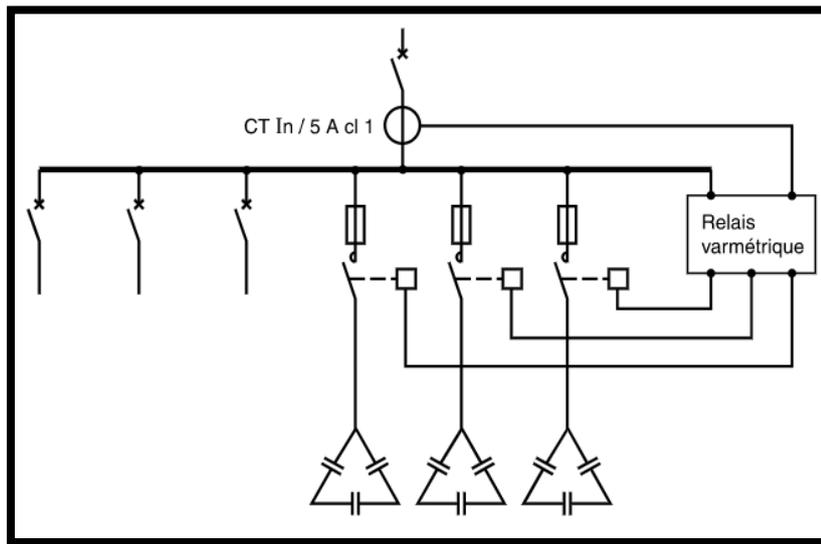


**Fig III.10 :** Automatique compensation.

### III.2.1.3.2.1. Principe et intérêt de la compensation automatique

Les batteries de condensateurs sont divisées en gradins (**Fig III.10**). La valeur du  $\cos \varphi$  est détectée par un relais var-métrique qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et du  $\cos \varphi$  désiré.

Le transformateur de courant doit être placé en amont des récepteurs et des batteries de condensateurs (**Fig III.11**) [14].



**Fig III.11** : principe de la compensation automatique d'une installation

### III.2.1.3.3. Avantages de la compensation d'énergie réactive

#### III.2.1.3.3.1 Avantages économiques

Ces avantages sont liés à l'impact de la compensation sur l'installation et permettent d'évaluer le temps de retour sur investissement. Ces avantages sont les suivants :

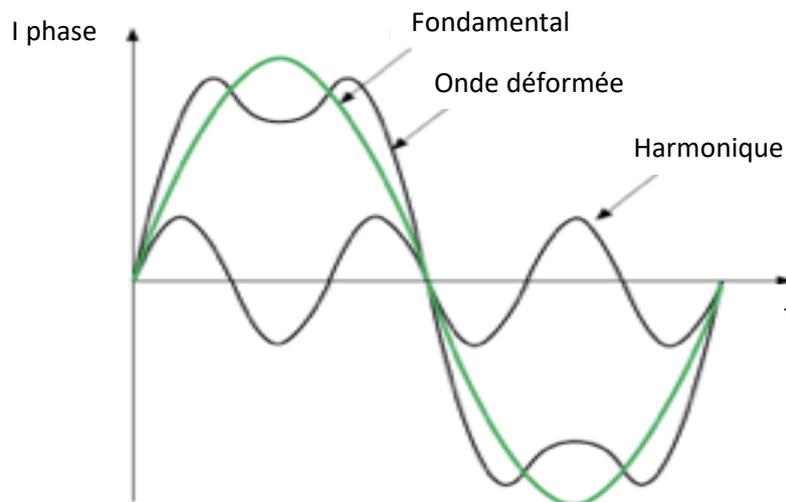
- L'élimination des factures de surconsommation de puissance réactive.
- Réduction de la puissance souscrite en kVA.
- Réduction de la consommation de puissance active en kWh.

#### III.2.1.3.3.2 Avantages techniques

- Diminution de la section des câbles
- Diminution des pertes en ligne
- Réduction de la chute de tension
- Augmentation de la puissance disponible

### III.3. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques

Une charge non linéaire (variateur de vitesse, onduleur...) appelle du réseau électrique un courant déformé, lequel va modifier l'allure de la tension sinusoïdale. Les charges non linéaires génèrent des courants harmoniques qui circulent à partir de la charge vers l'alimentation en empruntant le chemin de la moindre impédance. Les courants harmoniques sont des courants dont la fréquence est un multiple entier de la fondamentale (celle de l'alimentation électrique) [15]. La superposition des courants harmoniques sur le courant fondamental provoque les formes d'onde non sinusoïdales associées aux charges non linéaires (**Fig III.12**).



**Fig III.12** : onde déformée et harmonique en fonction du temps

Lorsque ceux-ci représentent une part significative de la puissance consommée dans une installation, une analyse des harmoniques s'impose. Ceci pour éliminer les possibles nuisances et pour rendre l'installation conforme aux règles et recommandations des distributeurs, garantes d'un bon fonctionnement.

#### Remarque

Les harmoniques sont principalement pris en compte par le surdimensionnement des condensateurs et par la mise en œuvre de filtres en série avec les condensateurs.

#### III.3.1. Effets des harmoniques

- déformation de la tension d'alimentation pouvant perturber des récepteurs sensibles.
- surcharge des réseaux de distribution par l'augmentation du courant efficace.
- Echauffement des condensateurs.
- Echauffement des machines tournantes et des transformateurs.
- Echauffement des câbles.

III.3.2. Solutions envisageables

- filtre passif et/ou bobines anti-harmonique en série (Fig III.13.A)
- filtre actif (ou compensateur actif) (Fig III.13.B)
- filtre hybride. (Fig III.13.C)

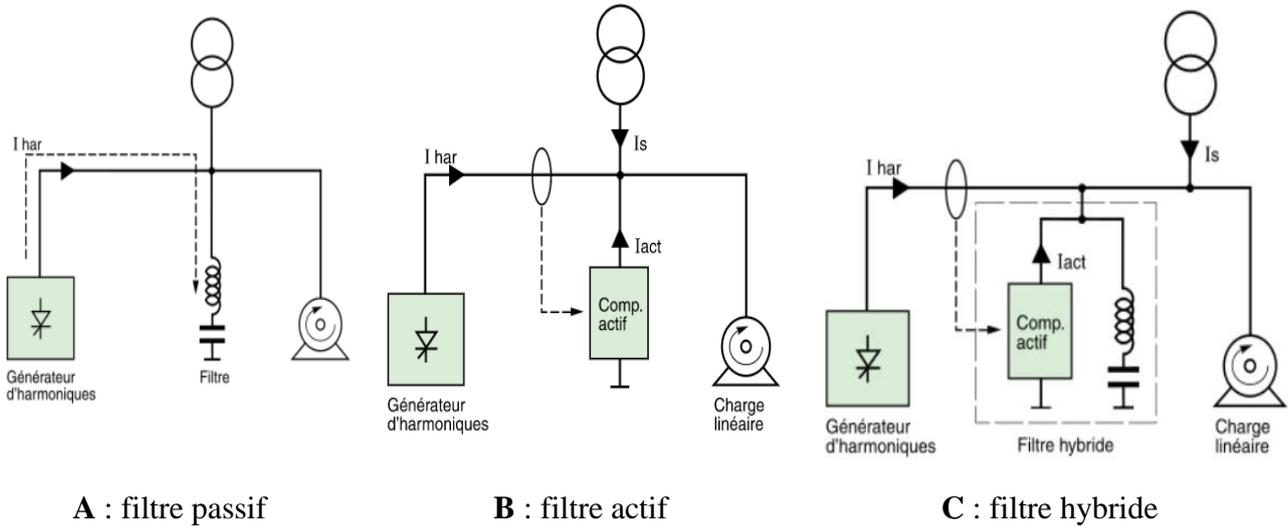


Fig III.13 : Principe de l'utilisation de filtrage d'harmonique

Conclusion

Après un bref aperçu et un survol de la théorie, nous sommes convaincu que l'amélioration du facteur de puissance permet donc de réduire le courant absorbé totale et ainsi diminuer la puissance apparente souscrite (kVA), avoir une diminution au niveau des sections des câbles, des pertes en lignes, une réduction de chute de tension et une augmentation de la puissance du transformateur.

La compensation de l'énergie réactive est une des principales missions de l'ingénieur et de l'installateur électrique car c'est le premier point d'économie d'énergie à dimensionner et à prévoir.



# Chapitre IV

## **Applications et mesures in situ**

## Introduction

A travers l'analyse des consommations en électricité de SARL INDTRAV, il a été enregistré une consommation très importante en énergie réactive. Lorsque la consommation de l'énergie réactive dépasse la moitié de l'énergie active, il est appliqué une pénalisation financière qui est proportionnelle à la quantité de l'énergie réactive consommée. Or dans le cas contraire, c'est une bonification, et cette fois ci, il s'agit d'un montant à déduire de la facture.

La bonne maîtrise de la puissance réactive consommée par l'installation permet alors de limiter les impacts économiques, diminuer la facture énergétique d'une part et d'obtenir une exploitation optimale d'énergie d'autre part.

### IV.1. Tarif « HTA » et le choix des clients

Avant de procéder à l'optimisation de la consommation d'énergie, il est important de comparer les différentes options tarif et de déterminer quel type convient à la consommation de l'entreprise. Il existe 4 tarifs proposés par la SDC qui diffèrent en fonction du temps :

#### IV.1.1. Tarif 41

Il est avantageux pour les abonnés importants et quand la consommation par rapport à la consommation totale sont :

Supérieures à 30 % en heures creuses.

Inférieures à 20 % en pointe.

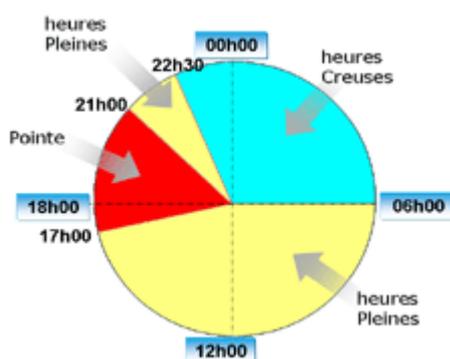


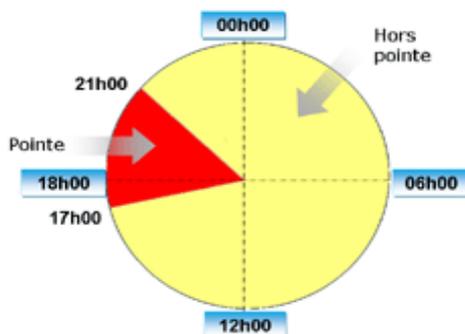
Fig IV.1 : Option du tarif 41

### IV.1.2. Tarif 42

Il conviendrait aux abonnées dont les consommations par rapport à la consommation totale sont :

Inférieures à 30 % en heures creuses.

Inférieures à 20 % en pointe.



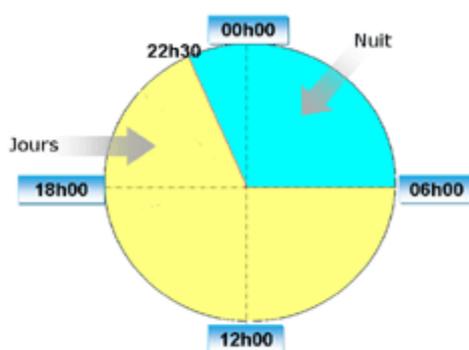
**Fig IV.2 :** Option du tarif 42

### IV.1.3. Tarif 43

Il est recommandé aux abonnés dont les consommations par rapport à la consommation totale sont :

Supérieures à 30 % en heures creuses.

Supérieures à 20 % en pointe.



**Fig IV.3 :** Option du tarif 43

#### IV.1.4. Tarif 44

Il devrait s'appliquer aux abonnés dont les consommations par rapport à la consommation totale sont :

Inférieures à 10 % en heures creuses.

Supérieures à 30 % en pointe. [16]

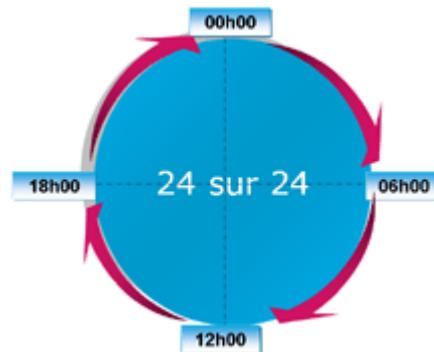


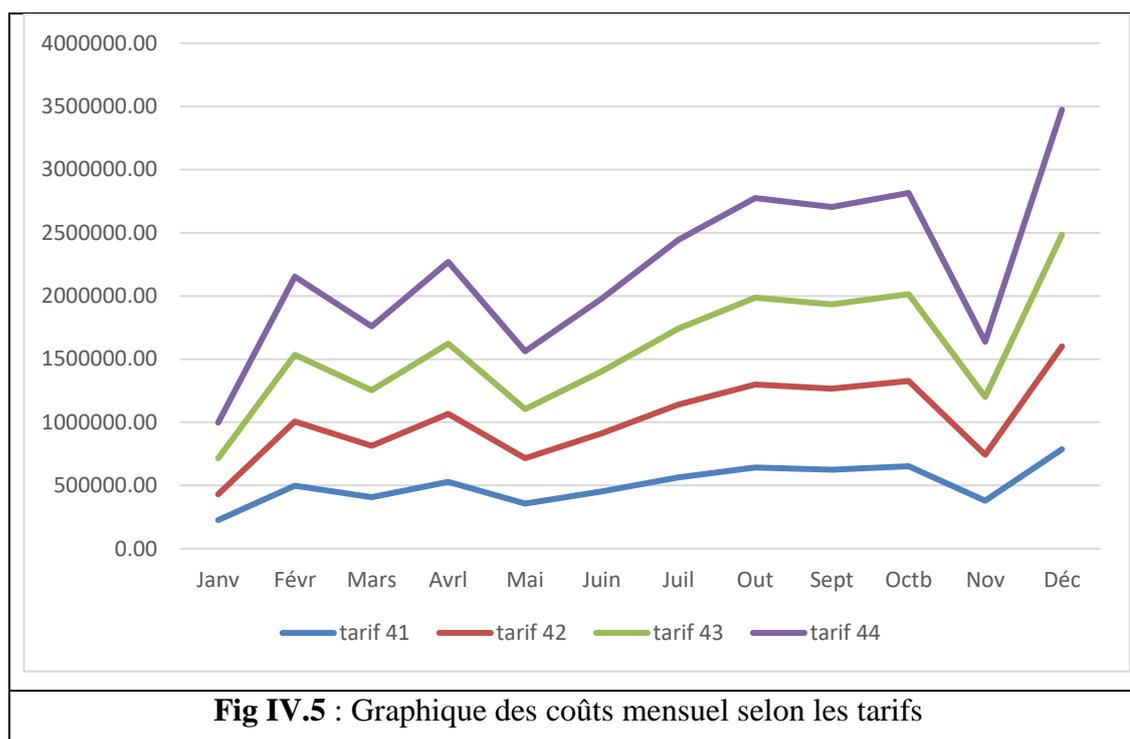
Fig IV.4 : Option du tarif 44

#### IV.2. Factures et coût mensuel selon les types

➤ ANALYSE

Compte tenu du choix opéré par le client, dans notre cas la SARL INDTRAV, le tarif initialement choisi est le tarif 43.

Les calculs opérés avec les autres variantes disponible, il ressort que les tarifs 41 et 42 sont moins couteux, contrairement au tarif 44 (voir graphique du coût de la facture mensuelle sur une période d'une année (**Fig IV.5**)).



**Fig IV.5 :** Graphique des coûts mensuel selon les tarifs

### ➤ SYNTHESE

Quantitativement le tarif 41 est le plus avantageux pour la Sarl dont le régime de fonctionnement de la chaîne de production suit exactement les recommandations de la SDC pour le même tarif c'est-à-dire : Supérieures à 30 % en heures creuses.

Inférieures à 20 % en pointe.

C'est prévisible pour le tarif 44, appelé chez SDC le tarif unique, qui pour le fonctionnement de l'usine est déconseillé et exige un travail inférieur à 10 % en heures creuses.

Supérieures à 30 % en pointe.

Le tarif qu'on recommande à la Sarl est celui de 42, si et seulement si le régime de fonctionnement de l'usine est à l'arrêt pendant la pointe (17h-21h).

**Tableau IV.1 : Les différents prix des tarifs pendant une année**

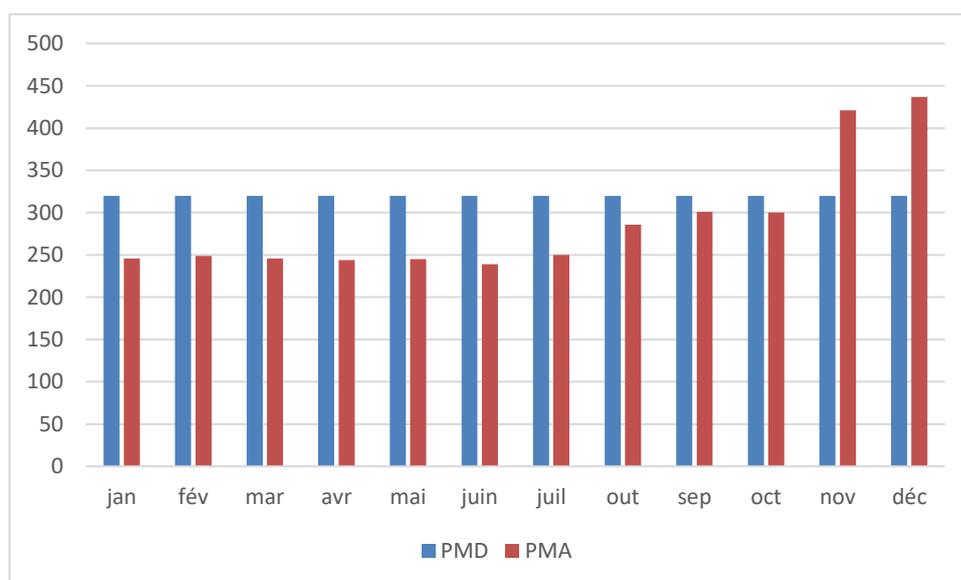
<b>Tarif [DA]</b> <b>Mois</b>	<b>Tarif 41</b>	<b>Tarif 42</b>	<b>Tarif 43</b>	<b>Tarif 44</b>
<b>Jan</b>	226503.87	204536.13	284658.27	282139.43
<b>Fév</b>	499286.55	506931.44	528120.85	618563.33
<b>Mar</b>	407362.95	407311.95	438569.35	507030.53
<b>Avr</b>	529321.35	536516.70	557032.64	646815.31
<b>Mai</b>	358390.63	357604.56	387765.58	457662.19
<b>Juin</b>	453713.16	458908.90	489636.31	577477.11
<b>Juil</b>	564123.16	574988.24	602496.07	702099.26
<b>Out</b>	643031.69	657412.07	686809.99	786512.54
<b>Sep</b>	624447.78	641005.04	666731.16	771640.86
<b>Oct</b>	653227.33	672632.68	688240.64	802008.04
<b>Nov</b>	379224.25	365616.31	455634.50	437948.93
<b>Déc</b>	786665.26	814669.06	883073.42	989457.19
<b>Total [DA]</b>	<b>6125297.98</b>	<b>6198133.08</b>	<b>6668768.78</b>	<b>7579354.72</b>

En conclusion si le client adopte le tarif 42 le gain annuel est de 470635.70 DA, et de 543470.80 DA pour le choix du tarif 41.

### IV.3. Analyse détaillée de la facture

#### IV.3.1. Analyse PMD/PMA

L'ajustement entre l'offre et la demande doit être assuré pour un rendement optimal et une meilleure efficacité énergétique. En analysant notre facture en profondeur nous constatons que la valeur de puissance mise à la disposition dépasse celle demandée par le client et que la valeur de l'énergie réactive est trop grande, donc un cos phi médiocre.



**Fig IV.6 :** Graphique de l'analyse PMD / PMA

L'analyse de la PMD (puissance mise à disposition) et de la PMA (puissance maximale appelé) montre que durant la période allant de janvier à octobre la valeur  $PMD > PMA$ .

Pour les mois de novembre et décembre  $PMA > PMD$ , situation inacceptable et désavantageuse pour la SARL.

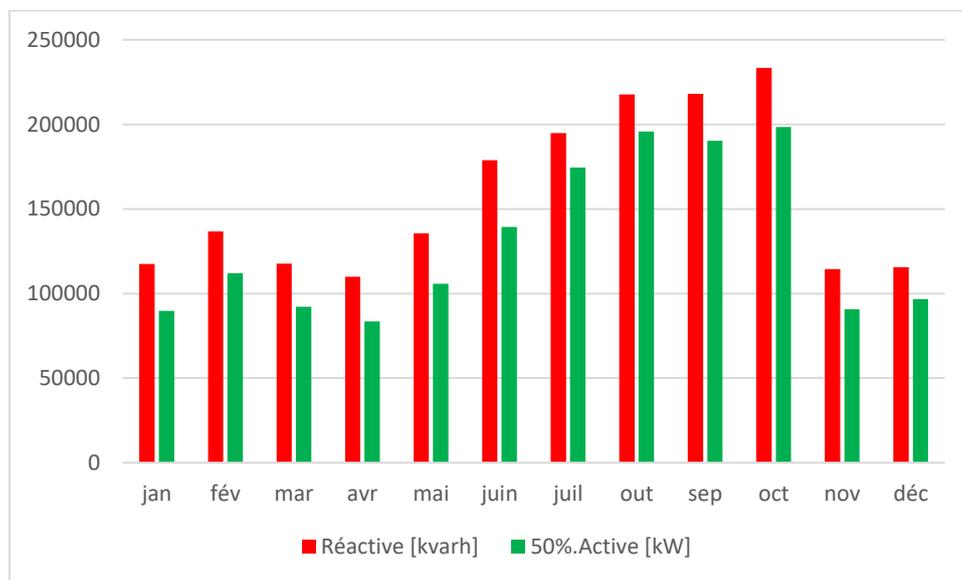
La cause est simple, il s'agit d'une omission du service technique de la SDC qui ont oublié la connexion de la seconde phase, pour l'avantage du client (depuis la mise en service au mois de novembre la valeur PMA est supérieure à la PMD). Le client sera pénalisé en abonnement.

### IV.3.2. Analyse de la consommation réactive

L'analyse des factures du client sur une période d'une année montre clairement que les consommations réactives dépassent la norme SDC en consommation active.

La SDC pénalise les clients lorsque consommation réactive > 50% consommation active, et bonifié lorsque consommation réactive < 50% consommation active.

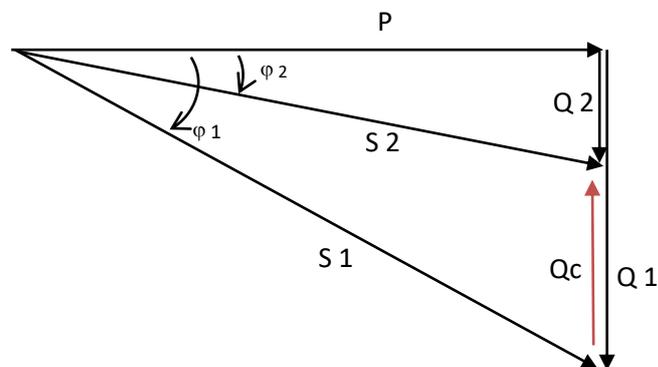
Pour éviter la pénalisation le client doit impérativement compenser son énergie réactive pour améliorer son facteur de puissance.



**Fig IV.7 :** Consommation énergétique pendant une année

#### IV.4. Compensation de l'énergie réactive

Compenser l'énergie réactive, c'est fournir cette énergie à la place du réseau de distribution par l'installation d'une batterie de condensateurs, source d'énergie réactive de puissance  $Q_c$



**Fig IV.8 : Bilan des Puissances**

$$Q_c = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (\text{IV.1})$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (\text{IV.2})$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} \quad (\text{IV.3})$$

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} \quad (\text{IV.4})$$

$P$  = Puissance active

$Q_1$  = Puissance réactive **sans** compensation d'énergie réactive

$S_1$  = Puissance apparente **avant** compensation d'énergie réactive

$\varphi_1$  = Déphasage **sans** compensation

$Q_2$  = Puissance réactive **avec** compensation d'énergie réactive

$S_2$  = Puissance apparente **après** compensation d'énergie réactive

$\varphi_2$  = Déphasage **avec** compensation

Pour la plupart des charges électriques dans les entreprises comme les moteurs, le courant « I » est en retard sur la tension « V » d'un angle «  $\phi$  » comme indiqué dans le diagramme de Fresnel ci-dessous (Fig IV.9).

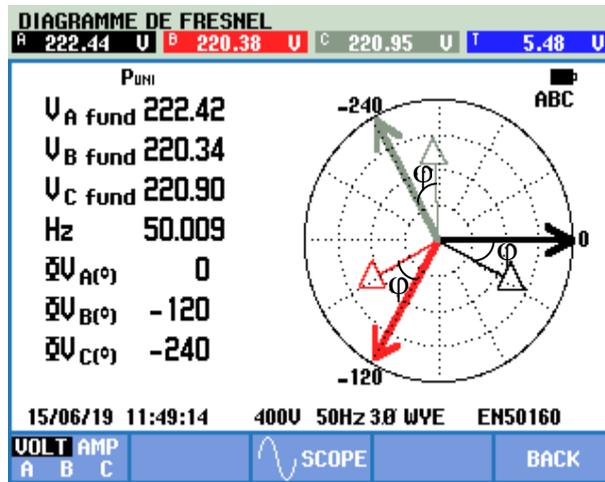


Fig IV.9 : Diagramme de Fresnel

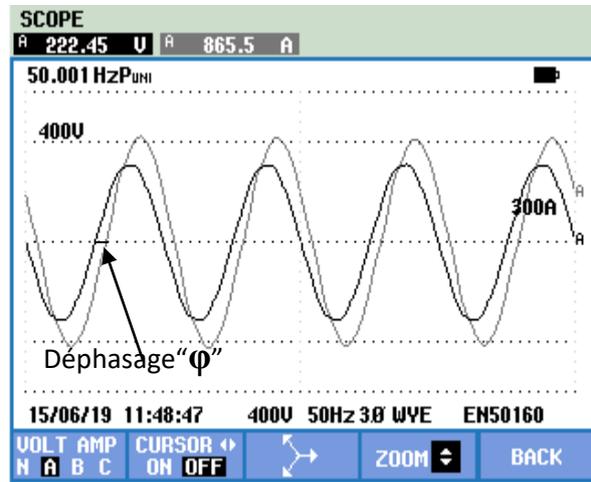


Fig IV.10 : Tension et courant de la phase A

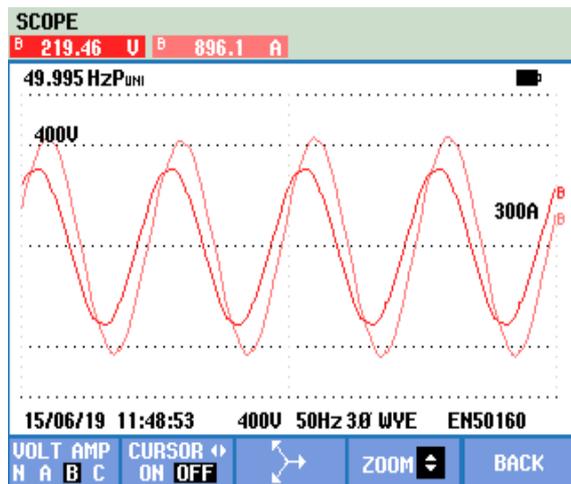


Fig IV.11 : Tension et courant de la phase B

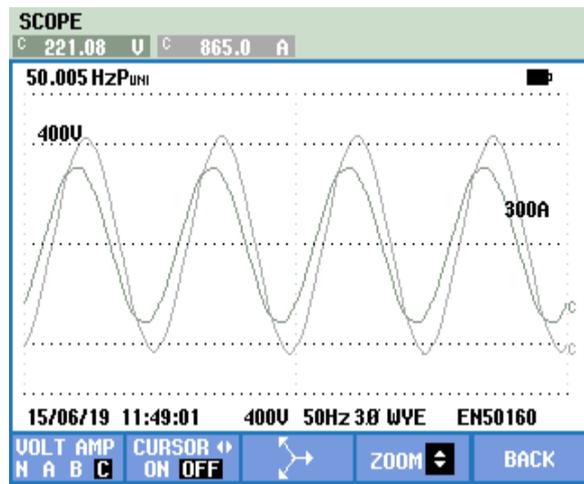


Fig IV.12 : Tension et courant de la phase C

L'analyse de l'énergie réactive à la SARL INDTRAV, ont été réalisé par nos soins en utilisant deux techniques distincts :

- ✓ Les mesures in-situ par analyseur de réseau FLUKE.
- ✓ Par utilisation du logiciel SATURNE.

➤ **Analyseur de réseau FLUKE**

L'analyse a été réalisé in-situ en utilisant un energimètre analyseur de qualité du réseau électrique de marque Fluke 435 série II.

Fluke 435 série II est le seul appareil au monde permettant de monétiser le coût des pertes d'énergie dû à un réseau de mauvaise qualité.



**Fig IV.13** : Analyseur de réseau « FLUKE 435 série II »

Résultats obtenus lors de la mesure sont :

**Tableau IV.2** : Résultats obtenus par analyseur sur 4h

Temp	PF	P [kW]	Q <sub>1</sub> [kVAR]	S <sub>1</sub> [kVA]	I [A]
09:00	0.89	516.76	262.52	577.26	833.31
10:00	0.89	508.00	263.88	570.22	822.72
11:00	0.78	319.14	246.94	402.7	580.23
12:00	0.79	290.56	220.66	363.9	525.24

➤ **Utilisation du logiciel SATURNE**

SATURNE intègre une plate-forme dédiée qui génère l'évolution de la consommation d'énergies est présentée sous formes de courbes. Ces courbes sont générés en utilisant le logiciel SATURNE qui est une solution de collecte de tout type de données de comptage.

Ce logiciel est capable de prendre en charge diverses topologies de communication. Il est basé sur une architecture hautement évolutive et sécurisée et directement connecté au compteur « Itron ACE6000 ».

SATURNE collecte en temps réel et en historique les données de puissances, du courant, de la tension, de l'énergie, et le facteur de puissance...etc. pour des périodes précises (heure, jour, semaine mois et an).



**Fig IV.14** : Interface du Logiciel SATURNE

Résultats obtenus par logiciel SATURNE :

**Tableau IV.3** : Résultats obtenus par logiciel saturne sur 24h

<b>Temps</b>	<b>PF</b>	<b>P</b>	<b>Q<sub>1</sub> [kVAR]</b>	<b>S<sub>1</sub> [kVA]</b>
<b>00:10</b>	0.74	139	155.5	208.59
<b>04:00</b>	0.87	410	210	460.65
<b>08:00</b>	0.84	430	248	496.39
<b>12:00</b>	0.88	470	250	532.35
<b>16:00</b>	0.87	360	190	407.06
<b>20:00</b>	0.87	330	210	391.15
<b>23:50</b>	0.89	335	175	377.95

#### IV.4.1. Calcul de la puissance réactive

La puissance réactive  $Q_c$ , nécessaire à la compensation, se calcule à partir de la puissance active mesurée  $P$  et de la  $\text{tg } \varphi_2$  mesurée de l'installation. Les mesures sont relevées en aval du transformateur.

Par exemple, nous calculons la puissance de condensateur à 8h00 (à partir l'analyseur) :

$$P = 430 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 248 \text{ kVAR}$$

$$S_1 = 496.39 \text{ kVA}$$

$$\text{Cos } \varphi_{\text{mesurée}} = 0.84 \rightarrow \text{tg } \varphi_{\text{mesurée}} = \text{tg } \varphi_1 = 0.645$$

$$\text{Cos } \varphi_{\text{souhaitée}} = 0.98 \rightarrow \text{tg } \varphi_{\text{souhaitée}} = \text{tg } \varphi_2 = 0.203$$

$$Q_c = P. (\text{tg } \varphi_{\text{mesurée}} - \text{tg } \varphi_{\text{souhaitée}}) = 430. (0.645 - 0.203) = 190.43 \text{ kVAR} \quad (\text{IV.5})$$

$$Q_2 = (Q_1 - Q_c) = (248 - 190.43) = 57.57 \text{ kVAR} \quad (\text{IV.6})$$

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{(430)^2 + (57.57)^2} = 433.84 \text{ kVA} \quad (\text{IV.7})$$

##### IV.4.1.1. Calcul de la puissance de compensation à partir des factures d'électricité

Tableau IV.4 : Les mesures sur une année/selon factures

Mois	Energie Active [kWh]	Puissance Réactive [kVARh]	Moyenne mensuelle PF	$\text{tg}\varphi_1$	N° d'heure	Puissance Active [kW]	$Q_c = P(\text{tg}\varphi_1 - 0.203)$ [kVAR]
Jan	179606	117394	0.84	0.65	744	241.41	108.7822339
Fév	223995	136809	0.85	0.61	672	333.33	135.9196652
Mar	184256	117643	0.85	0.63	744	247.66	107.8481613
Avr	166892	109967	0.84	0.65	720	231.79	105.6776722
Mai	211477	135618	0.84	0.64	744	284.24	124.5808723
Juin	278782	178786	0.84	0.64	720	387.20	169.7128528
Juil	349063	194827	0.87	0.55	744	469.17	166.6225954
Out	391474	217679	0.87	0.55	744	526.17	185.7658306
Sep	380709	218071	0.87	0.57	720	528.76	195.5376014
Oct	396813	233369	0.86	0.58	744	533.35	<b>205.397797</b>
Nov	181463	114468	0.84	0.63	720	252.03	107.8208486
Déc	193275	115622	0.86	0.59	744	259.78	102.6709341
<b>Totale</b>	<b>3137805</b>	<b>1890253</b>					

## IV.4.1.2. Calcul la puissance de condensateur à partir d'analyseur de réseau

Tableau IV.5 : Les mesures obtenus pendant 24 heure/Analyseur

Temp	PF	P [kW]	Q <sub>1</sub> [kVAR]	S <sub>1</sub> [kVA]	I [A]	PFC	SH [kVA]	Qc [kVAR]	Q <sub>2</sub> [kVAR]	S <sub>2</sub> [kVA]
09:00	0.89	516.76	262.52	577.26	833.31	0.98	14.98	159.84	102.68	526.68
10:00	0.89	508.00	263.88	570.22	822.72	0.98	7.74	157.13	106.75	519.09
11:00	0.78	319.14	246.94	402.7	580.23	0.98	18.90	191.25	55.69	323.96
12:00	0.79	290.56	220.66	363.9	525.24	0.98	11.38	166.51	54.15	295.56

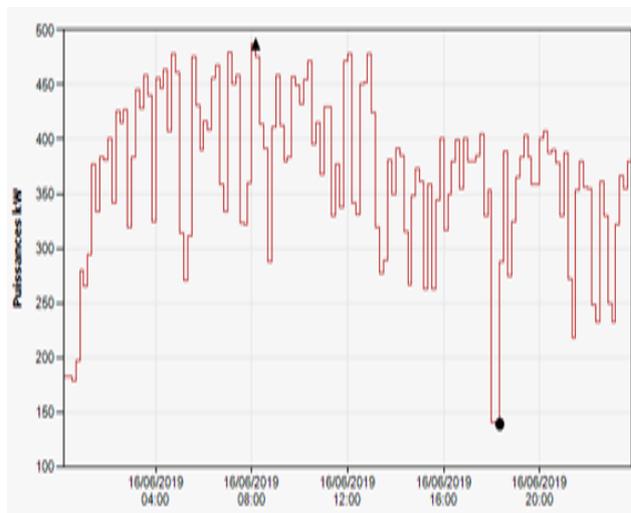
## IV.4.1.3. Calcul la puissance de condensateur à partir de logiciel SATURNE

Tableau IV.6 : Les mesures obtenus pendant 24 heure/SATURNE

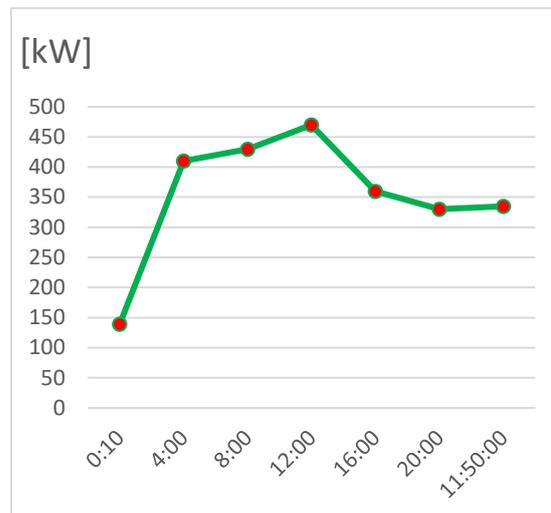
Temp	PF	P[kW]	Q <sub>1</sub> [kVAR]	S <sub>1</sub> [kVA]	PFC	Qc[kVAR]	Q <sub>2</sub> [kVAR]	S <sub>2</sub> [kVA]
00:10	0.74	139	155.5	208.59	0.98	98.12	57.38	150.37
04:00	0.87	410	210	460.65	0.98	149.12	60.88	414.49
08:00	0.84	430	248	496.39	0.98	190.43	57.57	433.83
12:00	0.88	470	250	532.35	0.98	158.26	91.74	478.86
16:00	0.87	360	190	407.06	0.98	130.94	59.06	364.81
20:00	0.87	330	210	391.15	0.98	120.02	89.98	342.04
23:50	0.89	335	175	377.95	0.98	103.62	71.38	342.52

## IV.4.2. Les courbes de charge obtenues pendant les 24h (à partir saturne)

### IV.4.2.1. Puissance active dans l'installation



**Fig IV.15** : Courbe de charge de la puissance active



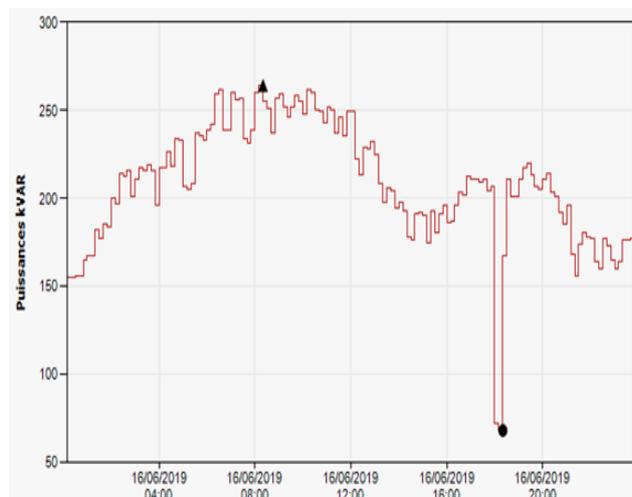
**Fig IV.16** : Courbe de charge de la puissance moyenne active

La courbe illustrée par la (**Fig IV.15**) représente l'évolution de la consommation de la puissance active pendant 24 heures, pour la période allant de 00<sup>h</sup> : 10' à 23<sup>h</sup> : 50' la moyenne de la puissance active sur 24 heures est de 353 kW.

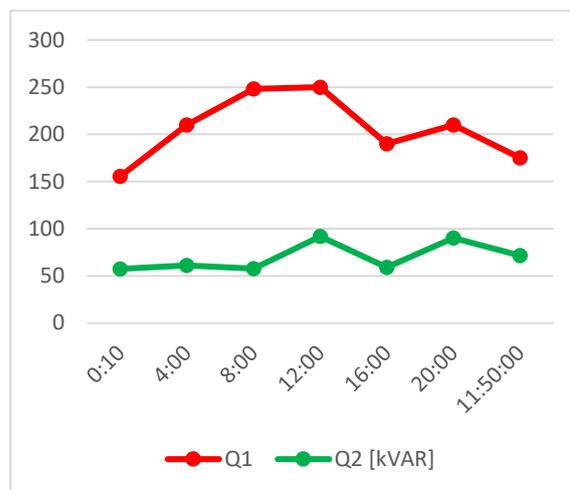
On note un pic à 8h 10mn de l'ordre de 480 KW, et une valeur minimale de 139 KW à 18 :20.

L'analyse des fluctuations pendant la journée est causée par les démarrages des groupes accessoires de la chaîne.

## IV.4.2.2. Puissance réactive de l'installation



**Fig IV.17** : La Puissance réactive avant la compensation



**Fig IV.18** : La puissance réactive après et avant la compensation

La courbe illustrée par la (**Fig IV.17**) montre la puissance réactive qui varie selon le besoin instantané de l'équipement de l'usine à l'exception de la consommation pendant le pic de la journée qui est à 18 :20 on note une similarité entre l'évolution de la puissance active et réactive.

La courbe illustrée par la figure (**Fig IV.18**) montre une grande diminution au niveau de la consommation de l'énergie réactive d'une part, et d'autre part on constate qu'elle est presque une valeur moyenne est constante.

Le condensateur a alors compensé 82.81 % de la puissance réactive consommée puisque la moyenne était de 405.5 kVAR avant la correction de facteur de puissance et est devenue 69.71 kVAR après la correction.

Le condensateur à la propriété de **produire** de la puissance réactive ( $Q_c$ ) venant **compenser** et ainsi **réduire** la **puissance réactive** d'une installation ( $Q_1$ ).

Pour **augmenter** le facteur de puissance on place en dérivation avec l'**installation** un ou plusieurs **condensateurs** et ainsi on obtient une nouvelle **puissance réactive** réduite ( $Q_2$ ).

La puissance apparente et donc le courant sont donc diminués tout en fournissant la même puissance active, on réalise donc des économies sur la **facture d'énergie électrique**.

## IV.4.2.3. Facteur de puissance dans l'installation

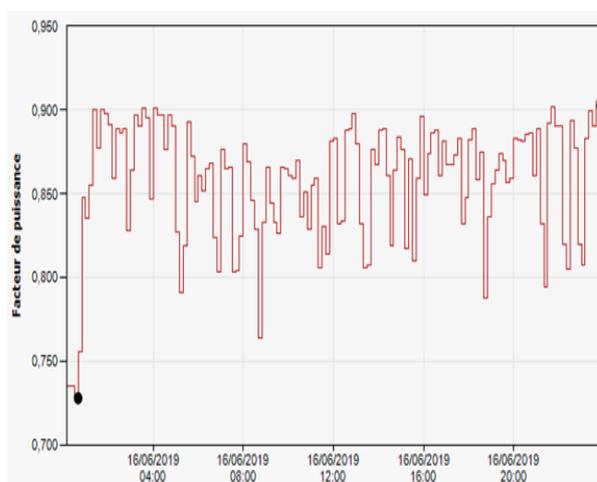


Fig IV.19 : Le facteur de puissance avant la compensation

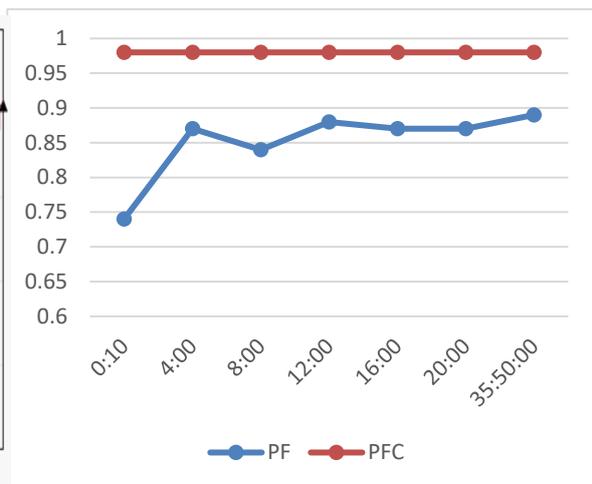


Fig IV.20 : Le facteur de puissance après et avant la compensation

La courbe illustrée par la (Fig IV.20) On constate avant compensation que le facteur de puissance est variable suivant la consommation par contre après la compensation on constate que ce dernier est presque constant durant toute la journée, ceci est compatible avec la courbe précédente de la puissance réactive après la compensation

Notre objectif est d'optimiser le facteur de puissance pour qu'il atteigne des valeurs supérieures à 0,9, dans notre cas nous tablons pour un facteur de puissance de l'ordre de 0,98. Pour l'optimisation des composants d'une installation, le surdimensionnement de certains équipements peut être évité [8].

Le facteur de puissance moyen s'est amélioré de 24 % , il était de 0,85 avant la correction de facteur de puissance et est devenu 0,98 après correction ,il en résulte aucune facturation de l'énergie réactive consommé.

$$\% \text{ Réduction des pertes} = \left[ 1 - \left( \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right] \cdot 100$$

$$\cos\varphi_1 = 0.85 \text{ Et } \cos\varphi_2 = 0.98$$

$$\% \text{ Réduction des pertes} = \left[ 1 - \left( \frac{0.85}{0.98} \right)^2 \right] \cdot 100 = 24\% \quad \text{(IV.8)}$$

## IV.4.2.4. La puissance apparente dans l'installation

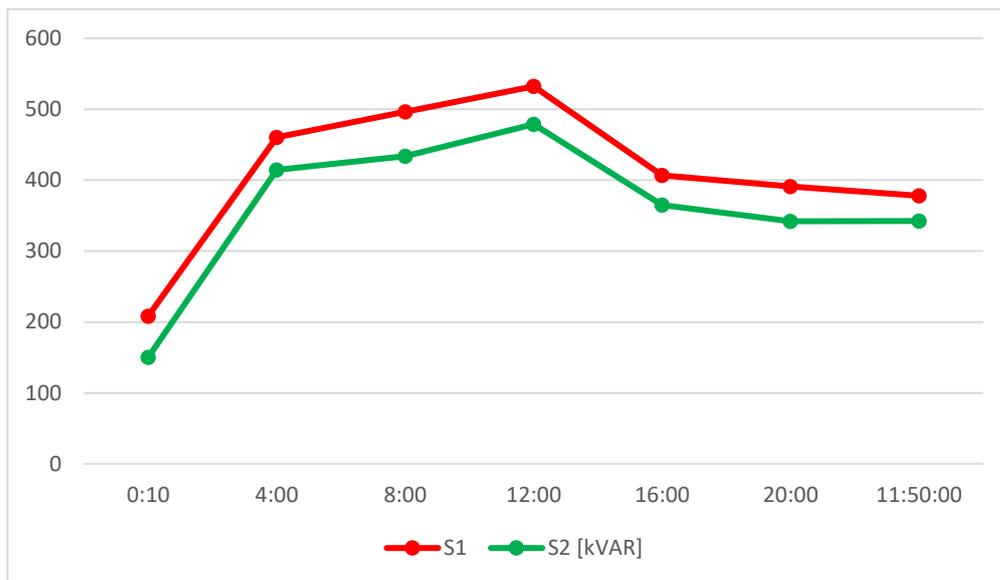


Fig IV.21 : La puissance apparente après et avant la compensation

La charge moyenne sur le transformateur a augmenté de 15 % puisqu'elle était de 422 kVA avant la correction de facteur de puissance et est devenue 366.31 kVA après correction.

$$S_2 = \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \cdot S_1 \quad (\text{IV.8})$$

$$S_2 = \frac{0.85}{0.98} \cdot 422.33 = 366.31 \text{ KVA}$$

La puissance apparente et le courant sont donc diminués tout en fournissant la même puissance active, on réalise donc des économies sur la facture d'énergie électrique.

## IV.4.2.5. Le courant dans l'installation

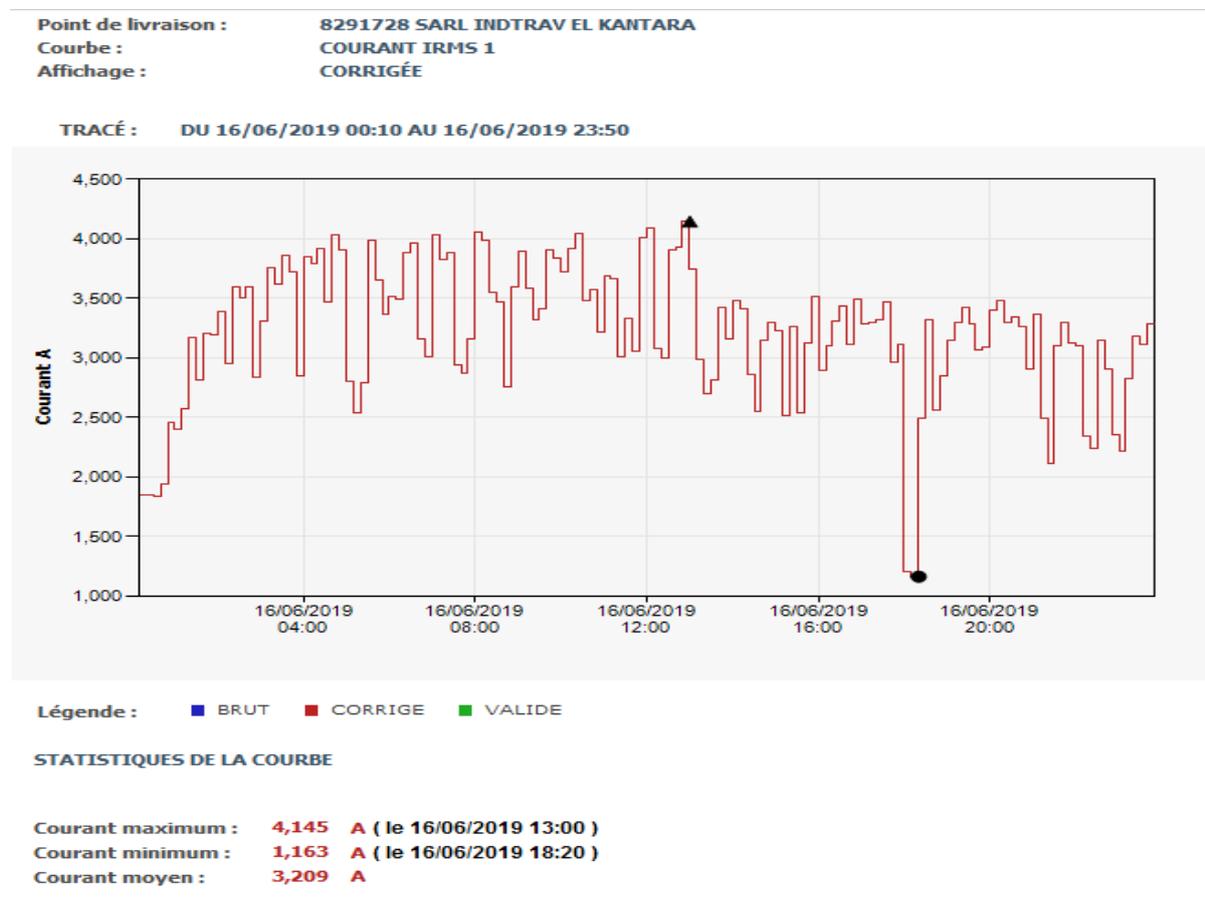


Fig IV.22 : Courbe de charge de courant

Le courant fourni par le transformateur d'alimentation est mesuré par le transformateur de courant TC 1000/5 parce que le compteur "itron ACE6000" de SDC ne supporte pas un courant par exemple de 900 A. Il faut donc que le TC supporte le courant appliquée après l'avoir converti de 1000 A à 5 A. ainsi, toute valeur obtenue par la courbe de courant est multipliée par 200.

1 000/5A



Fig IV.23 : Transformateur de courant (TC)

#### IV.4.2.5.1. Le courant dans l'installation avant et après la compensation

Prenons, par exemple, le courant maximal absorbé avant la compensation pendant 08:00h :

$$I_1 = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_1} = \frac{430 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.84} = 738.88 \text{ A} \quad (\text{IV.9})$$

En appliquant la formule décrite précédemment, la puissance réactive à générer localement par  $Q_c$  peut être obtenue :

$$Q_c = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 430 \cdot (0.645 - 0.203) = 190.43 \text{ Kvar} \quad (\text{IV.10})$$

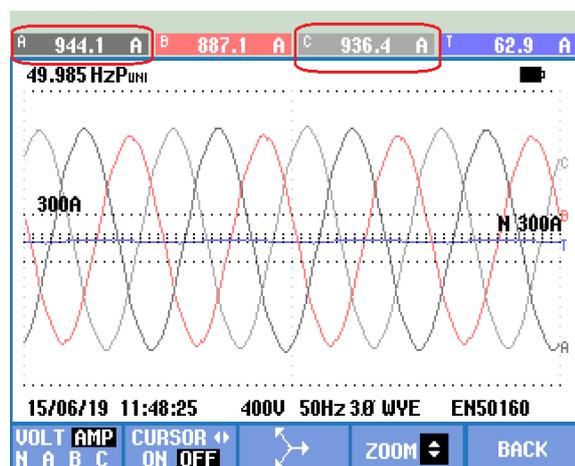
Sous l'effet de la correction du facteur de puissance, le courant absorbé diminue à :

$$I_2 = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_2} = \frac{430 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.98} = 633.31 \text{ A} \quad (\text{Environ } 15\% \text{ de réduction}) \quad (\text{IV.11})$$

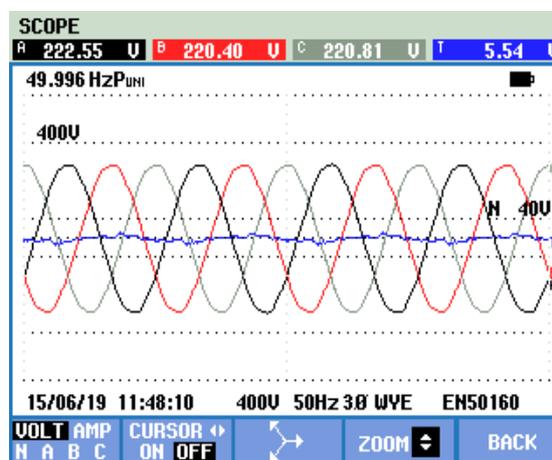
D'une autre façon les pertes de distribution dans une installation peuvent être réduites par l'ajout de condensateurs et l'augmentation du facteur de puissance qui en résulte. Ces pertes sont estimées en additionnant les estimations des pertes des transformateurs et des pertes des câbles. Cette diminution est due à la diminution du courant circulant dans le réseau de distribution et est parfois appelée pertes " $RI^2$ ". Cette relation est donnée par l'équation suivante :  $P = R \cdot I^2$

### ➤ Vérification

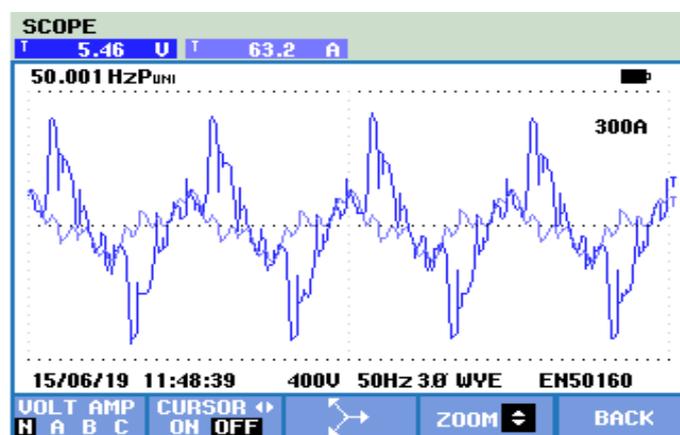
Pendant la mesure instantanée avec l'analyseur dans le but de confirmer les résultats. Nous avons constaté que le courant est de l'ordre de « 944.1 A » (**Fig IV.24**) et dépasse de loin la valeur maximale de « 909 A » (**Fig IV.27**).



**Fig IV.24** : Les trois phases des courants



**Fig IV.25** : Les trois phases des tensions



**Fig IV.26** : Le courant et la tension dans le neutre

La courbe illustrée par la (**Fig IV.25**) montre qu'il y a des tensions pratiquement sinusoïdales équilibrées parce que la tension au niveau de neutre est très faible (**Fig IV.26**) ce que confirme que les tensions de la phase sont presque équilibrées.

La courbe illustrée par la (**Fig IV.24**) montre certain déséquilibre en amplitude entre les phases c'est-à-dire que les phases ne sont pas chargées de la même façon, ce déséquilibre justifié que le courant dans le neutre n'est pas nul (**Fig IV.26**). Il est donc conseillé de répartir les charges pour équilibrer les trois phases.

Le transformateur de 630 KVA supporte juste « 909 A » comme le montre la plaque signalétique suivant :

Regime assigne kVA		630
Phase		3
Frequence	Hz	50
Tension	Ht	30000
Tension second.	Bt	400
Courant	Ht	12.1
<u>Courant</u>	Bt	909
Couplage		Dyn11
Niveau d'isolement		LI 170 / AC 70 / AC 10
Mode de refroidissement		ONAN

Fig IV.27 : plaque signalétique de transformateur 630 kVA

Lors de l'enquête auprès de la société de distribution d'électricité SDC, « service technique » sur la charge du transformateur, il s'avère que le transformateur consomme beaucoup d'énergie apparente et dépasse la puissance maximale de 630 kVA , une consommation de 101.04% comme le montre le tableau donné par le SDC de Biskra suivant :

Tableau IV.7 : fichier de vérification exploitation et surexploitation des transformateur SDC

N°P	P <sub>ins</sub> [kVA]	U <sub>Mes</sub> [V]	U <sub>Brs</sub> [V]	I <sub>1</sub> [A]	I <sub>2</sub> [A]	I <sub>3</sub> [A]	I <sub>Max</sub> [A]	I <sub>Moy</sub> [A]	D <sub>es1</sub> %	D <sub>es2</sub> %	D <sub>es3</sub> %	Max Dés %	P <sub>Mes</sub> [kVA]	K <sub>Ch</sub> %
1009	630	230	222	944.1	887.1	936.4	944.1	922.5	2	4%	2%	4	636.54	101.04

La Sarl INDTRAV doit impérativement réduire la consommation d'énergie par l'ajout de transformateur supplémentaire ou le remplacement par un autre plus puissant pour pouvoir alimenter une augmentation de la charge.

L'ajout de transformateur coûtera très cher et son remplacement par un nouveau plus puissant coûtera aussi cher, pour résoudre ce problème économique, on optera pour une amélioration du facteur de puissance, son augmentation induit une diminution du courant fourni par le transformateur d'alimentation et, de ce fait, permet d'alimenter des charges supplémentaires.

### Les bénéfices liés à l'installation d'une batterie de condensateurs

La puissance délivrée par le transformateur est de 630 kVA, or le besoin en puissance apparente est plus élevé (636.54 kVA)

Le transformateur est donc surchargé. L'installation d'une batterie de compensation permet de réduire le transport de l'énergie réactive sur le réseau

Elle baisse le besoin en puissance apparente à 545.60 kVA ( $\cos\phi_1 = 0.84$ ,  $\cos\phi_2 = 0.98$ ), soit un gain de 102 kVA et élimine les problèmes de surcharge du transformateur.

#### IV.4.2. Choix du mode de compensation

En vue de compenser l'ensemble des charges, la solution technico-économique consiste en l'utilisation de la compensation globale, la batterie est alors **raccordée en tête d'installation**.

Il s'agit de la solution la plus utilisée pour l'élimination des pénalités imposées par le gestionnaire de réseau et qui permet en prime de soulager le poste de transformation et le rendement sera meilleur et prolonger ainsi sa durée de vie et la plus économique par rapport les autres modes [8].



Fig IV.28 : Mesure réalisée par nos soins en tête de l'installation

### IV.4.3. Choix du type de compensation

Nous proposons une **compensation automatique** parce que la charge variable et instable.

La puissance des condensateurs que nous avons précédemment calculée sont supérieure à 15% de la puissance du transformateur :

$$\frac{Q_c}{S_n} \cdot 100\% = \frac{190}{630} \cdot 100 = 30\% > 15\% \quad (\text{IV.12})$$

**Q<sub>c</sub>** : puissance de la batterie de condensateurs en kVAR.

**S<sub>n</sub>** : puissance apparente du transformateur de l'installation en kVA.

La Compensation automatique est caractérisée par :

Les batteries sont fractionnées en "gradins" avec possibilité de mettre en service ou hors service plus ou moins de gradins en général de façon automatique. C'est un "**ajustement automatique**" aux besoins. Ces batteries sont très utilisées pour l'industrie (forte puissance installée) et les distributeurs d'énergie dans les postes sources.

- Elle permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive.
- Chaque gradin est manœuvré avec un interrupteur ou un contacteur à coupure dans le SF6.
- L'enclenchement ou le déclenchement des gradins de condensateurs peut être piloté par des relais var-métriques.



**Fig IV.29** : Batterie de condensateurs automatique

#### IV.4.4. Détermination du type de batterie en fonction au niveau harmonique

Dans le cas d'un réseau fortement pollué en harmoniques il est conseillé :

- D'utiliser des batteries de condensateurs avec self anti-harmoniques type SAH, SAH renforcé et SAH sur-renforcé, qui limitent les courants harmoniques absorbés
- D'utiliser des batteries **standard** lorsqu'il y a peu ou pas d'harmoniques type S
- D'utiliser des batteries avec condensateurs surdimensionnés type H

Le tableau ci-dessous permet le choix du type de batterie en fonction du degré de pollution en harmoniques par mesure du pourcentage de **THDi** et du **THDv** ou par estimation du pourcentage de la puissance totale des charges non linéaires **SH/ST** [17].

**Tableau IV.8** : Choix de types de batteries en fonction du degré de pollution en harmoniques

Mesures		Estimation	Type de condensateurs à utiliser
THDv%	THDi%	SH/ST%	
≤3	≤10	≤15	Type S
≤4	≤15	≤25	Type H
≤6	≤30	≤35	Type SAH
≤8	≤40	≤50	Type SAH-Renforcé
≤11	≤55	≤65	Type SAH-Sur renforcé OU Filtre actif
>11	>55	>65	Filtre actif Filtre actif

**ST** : puissance en kVA du transformateur HTA/BT

**SH** : puissance foisonnée en kVA des générateurs d'harmoniques présents au secondaire du ou des transformateurs HTA/BT à compenser.

**THDi** : pourcentage de pollution de courant harmonique totale

**THDv** : pourcentage de pollution de tension harmonique totale.

Pour le cas de notre usine objet de notre étude, nous avons mesuré en tête d'installation, et nous obtenue les spectres suivants :

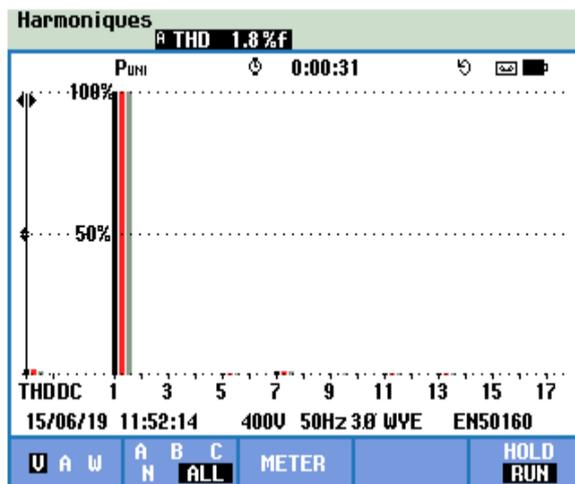


Fig IV.30 : L'ensemble des Harmoniques de tension, du rang 1 au rang 17

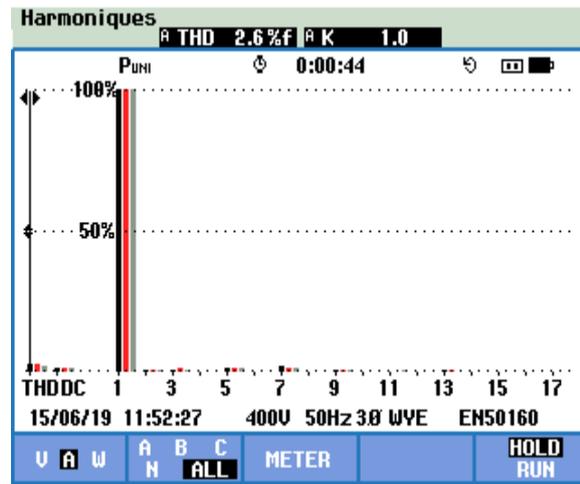


Fig IV.31 : L'ensemble des Harmoniques de courant, du rang 1 au rang 17

$$THDv\% = 1.8\% \leq 3 \quad (IV.13)$$

$$THDi\% = 2.6\% \leq 10 \quad (IV.14)$$

$$\frac{SH}{ST}\% = \frac{14.98}{630} = 2.37\% \leq 15 \quad (IV.15)$$

Selon le tableau ci-dessus, le type de condensateur à utiliser dans la SARL INDTRAV est batterie standard « Type S »

### Conclusion générale

Nous voici au terme de notre travail intitulé « amélioration de la facturation par compensation de l'énergie réactive ». Le choix de notre étude a été motivé par le fait que dans le monde actuel où nous sommes appelés à devenir des ingénieurs en maintenance industrielle, il nous est indispensable de connaître la contribution au bon fonctionnement des moyens et des outils des activités de production afin d'avoir une meilleure adaptation dans un environnement où règne une concurrence féroce.

La demande d'électricité varie en tout point de la journée et de la saison. L'électricité ne pouvant être stocké, il est difficile de maintenir l'équilibre production-consommation, c'est pour cette raison que SDC propose des prix du kWh différents pendant les différentes saisons et les différents horaires de la journée afin de pouvoir réguler la consommation.

Après une étude détaillée nous arrivons aux résultats suivants :

- **Une augmentation du montant de la facture SDC sous forme de pénalité (PMA>PMD) et (Energie réactive > 50%. Energie active)**
- **Un mauvais choix des postes horaires.**
- **L'usine absorbe plus de puissance réactive que de puissance active**

Cela nous à obligé à diagnostiqué les factures une à une pour en arrivé à des solutions économique et à guidé l'utilisateur pour les choix futurs et opter pour la meilleure prise de décision possible.

Pour qu'un système d'aide à la décision soit efficace, il faut qu'il s'appuie notamment sur la recherche opérationnelle notre objectif de recherche n'est pas de « prendre la décision » mais de clarifier une vision du contexte dans lequel la décision sera prise.

Pour trouver les meilleures solutions possibles, nous avons opérer en 4 étapes :

- Dresser la liste des actions potentielles
- Dresser la liste des critères à prendre en compte
- Établir un tableau des performances
- Agréger les performances

Ce travail a été pour nous l'occasion d'approfondir les théories acquises en formation et pourra aider d'autres étudiants qui traiteront ce sujet sous d'autres dimensions et vont s'en inspirer, et

éventuellement nous compléter pour une meilleure évolution scientifique. En tout état de cause, ce travail restera, nous osons l'espérer, une référence académique pour les promotions futures. Nous pensons que notre étude sera le démarrage d'un axe de recherche qu'on va entreprendre au département d'électromécanique pour montrer qu'il ne s'agit naturellement pas du seul critère à prendre en compte pour comparer les offres du fournisseur d'électricité (SDC). Tous les critères doivent également entrer en ligne de compte dans le choix adéquats pour consommer moins.

### Bibliographie

- [1] M. DAIFI Rabah Khalil Yakoub "Etude et automatisation d'une machine de remplissage de bouteilles" Mémoire de Master en 2016
- [2] SONELGAZ-SDC " La tarification d'énergie" Direction régionale ouargla, Division des relations commerciales
- [3] [www.sdc.dz/spip.php?article42](http://www.sdc.dz/spip.php?article42) , 14/06/2019
- [4] document sonelgaz 2014
- [5] Dr. Mohamed ZELLAGUI, "Comptage et Compteurs Électrique" Formation: PINC-SDE Promotion:2,2018
- [6] Fiche produit Itron "ACE6000 PME/PMI", 2012
- [7] Martin Hennebel, "valorisation des services système sur un réseau de transport d'électricité en environnement concurrentiel" thèse de doctorat de l'université de paris le 11/ 2009
- [8] Fiche technique de Schneider "Solutions de compensation d'énergie réactive et filtrage d'harmoniques Moyen tension" 07/2013
- [9] Theodore wildi " électrotechnique" 3 ème edition, 2006
- [10] Electric Distribution Systems, Second Edition. Abdelhay A. Sallam and Om P. Malik 2019 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Published 2019 by John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Merlin Gerin, "Guide de la compensation d'énergie réactive et du filtrage des harmoniques basse tension N°6", 2011
- [12] Nabil MANCER, "Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) ", Magister de université de biskra 2012
- [13] Martin Hennebel, "valorisation des services système sur un réseau de transport d'électricité en environnement concurrentiel thèse de doctorat de l'université paris 11 2009
- [14] Guide de conception des réseaux électriques industriels Shneider
- [15] Fiche d'application de Chauvin arnoux, " Harmoniques - ed 1" , 05/2008
- [16] <http://www.sdc.dz/spip.php?article99> , 14/06/2019
- [17] Alpes technologies "Compensation d'énergie réactive et maîtrise de la qualité des infrastructures électriques", AT216001, Juin 2016