



**Mémoire de Projet de fin d'étude**

**Préparé par**

**DRIOUACH Raja**

**Pour l'obtention du diplôme**

**Ingénieur d'Etat en**

**SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS**

**Intitulé**

**L'optimisation de l'énergie électrique au sein de  
la société CBGS**

**Encadré par :**

**Pr LAMCHARFI Taj-eddine**

**Mr MARZAK Tarik**

**Soutenu le 22 Juin 2016, devant le jury composé de :**

**Pr LAMCHARFI Tajeddine ..... Encadrant**

**Pr ECHATOUI Nor-Said ..... : Examineur**

**Pr EL MARKHI Hassan ..... : Examineur**

# *Dédicaces*

Ce travail est dédié :

A mon cher père, Monsieur, qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

A ma chère mère, que je ne cesse de remercier pour tout ce qu'elle m'a donné. Elle m'a supporté 9 mois dans son ventre et a fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui. Que Dieu la récompense pour tous ces bienfaits.

A ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenue tout au long de ce projet : mes sœurs, sans oublier ma grand-mère que j'aime.  
A toute ma famille.

A IBRAHIMI Hind, KASSIR Chafiaa, AHMAMMAD Boujmaa, IMZIL Soumia et tous les amis.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

DRIOUACH Raja.

# *Remerciements*

Je tiens à présenter ma reconnaissance et mes remerciements à mon encadrant Mr. LAMCHARFI Taj-eddine (Professeur à l'a FST), Mme. NABIL Samira (Directrice de la CBGS) et Mr. MARZAK Tarik (encadrant a la CBGS), pour le temps consacré à la lecture et aux réunions qui ont rythmées les différentes étapes de mon stage. Les discussions que nous avons partagées ont permis d'orienter mon travail d'une manière pertinente. je les remercie aussi pour leur disponibilité à encadrer ce travail à travers leurs critiques et leurs propositions d'amélioration.

J'exprime toute a gratitude au personnel de la CBGS pour leur soutien amical et leur collaboration.

J'adresse aussi ma reconnaissance à tous mes enseignants de l'a FST pour la formation qu'ils m'ont donnée, ainsi aux membres de jury qui ont accepté de juger mon travail.

Merci enfin à toutes les personnes qui je n'ai pas été citée et qui ont pourtant posé une pierre à l'édifice en m'accordant quelques minutes de leur temps, une information, un conseil ou tout simplement un soutien. Merci pour leur aimable collaboration.

DRIOUACH Raja.

## Résumé :

Ce projet industriel de fin d'étude s'inscrit dans le cadre de la politique l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie. Il s'agit d'une optimisation de l'énergie électrique de l'usine d'embouteillage des boissons gazeuses « CBGS » ayant pour objectif de déterminer ses profils de la demande et de la consommation de l'énergie électrique, d'identifier les gisements d'économie et de proposer des solutions d'amélioration en les étudiant techniquement et financièrement.

## **Abstract:**

This industrial graduation project fits in the context of the politic energy efficiency improvement polity in the industry. It is an optimization of the electric energy of a soft drinks bottling factory aiming to analyze its electrical energy demand and consumption patterns in order to identify potential savings and suggest improvement solutions while studying them technically and financially.

## Liste des abréviations

**CBGS** : Compagnie des Boissons Gazeuses du Sud  
**NABC**: North Africa Bottling Company  
**PET**: Ligne de production du plastique.  
**SASIB** : Ligne de production du verre (1 litre).  
**ORTHMAN** : Ligne de production du verre (0.35 ,0.30 ,0.5 litre).  
**SAMIFI** : Groupe de fabrication du froid.  
**PS** : Puissance souscrite  
**RDPS** : Redevance du dépassement de la puissance souscrite  
**RADEEMA** : Régie autonome de distribution d'eau et d'électricité de Marrakech  
**HN** : Heures normales  
**HP** : Heures de ponte  
**HC** : Heures creuses  
**STEP** : station de traitement des eaux polluées  
**TD** : Transformateur de distribution  
**FP**: Facteur de puissance  
**FC** : Facteur de charge  
**GF** : Groupe froid  
**EG** : Eau glycolée  
**BT** : Basse température  
**HT** : Haute température  
**BP** : Basse pression  
**HP** : Haute pression  
**COP** : coefficient de performance  
**SAC** : Système d'air comprimé

## Liste des figures

Figure I-1: territoire du groupe NABC .....	15
Figure I-2: Les produits de la CBGS .....	16
Figure I-3: La certification de la CBGS .....	17
Figure I-4 : L'organigramme de l'entreprise .....	18
Figure I-5 : La matière première de la production au sein de la CBGS .....	19
Figure I-6 : Processus de traitement de l'eau.....	21
Figure II-1 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 1 .....	25
Figure II-2 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 2 .....	26
Figure II-3 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 3 .....	27
Figure II-4 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 4 .....	27
Figure II-5 : L'évolution de la puissance maximale appelée 2014-2015 .....	32
Figure II-6 : Evolution du facteur de puissance .....	35
Figure II-7: Tranches horaires ONEE.....	35
Figure II-8: Consommation de l'énergie électrique. ....	36
Figure II-9 : Répartition de la consommation par tranches horaires en 2015 .....	37
Figure II-10: Evolution du taux de charge. ....	39
Figure II-11 : Répartition de la facture .....	39
Figure III-1 : Profil mensuel de la puissance active .....	43
Figure III-2 : Profil mensuel de la puissance apparente. ....	44
Figure III-3 : Profil de la puissance active du 05/08/2015. ....	45
Figure III-4: Profil de la puissance active par transformateur .....	46
Figure III-5 : Profil de la puissance active par charges. ....	46
Figure III-6: Profil de la demande du transformateur.....	47
Figure III-7: Profil de la demande de puissance active par sections du transformateur 1 ..	48
Figure III-8 : Profil de la demande du transformateur 2. ....	49
Figure III-9 : Puissance active appelé par le transformateur 2 par charge. ....	49
Figure III-10: Profil de la demande du transformateur 3. ....	50
Figure III-11 : Profil de la puissance active du transformateur 3 par sections. ....	50
Figure III-12: Profil de la demande du transformateur 4.....	51
Figure III-13 : Demande de la puissance active du transformateur 4 par section .....	52
Figure III-14: Régression de la consommation en fonction de la production. ....	54
Figure III-15 : Le diagramme de Pareto de la consommation. ....	58
Figure III-16 : Répartition de la consommation par charges. ....	59
Figure III-17: Répartition de la consommation par type de charge. ....	59
Figure III-18 : Diagramme de Pareto de la demande de puissance. ....	61
Figure III-19: Répartition de la demande de puissance par type de charge. ....	62
Figure III-20 : Répartition de la demande de puissance par type de charge. ....	62
Figure IV-1 : Schéma de l'intérieur d'un transformateur de distribution. ....	65
Figure IV-2 : Allure du rendement pour différents facteurs de charge et différents $\cos \phi$ . ....	67
Figure IV-3 : puissance apparente relative $G_h$ générée par les courants harmoniques .....	68
Figure IV-4 : Rendement d'un transformateur en fonction du facteur de charge .....	69
Figure IV-5 : Diagramme des puissances .....	70
Figure IV-5 : Algorithme du choix du mode et du type de compensation .....	72
Figure IV-6 : Résultat du dimensionnement des batteries de compensation sur le logiciel Varsetpro .....	74

Figure IV-7 : Evolution du courant par rapport au courant nominal en fonction du cos phi .....	76
Figure V-1 : circuit de refroidissement .....	84
Figure V-2 : Haute pression en fonction des puissances évacuables .....	87
Figure V-3: influence du débit des ventilateurs .....	88
Figure V-4 : Variation en % du COP par K en fonction de la HP .....	89
Figure V-5 : Equilibre de la basse pression .....	90
Figure V-6: Évolution du COP du compresseur en fonction de la BP pour plusieurs HP	91
Figure V-7 : Régulation par variation de fréquence .....	92
Figure V-8: le fonctionnement traditionnel du compresseur .....	92
Figure V-9: Régulation par détendeur électronique en fonction de la valeur minimale de surchauffe stable .....	93
Figure V-10: simulation du cycle thermodynamique de SAMIFI 1 sur COOLPACK .....	94
Figure V-10 : l'économie annuelle générée par COOLPACK .....	95

## Liste des tableaux

Tableau I-1 : différents produits de NABC .....	15
Tableau I-2 : Les spécificités de chaque ligne de production dans la CBGS .....	16
Tableau I-3: La fiche signalétique de la CBGS.....	17
Tableau II-1 : Choix du facteur d'utilisation. ....	28
Tableau II-2 : Choix du facteur de simultanéité. ....	29
Tableau II-3 : Choix du facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits .....	29
Tableau II-4: Inventaire des charges du transformateur n°1 .....	30
Tableau I-5: Inventaire des charges du transformateur n°2 .....	30
Tableau I-6: Inventaire des charges du transformateur n°3 .....	30
Tableau I-7: Inventaire des charges du transformateur n°4 .....	30
Tableau II-8 : Dépassement de la puissance souscrite.....	32
Tableau II-9 : Dépassement de la puissance souscrite durant 2014-2015 .....	33
Tableau II-10 : Dimensionnement de la puissance souscrite .....	34
Tableau II-11: Cos PHI 2014-2015 .....	34
Tableau II-12: La consommation par tranches horaires .....	36
Tableau II-13: L'évolution du facteur de charge de l'année 2014 .....	37
Tableau II-14: L'évolution du facteur de charge de l'année 2015 .....	38
Tableau II-15 : L'évolution du facteur de charge.....	38
Tableau III-1: observation des lignes de production. ....	45
Tableau III-2 : Suivi de la consommation et de la production. ....	54
Tableau III-3: Données de puissances et de consommation des charges. ....	56
Tableau III-4 : la méthode ABC appliqué aux consommations. ....	57
Tableau III-5 : La méthode ABC appliquée à la demande .....	61
Tableau IV-1 : Choix du type d'équipement de compensation.....	71
Tableau IV-2 : Les batteries de compensation des Transformateurs du poste 1 .....	72
Tableau IV-3 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°1 .....	74
Tableau IV-4 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°2 .....	75
Tableau IV-5 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°3 .....	75
Tableau IV-6 : Economies d'énergie générées par la compensation.....	76
Tableau IV-7 : Facteurs de charges des transformateurs du site.....	77
Tableau IV-8 : Facteurs de charge maximaux après redistribution. ....	79
Tableau IV-9 : Facteurs de charges moyens après redistribution .....	80
Tableau IV-10 : les pertes pour un transformateur 1000 KVA selon NF EN 50464-1 .....	81
Tableau IV-11 : l'amélioration du rendement généré par l'amélioration du FC .....	81
Tableau V-2 : Paramètres thermodynamique du groupe froid SAMIFI 1 .....	85
Tableau V-3 : actions d'améliorations du condenseur .....	87

## Tables de matières

Liste des abréviations.....	5
Liste des figures .....	6
Liste des tableaux .....	8
Tables de matières .....	9
Introduction générale .....	11
I. Contexte générale du projet .....	13
1. Introduction .....	13
2. Présentation de l'organisme d'accueil .....	13
2.1. Historique de Coca Cola .....	13
2.2. Présentation du groupe NABC .....	15
2.3. Présentation de la CBGS .....	15
2.4. Organigramme de l'entreprise .....	18
3. Processus de fabrication au sein de la société .....	19
3.1. Réception des ingrédients.....	19
3.2. Traitement des eaux .....	20
3.3. Production de la boisson gazeuse .....	21
4. Conclusion : .....	22
II. Inspection de l'état et analyse de la facture .....	24
1. Introduction .....	24
2. Vérification du réseau électrique de CBGS .....	24
2.1. Réseau de livraison .....	24
2.2. Structure du réseau électrique de CBGS .....	25
2.3. Bilan des puissances des charges électrique .....	28
2.4. Inventaire des charges électrique de la CBGS .....	29
3. Analyse de la facture .....	31
3.1. La puissance souscrite .....	31
3.2. La puissance maximale appelée .....	31
3.3. Redimensionnement de la puissance souscrite .....	32
3.4. Le facteur de puissance .....	33
3.5. La consommation de l'énergie active .....	35
3.6. Taux de charge .....	37
3.8. Répartition de la facture .....	39
4. Conclusion .....	40
III. Vérification énergétique de la CBGS .....	42
1. Introduction .....	42
2. Notions de bases .....	42
2.1. Le profil de la demande .....	42
2.2. L'inventaire des consommations des charges .....	42
3. Analyse du profil de la demande .....	43
3.1. Introduction .....	43
3.2. Profile mensuel de la demande .....	43
3.3. Profil journalier de la demande du site .....	44
3.4. Profil de la demande par transformateur .....	47
4. Analyse de la consommation .....	52
4.1. Analyse comparative .....	52
4.2. Analyse de la consommation d'énergie électrique .....	55

4.3. Inventaire des consommations des charges électriques .....	56
5. Conclusion : .....	64
IV. Amélioration de l'efficacité énergétique des transformateurs de distribution .....	65
1. Introduction .....	65
2. principe de fonctionnement .....	65
3. Problèmes observés et solutions techniques.....	66
3.1. Types de pertes .....	66
3.2. le rendement .....	68
4. Amélioration du facteur de puissance : .....	69
4.1. Compensation de l'énergie réactive : .....	69
4.2. Diagnostic des batteries de compensation des Transformateurs .....	72
4.3. Dimensionnement des batteries de compensation .....	73
4.4. Calcul des économies engendrées par la compensation .....	75
5. Amélioration du rendement du transformateur .....	77
5.1. Introduction .....	77
5.2. Etat de facteurs de charges des transformateurs .....	77
5.3. Amélioration des facteurs de charges des transformateurs .....	78
5. Conclusion .....	82
V. Amélioration de l'efficacité Énergétique des utilités de production .....	84
1. Introduction .....	84
2. Description des groupes froids SAMIFI 1 de la CBGS .....	84
Amélioration de l'efficacité énergétique du groupe froid SAMIFI1 .....	85
Optimisation du cycle frigorifique de SAMIFI 1 .....	86
3.2. Optimisation de la consommation d'énergie électrique.....	87
3.3. Simulation des économies réalisées sur le logiciel COOLPACK .....	94
Conclusion générale .....	95
Annexe .....	97
Bibliographie .....	102

## Introduction générale :

L'efficacité énergétique est le rapport entre ce que produit un dispositif ou un système, et ce qu'il absorbe comme énergie. Elle est d'autant meilleure que le système énergétique utilise le moins d'énergie possible. Consommer moins et mieux pour le même confort fonctionnel tel est l'objectif de tout concept d'efficacité énergétique.

Deux types des efficacités énergétiques sont à distinguer, L'efficacité énergétique passive, relative à la ventilation, aux équipements de chauffage, à la qualité de l'isolation thermique de l'enveloppe ainsi que sa protection solaire en été. Et l'efficacité énergétique active, qui intègre la régulation, la gestion technique, la domotique ; soit un système de contrôle en continu de la performance énergétique. Cumulées, les efficacités énergétiques passive et active révèlent la performance énergétique globale.

L'audit énergétique est un aspect essentiel de l'élaboration d'un programme de gestion de l'énergie. La vérification énergétique permet de déterminer où, quand, pourquoi et comment l'énergie est utilisée. Cette information sert à relever les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que de réduction des coûts énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques. La vérification énergétique permet également de déterminer l'efficacité de la mise en œuvre des possibilités de gestion de l'énergie.

Dans le cadre de cette étude, le premier chapitre sera consacré à la présentation du contexte général du projet et de l'organisme d'accueil ainsi que la méthodologie de vérification énergétique. Le deuxième chapitre contiendra une analyse préliminaire et une inspection de l'état des lieux avec un bilan de puissances des différents équipements électriques et une vérification du réseau électrique de l'usine. Une analyse de la facture est réalisé ensuite afin d'avoir une première idée sur les performances énergétique du site.

Le 3ème chapitre présente les résultats vérification énergétique de l'usine qui met en évidence les profils de la demande de puissance et les inventaires de la consommation de l'énergie électrique en se basant sur le suivi des mesures de différentes grandeurs (puissances, énergie, facteur de puissance ...). Le but de ce chapitre est de définir les gisements d'économie d'énergie ainsi que les sections et les utilités à cibler par les améliorations.

Le 4ème chapitre est consacré à l'amélioration de l'efficacité énergétique des transformateurs de distribution. Cette amélioration se fait en agissant sur deux facteurs : d'abord, en améliorant le facteur de puissance de l'installation grâce à la compensation de l'énergie réactive et ensuite en optimisant les facteurs de charge des transformateurs pour maximiser leurs rendements.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des utilités est le sujet du 5ème chapitre. En se concentrant sur les groupes de production du froid industriel et les systèmes d'air comprimé, on propose des solutions afin de réduire leurs consommations énergétiques tout en évaluant les économies réalisées par des outils de simulation.

Finalement, une analyse technico-économique permettra d'évaluer les améliorations proposées sur un plan économique en déterminant les investissements nécessaires et leurs de temps d'amortissement.

## **CHAPITRE1 :**

### **CONTEXTE GENERALE DU PROJET**

## I. CONTEXTE GENERALE DU PROJET

### 1. Introduction

Tout projet effectué au sein d'une entreprise, nécessite une découverte de sa structure et de son processus de fabrication, afin de mieux comprendre sa problématique, et de choisir les solutions adéquates pour trouver sa résolution. Et pour se faire nous avons consacré ce chapitre pour présenter la compagnie des boissons gazeuses de sud ainsi ses différentes unités de production.

### 2. Présentation de l'organisme d'accueil

#### 2.1. Historique de Coca Cola :

Coca Cola a vu le jour en mai 1886 à Atlanta. Le Dr. John Stith Pemberton, pharmacien, cherchait un remède contre la fatigue et c'est ainsi qu'il a conçu une portion médicale au gout agréable. Son comptable, Franck Robinson baptisa la boisson coca cola et en dessina le premier graphisme.

Pour cinq cents, les consommateurs peuvent boire un verre de Coca-Cola à la «*soda-fountain* ».un serveur eut l'idée de diluer le sirop avec de l'eau gazeuse alors le mélange aboutit au Coca-Cola que nous consommons aujourd'hui.

Quatre ans après la première gorgée, l'homme d'affaire *Asa Giggs Candler* racheta les droits de la formule et créa « *The Coca-Cola Company* » afin de devenir le premier président de Coca-Cola. Il transforma la boisson en une véritable affaire à grands coups de communication et d'actes promotionnels. En 1893, le nom et l'écriture de la marque « Coca-Cola » furent déposés auprès du bureau américain des dépôts de marques et des brevets.

L'embouteillage à grande échelle devenait possible à partir de 1897, lorsque *Candler* vendit les droits de la mise en bouteilles pour la somme symbolique d'un dollar. «*The Coca-Cola Company* » fabriqua le sirop et le vendit à des sociétés d'embouteillage indépendantes.

Coca-Cola devient aujourd'hui la plus grande compagnie de rafraîchissement du monde, elle produit plus de 400 marques et commercialise quatre des cinq marques de « Soft Drinks » les plus vendues au niveau mondial : Coca-Cola, Coca-Cola light, Fanta et Sprite.<sup>3</sup>

#### 2.2. Présentation du groupe NABC

##### 2.2.1. Filiales et direction de NABC

North Africa Bottling Company « NABC » fut créée le 22 Décembre 2003 suite au regroupement de cinq sociétés : Société Centrale des Boissons Gazeuses « SCBG », Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord « CBGN », Compagnie des Boissons Gazeuses du Sud « CBGS », Compagnie des Boissons Marocaines et internationales « COBOMI » et de la Société des Boissons Mauritanienne « SOBOMA ».<sup>4</sup>

NABC disposait de quatre sites de production au Maroc situés à Casablanca, Fès, Marrakech et Salé et un site en Mauritanie basé à Nouakchott, regroupant plusieurs lignes d'embouteillage en PET, verre et boîte. Mais actuellement elle ne dispose que de quatre vu que l'usine de Salé a été fermée. Ces unités desservent sur le sol marocain les régions de Casablanca, Fès et Marrakech, et ce à travers plusieurs centres de distribution.

Cette union place le groupe NABC comme filiale principale de l'Equatorial Coca-Cola *Bottling Company* « ECCBC » et comme le plus important des concessionnaires de « *Coca-Cola Company* » en Afrique avec un effectif de plus de 3500 salariés.

Le groupe NABC est doté d'une direction générale chapeauté par un directeur général, un directeur général adjoint et deux comités :

- Comité exécutif : composé du DG, DGA et directeurs centraux.
- Comité directoire : composé de l'ensemble des directeurs.
- Le groupe dispose de quatre directions centrales.
- Direction d'exploitation centrale : regroupant un directeur central d'exploitation et les directeurs d'exploitation des sites.
- Direction commerciale centrale : regroupant un directeur central commercial et les directeurs d'exploitation des sites.
- Direction financière centrale : regroupant un directeur central financier et les chefs comptables, contrôle de gestion et responsable de la trésorerie.  
3 [www.coca-coacompany.com](http://www.coca-coacompany.com)
- Direction informatique centrale : regroupant un directeur central des systèmes d'information, responsable réseau, responsable de programmation.

### 2.2.2. Territoire de NABC

Le groupe NABC ne couvre pas la totalité du territoire marocain puisqu'il y a deux autres sociétés qui détiennent certaines régions du Maroc à savoir : la société *Atlas Bottling Company* (ABC) qui possède deux usines couvrant le territoire du nord de Tanger à Oujda, et la Société des Boissons Gazeuses de Souss (SBGS) qui possède une usine couvrant à Agadir et couvrant la région du sud. Le schéma suivant représente le territoire de NABC :



Figure I-1 : Territoire du groupe NABC

### 2.2.3. Produits de NABC :

NABC opère sur quatre segments distincts :

Boissons	Marques
Boissons gazeuses	Coca-Cola ; Coca-Cola Light; Fanta;Sprite; Schweppes;Hawai ; Pom's ; Top's et leurs déclinaisons.
Eaux de table et eaux minérales	Ciel ; Bonaqua.
Boissons énergétiques	Burn ; Aquarius.
Jus de fruits	Miami et ses déclinaisons.

Tableau I-1 : Les différents produits de NABC

## 2.3. Présentation de la CBGS

### 2.3.1. Description de l'entreprise

La CBGS a été créée en 1968 et en 1997, l'acquisition de la Société Industrielle Marocaine « SIM », son principal concurrent, lui permet d'augmenter sa capacité de production et d'élargir sa gamme de produits ,elle a été rachetée par « The Coca-Cola Holding » en 1997 et acquise en 2002 par « l'Equatorial Coca-Cola Bottling Company ».

Les sept centres de distribution de la CBGS se situent à : El Kelàa Sraghna, Beni Mellal, Ouarzazate, Khouribga, Sidi Bennour, Safi et Essaouira.

Son effectif moyen est de : 750 personnes.5

La CBGS dispose de deux lignes de production des bouteilles en Verre et une ligne PET :

Lignes	Catégories	Tailles	Cadences
ORTHMAN	Bouteilles en Verre	20cL, 30cL et 35cL	24000 Bouteilles/Heure
SASIS	Bouteilles en Verre	1 Litre	24000 Bouteilles/Heure
PET	Bouteilles en plastique	½ L, 1L, 3/2 L et 2L	25200 Bouteilles/Heure

**Tableau I-2 :** Les spécificités de chaque ligne de production dans la CBGS

### 2.3.2. Produits de la CBGS

Coca-cola	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl), standard (20 cl) ,1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2, 4/2 litre</li> </ul>
Fanta orange	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl), standard (20 cl) ,1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2 litre</li> </ul>
Hawaï Tropical	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl) 1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2 litre</li> </ul>
Pom's	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl) 1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2 litre</li> </ul>
Sprite	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl) 1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2 litre</li> </ul>
Schweppes Lemon	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre : royale (35 cl) 1 litre</li> <li>➤ PET : 1/2, 2/2, 3/2 litre</li> </ul>
Schweppes Tonic	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Verre standard (20 cl)</li> <li>➤ PET : 1 litre</li> </ul>

**Figure I-2:** Les produits de la CBGS

### 2.3.3. Certifications CBGS

- **2003 :TCCQS Phase II/HACCP**
- **2004 :TCCQS quality conformity /QSE conformity**
- **2006:TTCQS E3 certification**
- **2007:TTCCS QSE follow-up**
- **2008:TCCSI follow-up**
- **2009:ISO/OHSAS follow-up**
- **2010:KORE QSE compliance & ISO/OHSAS follow-up**
- **2011:ISO/OHSAS recertification and ISO 22000 CERTIFICATION**
- **2012:ISO/OHSAS follow-up & FSSC 22000 CERTIFICATION, KORE Quality compliance**
- **2013:ISO/OHSAS&FSSC 22000 follow-up, KORE SE compliance**
- **2014:ISO/OHSAS&FSSC 22000 follow-up, KORE QSE compliance**

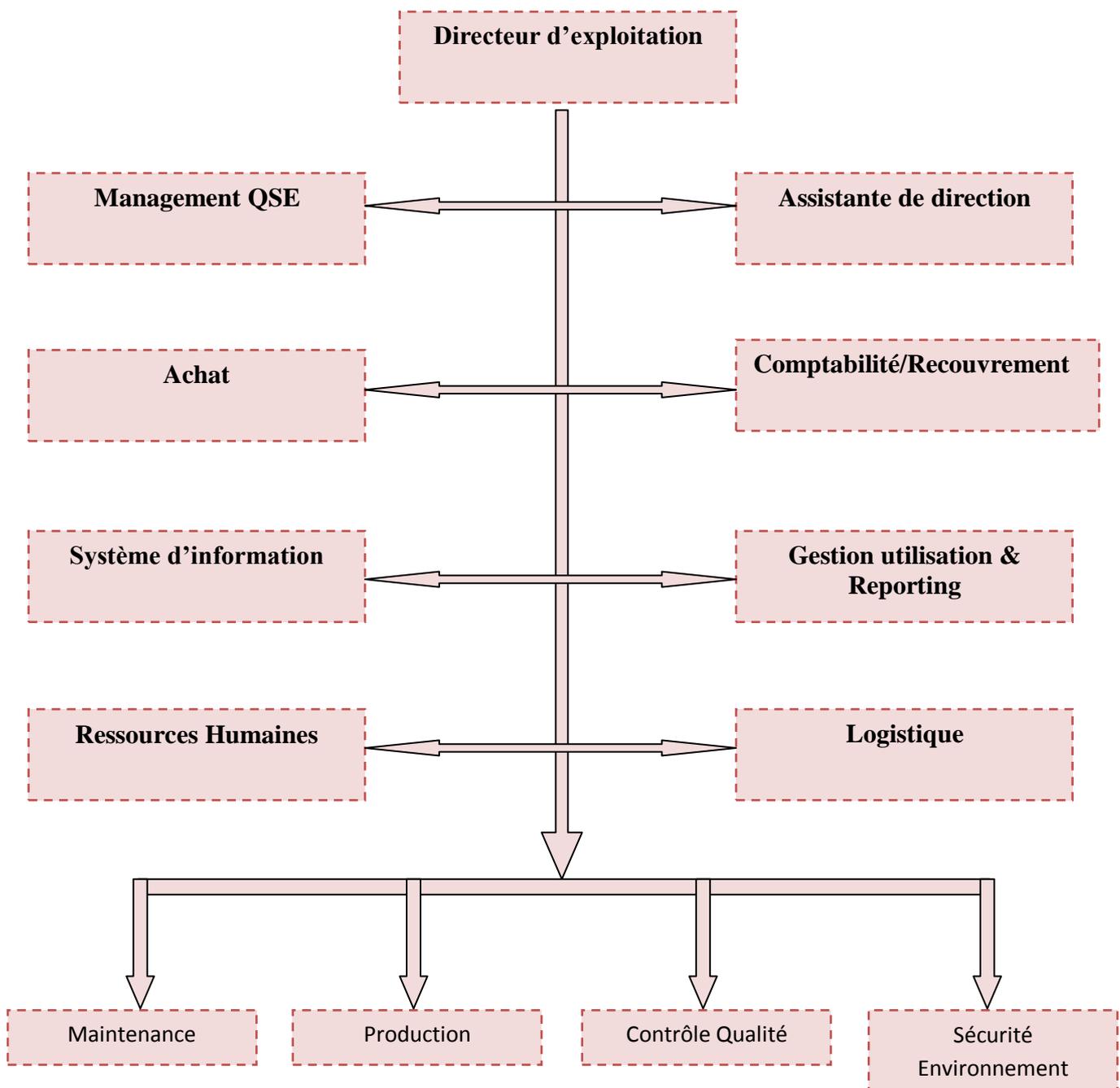
**Figure I-3** : La certification de la CBGS

### 2.3.3. Fiche signalétique

<b>Raison Sociale</b>	Compagnie des Boissons Gazeuses du Sud
<b>Forme Juridique</b>	Société Anonyme
<b>Siège Social</b>	Avenue El Moukaouama Ain Emouroudi, Quartier Industriel.
<b>Unité Industrielle</b>	BP 791 Lotissement Azli, Route d'Essaouira, Marrakech
<b>Date de Création</b>	1968
<b>Secteur d'activité</b>	Agroalimentaire/Production
<b>Activité</b>	Mise en bouteille des boissons gazeuses et distribution
<b>Capital</b>	2 280 000 Dhs
<b>Registre Commercial</b>	N° 3301
<b>Patente</b>	N° 46203.275
<b>CNNS</b>	1385.568
<b>Chèques Postaux</b>	Rabat N° 86.348

**Tableau I-3:** La fiche signalétique de la CBGS

## 2.4. Organigramme de l'entreprise

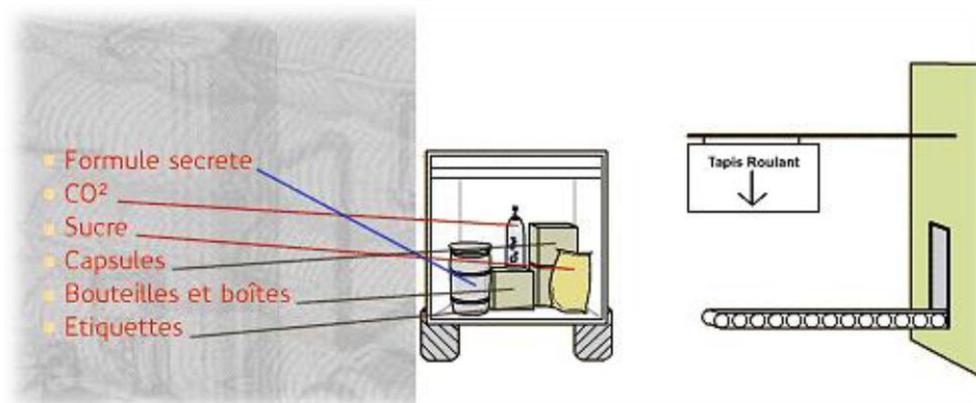
**Figure I-4** : L'organigramme de l'entreprise

### 3. Processus de fabrication au sein de la société

La fabrication du produit final est faite par addition de trois volumes d'eau, d'un volume de sirop, de deux volumes de sucre et de gaz carbonique nous allons citer les différentes étapes du processus dans ce qui suit :

#### 3.1. Réception des ingrédients

La figure ci-dessous montre les principaux éléments de la production des boissons gazeuses au sein de la CBGS.



**Figure I-5 :** La matière première de la production au sein de la CBGS

##### 3.1.1. Sucre et Edulcorant

Elaboré par des fournisseurs soigneusement sélectionnés, le sucre et divers édulcorants jouent un rôle capital dans la fabrication des boissons.

Ces sucres varient par leurs origines et par leurs actions, depuis le saccharose et le sirop d'amidon à haute teneur en fructose, jusqu'aux produits hypocaloriques comme l'aspartame et l'acésulfame K, souvent utilisé dans les boissons dites "light". Le sucre blanc provenant d'une sucrerie est échantillonné et contrôlé.

##### 3.1.2. Formule Secrète ou sirop concentré

Elle permet d'élaborer, dans des usines spéciales de concentré, le produit à la base du Coca-Cola. Ce produit est alors livré, conservé et utilisé sous contrôle extrêmement strict afin de préserver son intégrité et sa sécurité. Chaque usine de concentré est spécifiquement identifiable, ceci pour permettre la traçabilité de chacun des composants à chaque stade de la production, du stockage et de l'emploi.

##### 3.1.3. CO<sub>2</sub>

Lorsqu'il est livré dans les usines, le gaz carbonique CO<sub>2</sub> arrive dans des cylindres métalliques pour faciliter la livraison et le stockage.

##### 3.1.4. Eau

L'eau étant l'un des éléments-clés de tous les produits, sa qualité est primordiale. Et, comme la qualité de l'eau courante varie dans chaque endroit du monde, chaque usine traite l'eau qu'elle utilise. Cela signifie qu'avant que cette eau ne soit ajoutée à l'une des boissons, elle est soigneusement filtrée et purifiée. Ensuite, cette eau est continuellement analysée pour vérifier qu'elle répond bien aux critères de qualité.

A la CBGS, l'eau provient de la RADEMA. L'eau est traitée par chloration pour une pureté bactérienne et passe par des filtres à sable et charbon et par un filtre polisseur. Les filtrations ont pour but l'élimination des carbonates afin d'éviter le risque de précipitation avec le mélange du CO<sub>2</sub> par la suite mais aussi pour éliminer les impuretés et les odeurs.

### 3.1.5. Matériels

Ces ingrédients ne sont pas les seuls éléments qui sont livrés aux usines. D'autres matériels, comme les bouteilles, les caisses, les étiquettes, les bouchons et les emballages le sont également. Lorsque ces éléments sont réceptionnés dans l'usine, en premier lieu, un laboratoire de contrôle réalise des tests sur les matériaux utilisées afin d'être conforme aux lois en vigueur et afin d'être utilisables pour la chaîne de fabrication.

## 3.2. Traitement des eaux

Le traitement des eaux constitue le point de départ du processus de production au sein de la société. Il est chargé d'alimenter les autres services par les eaux nécessaires à la préparation des produits finis, aux lavages des bouteilles et autres usage.

Pour ce faire, le site de production dispose d'une station de traitement des eaux contenant les équipements suivantes :

- 2 cuves de stockage de capacité 200 chacune ;
- 4 filtres à sables fonctionnant en parallèle ;
- 2 décarbonateurs ;
- 1 bache de stockage de capacité 360 ;
- 3 filtres à charbon ;
- 3 filtres polisseurs ;
- 1 filtre UV.

Le traitement des eaux suit un processus de plusieurs étapes et ce depuis la réception de l'eau potable (eau de ville) jusqu'à la livraison de l'eau traité au niveau de siroperie et au niveau de mixage comme cela est illustré par le schéma suivant :

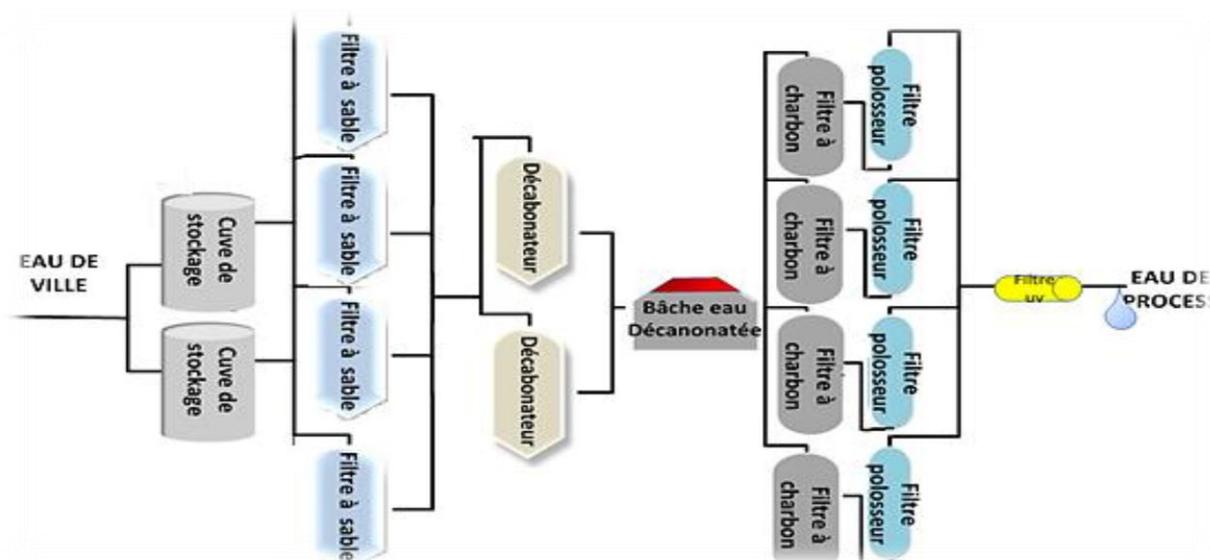


Figure I-6 : Processus de traitement de l'eau

### 3.2.1. Pré-chloration

La station dispose de deux cuves de stockage pour éliminer toute rupture d'eau de ville, L'eau de ville est stockée dans deux réservoirs cylindriques en acier inoxydable, au cours du remplissage, une injection d'eau de javel ( $\text{NaClO}$  à  $5^\circ$ ) se fait par l'intermédiaire d'une pompe doseuse d'une capacité 14 litres/heure.

Il existe aussi une autre pompe d'une capacité 5 litres/heure, réglée qui permet de corriger la concentration en chlore libre juste avant le transfert d'eau vers le filtre à sable.

### 3.3. Production de la boisson gazeuse

Toutes les boissons gazeuses sont fabriquées à base d'un sirop fini. La fabrication du sirop fini représente l'étape la plus critique dans le processus de la fabrication des boissons gazeuses, car elle exige une grande attention et plus de professionnalisme pour assurer une fabrication optimale du sirop, tout en respectant le plan prévisionnel de production et les normes de la qualité et de l'hygiène.

La fabrication de la boisson gazeuse commence dans la salle de préparation (Voir figure ci-dessous) où se fait le sirop simple, en passant par la préparation du sirop fini, pour finir dans les lignes de conditionnement au niveau du mixeur (Intermix) où se fait le mixage sirop fini-eau-  $\text{CO}_2$ . La salle de préparation dispose des équipements suivants :

- contimol ;
- cuve de dosage ;
- cuve de réaction ;
- filtre à charbon ;
- filtre à poche ;
- 12 cuves de stockage.

La préparation de la boisson passe par trois étapes : la préparation du sirop simple, le sirop fini et le mixage pour avoir un produit prêt pour le conditionnement.

#### 4. Conclusion

Après avoir découvrir les différentes unités de la C.B.G.S ainsi son processus de fabrication, il nous faut cadrer notre projet et préciser le champ de son application au sein de l'entreprise afin de cerner notre étude.

## **CHAPITRE II :**

### **INSPECTION DE L'ETAT ET ANALYSE DE LA FACTURE.**

## II. Inspection de l'état et analyse de la facture.

### 1. Introduction

Le problème à résoudre est la surconsommation d'énergie au sein de la CBGS et pour se faire on doit commencer par la première étape de l'économie d'énergie électrique d'une entreprise, réside dans l'analyse de sa facture d'électricité. Cette analyse donne un aperçu global sur la demande électrique et permet d'aboutir à des solutions assez rapides et parfois peu coûteuses, permettant de générer les premiers gains sur la facture électrique.

Une analyse des factures électriques CBGS a été réalisée pour déterminer les points d'amélioration possibles que ce soit au niveau de la puissance souscrite, du facteur de puissance, la puissance maximale appelée, la consommation en énergie électrique et le taux de charge.

### 2. Vérification du réseau électrique de CBGS

#### 2.1. Réseau de livraison

##### 2.1.1. Les arrivées et les postes de transformation

L'alimentation en énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'usine de la CBGS est assurée par le réseau de la régie autonome de distribution de l'eau et de l'électricité de Marrakech « RADEEMA ». La RADEEMA alimente CBGS par un branchement aérien selon un schéma en triple dérivation par trois arrivées :

- Arrivée depuis « AZLI II » actuellement opérationnelle.
- Arrivée depuis « COMPTOIR METAL » actuellement opérationnelle.
- Arrivée depuis « GALAXIE » utilisable en cas de besoin.

Le poste de la RADEEMA **60 KV** alimente trois postes de transformation **3\*1000 KVA** et un autre poste de **800 KVA**. Les trois transformateurs NEXANS (transformateur 1, 2 et 3) sont identiques et leurs caractéristiques sont comme suit :

<b>Puissance apparente</b>	:	<b>S = 1000 KVA</b>
<b>Tension primaire</b>	:	<b>U<sub>p</sub> = 20 KV</b>
<b>Tension secondaire</b>	:	<b>U<sub>s</sub> = 400 V</b>
<b>Tension de court-circuit</b>	:	<b>U<sub>cc</sub> = 8,07 %</b>
<b>Couplage</b>	:	<b>Dyn11</b>

\* **Dyn11** : Montage triangle au primaire(D), étoile au secondaire (y) avec le neutre sorti (n). L'indice horaire est de 11.

Le 4ème Transformateur fournis par Maroctransfo occupe un poste séparé des trois autres. Ces caractéristiques sont les suivantes :

<b>Puissance apparente</b>	:	<b>S = 800 KVA</b>
<b>Tension primaire</b>	:	<b>U p= 20 KV</b>
<b>Tension secondaire</b>	:	<b>U s = 400 V</b>
<b>Tension de court-circuit</b>	:	<b>U cc= 6 %</b>
<b>Couplage</b>	:	<b>Dyn11</b>

### 2.1.2. Le groupe électrogène

Le réseau électrique de CBGS est équipé d'un groupe électrogène de puissance apparente **200KVA** assurant l'alimentation des circuits prioritaires de l'usine en cas de défaillance du réseau distributeur tel que l'éclairage de l'usine et de la zone les bureaux et les pompes alimentaires des chaudières.

## 2.2. Structure du réseau électrique de CBGS

### 2.2.1. Transformateur de distribution n°1

Le transformateur n°1 alimente les lignes de production SASIB et ORTHMAN ainsi que des utilités telles que les deux compresseurs d'air de 7 bars, la chaufferie et le réchauffeur CO2. La figure suivante donne une idée sur les départs du transformateur.

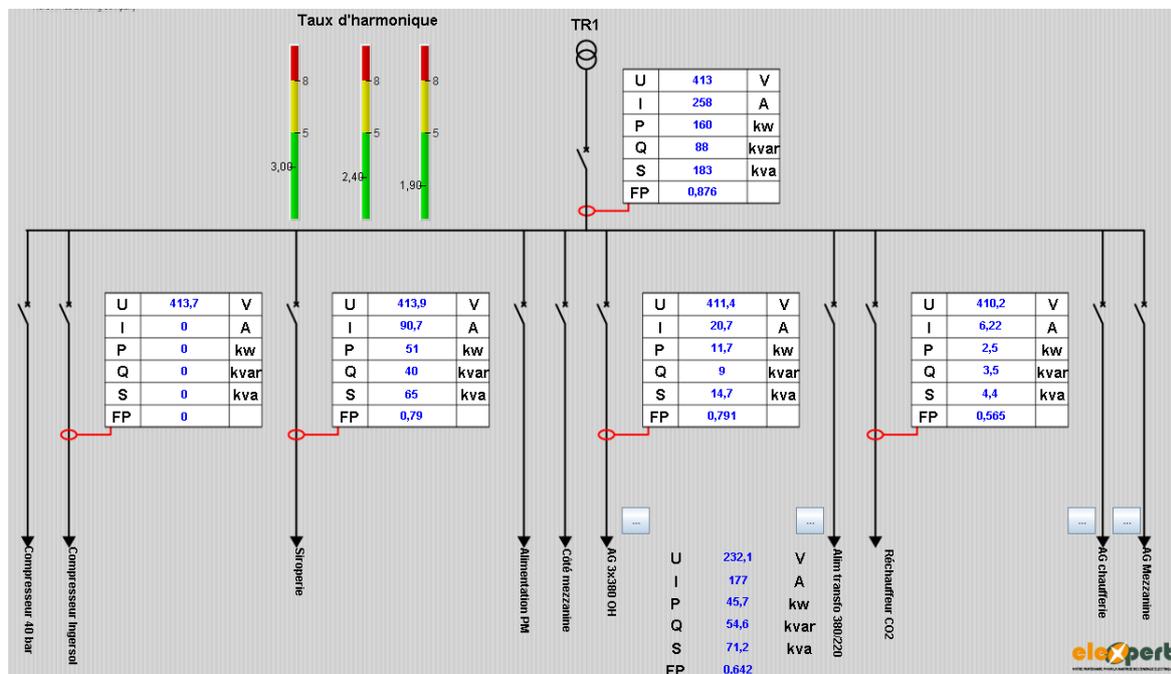


Figure II-1 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 1.

### 2.2.2. Transformateur de distribution n°2

Le transformateur n°1, d'une puissance de 1000 KVA assure l'alimentation des groupes de production de froid industriel SAMIFI 1 et 2. Le schéma suivant présente le schéma unifilaire du transformateur 2 :

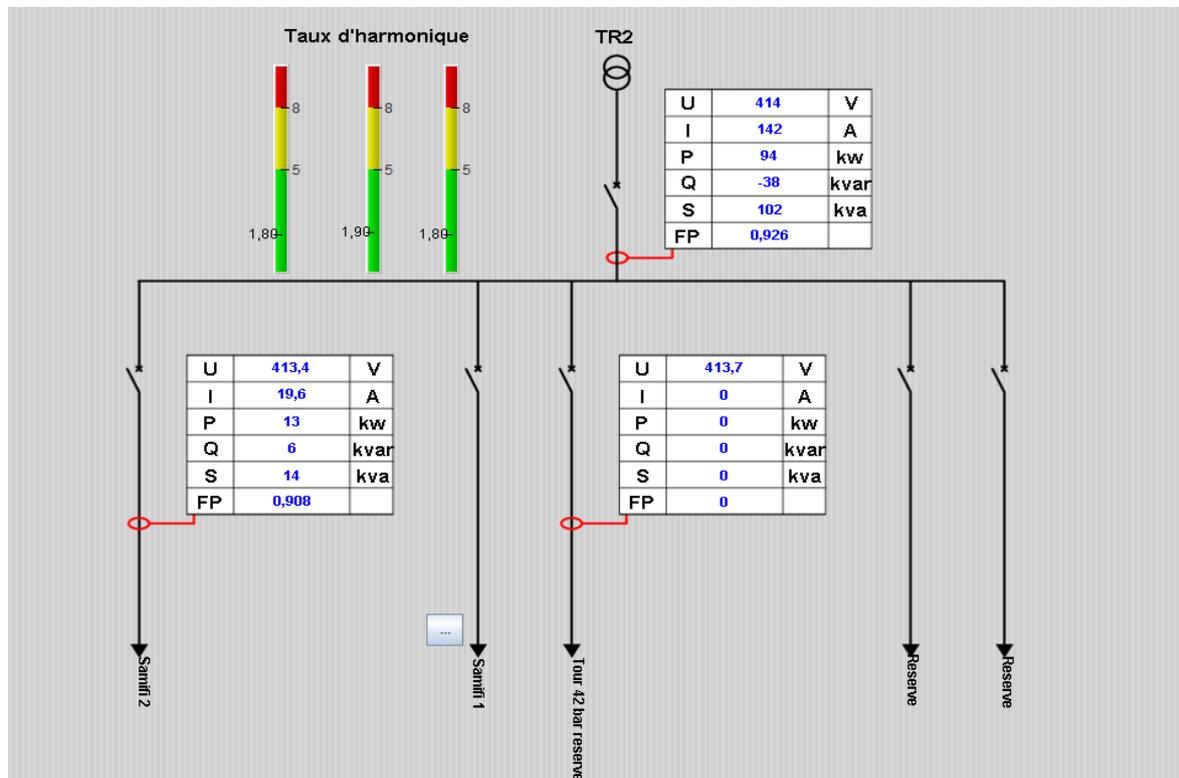


Figure II-2 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 2.

### 2.2.3. Transformateur de distribution n°3

Le transformateur n°3 alimente les compresseurs d'air 42 bars et 10bars ainsi que le groupe froid SAMIFI 3 et la station de traitement des eaux usées. Son schéma unifilaire est le suivant :

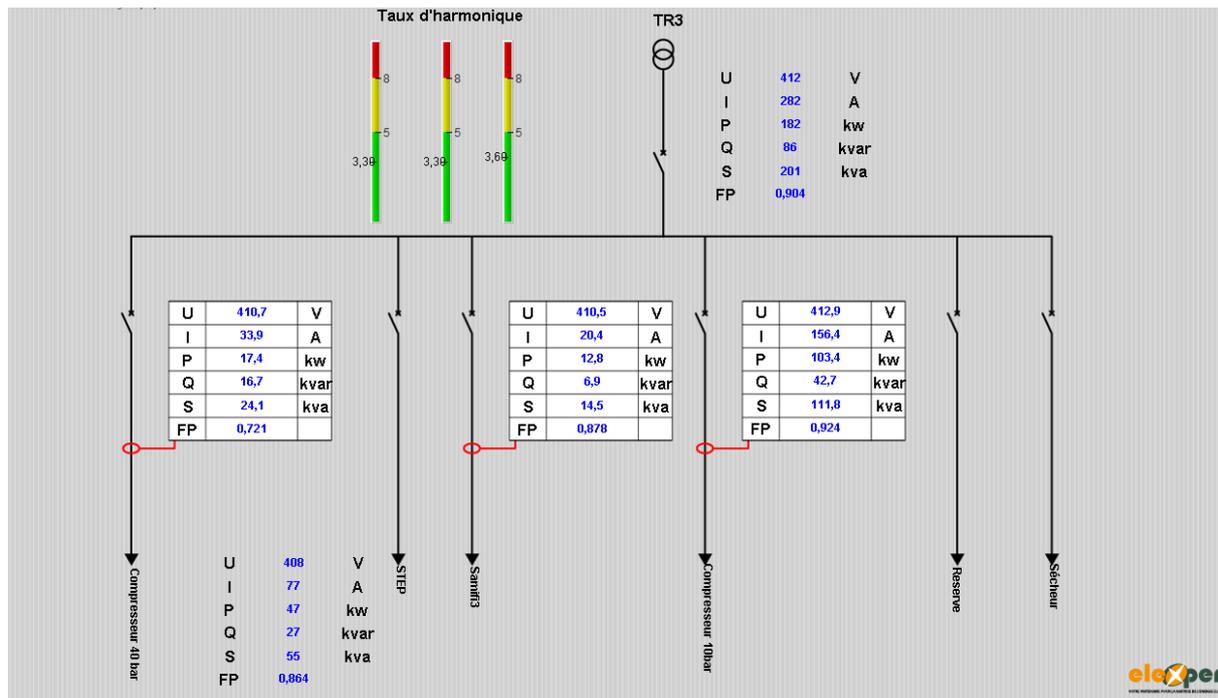


Figure II-3 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 3.

### 2.2.4. Transformateur de distribution n°4

Le transformateur n°4 permet l'alimentation de la ligne PET, souffleuse comprise ainsi que l'éclairage générale de l'usine. Le schéma unifilaire est le suivant :

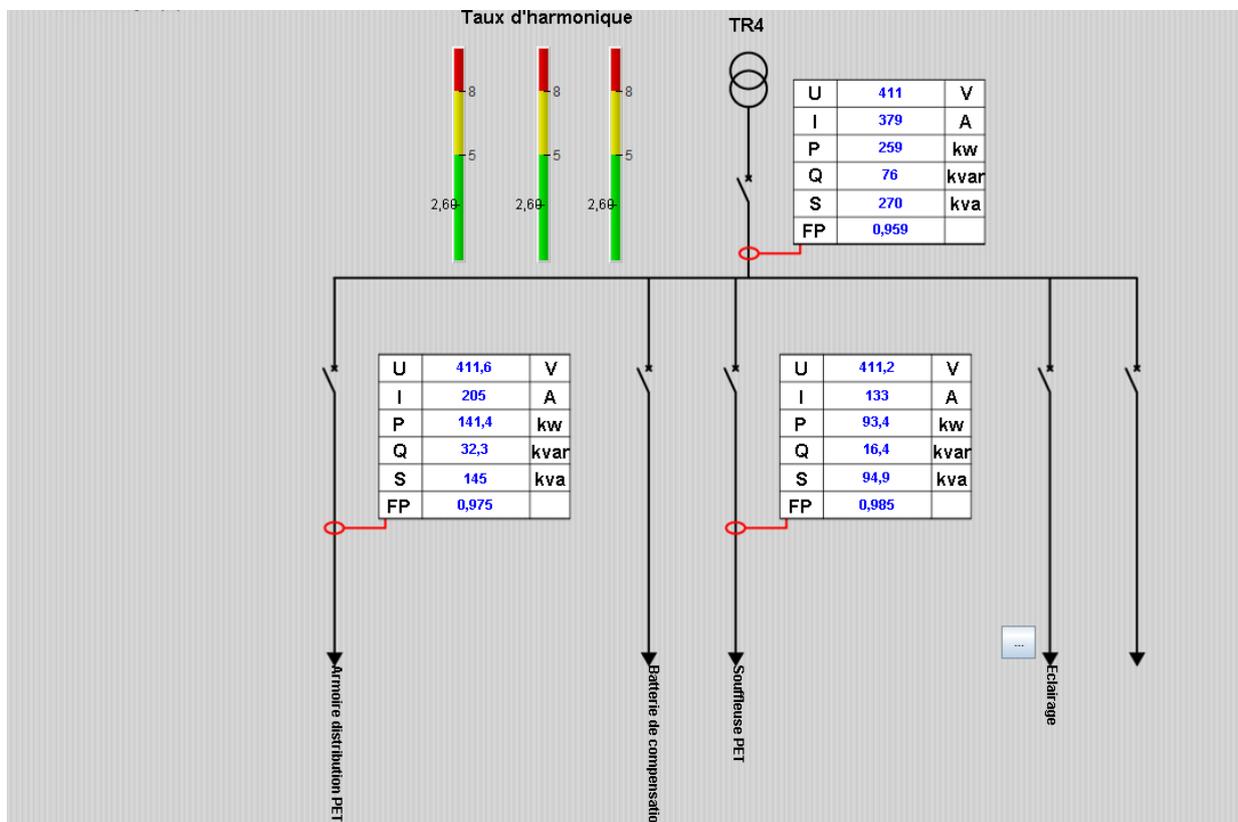


Figure II-4 : le schéma unifilaire détaillé du transformateur 4.

### 2.3. Bilan des puissances des charges électrique

Le bilan des puissances consiste à collecter les données techniques des plaques signalétiques des différents équipements et des dossiers techniques des différentes machines.

### 2.3.1. Notions de bases

Pour avoir des résultats de calcul raisonnables et significatifs, une connaissance détaillée des charges est nécessaire car il faut distinguer les équipements en service de ceux de réserve en vue de garantir une disponibilité optimale des installations.

#### i. Puissance absorbée

La puissance absorbée  $P_{abs}$  d'un récepteur est donnée par la puissance nominale  $P_{nom}$ , le rendement unitaire  $\rho$  et le facteur de puissance  $\cos\phi$ .

$$P_{abs} = \frac{P_{nom}(\text{Récepteur})}{\rho \times \cos\phi}$$

La puissance absorbée est souvent supposée être la somme arithmétique des puissances apparentes de chaque récepteur (cette sommation est exacte si toutes les charges ont le même facteur de puissance) pour des raisons de récepteur (cette sommation est exacte si toutes les charges ont le même facteur de puissance) pour des raisons de confort de calcul.

#### ii. Puissance d'utilisation

La puissance d'utilisation  $P_u$  est égale à la somme des puissances absorbées et valorisées par le facteur suivant:

$$P_u = K_u \times P_{abs}$$

##### ➤ $K_u$ , facteur d'utilisation maximum:

Il traduit le fait que le régime de fonctionnement d'un récepteur peut être inférieur à la puissance nominale. Il s'applique individuellement à chaque récepteur (circuits terminaux).

utilisation	$K_u$
Force motrice	0.75 à 1
Eclairage	1
Chauffage	1
Ventilation	1
PC	1

**Tableau II-1** : Choix du facteur d'utilisation.

##### ➤ $K_s$ , facteur de simultanéité :

- traduit le fait qu'un ensemble de récepteurs ne soit pas utilisé en même temps.

- s'applique à chaque regroupement de récepteurs (distributions ou tableaux divisionnaires).

Utilisation	Ks
Eclairage	1
Chauffage	1
Prise de courant	0.1 à 0.2(*)
Ascenseur	1

**Tableau II-2** : Choix du facteur de simultanéité.

\* Dans certaines installations industrielles, on prendra pour les Prises de Courants:

$$c(PC) = 0.1 + \frac{0.9}{n}$$

n étant le nombre de prises de courant du circuit considéré.

Nombre de circuits	Ks
2 à 3	0.9
4 à 5	0.8
6 à 9	0.7
≥ 10	0.6

**Tableau II-3** : Choix du facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits.

#### 2.4. Inventaire des charges électrique de la CBGS

Pour commencer un inventaire des charges électrique, on va utiliser une énumération détaillée des charges, des renseignements sur les puissances nominales données par les plaques signalétiques et des documents techniques des différents équipements pour déterminer leurs caractéristiques techniques.

Les tableaux suivant résumant les puissances et les différents facteurs nécessaires au dimensionnement des réseaux électriques regroupés par transformateur.

##### Transformateur n°1 :

Départ	Puissance nominale en KW	Ku	Ks	Puissance absorbée en KW	Cos phi
ORTHMAN400	92.01	1	0.7	64.40	0.85
ORTHMAN220	61.40	1	0.7	42.98	0.83
MEZANINE	86.40	1	0.7	60.48	0.85
Chaufferie générale	240.11	1	0.7	168.07	0.88
Siroperie	197.00	1	0.7	137.90	0.84
Réchauffeur co2	4.54	1	0.7	3.17	0.86
Palettiseur/dépalettiseur SASIB	70.20	1	0.7	49.14	0.85
2 compresseur INGERSOLL 7bars	119.00	1	0.7	83.30	0.83

**Tableau II-4:** Inventaire des charges du transformateur n°1.**Transformateur n°2 :**

Départ	Puissance nominale en KW	Ku	Ks	Puissance absorbée en KW	Cos phi
SAMIFI1 + pompes d'eau glycolée	374.4	1	0.9	336.96	0.83
SAMIFI 2	198	1	0.9	178.2	0.80

**Tableau II-5:** Inventaire des charges du transformateur n°2**Transformateur n°3 :**

Départ	Puissance nominale en KW	Ku	Ks	Puissance absorbée en KW	Cos phi
Compresseur 42bar	355	1	0.8	284	0.80
Station traitement des eaux usées	47	1	0.8	37.6	0.83
SAMIFI 3	160	1	0.8	128	0.87
Compresseur d'air 10 bar	240.11	1	0.8	72	0.88

**Tableau II-6:** Inventaire des charges du transformateur n°3.**Transformateur n°4 :**

Départ	Puissance nominale en KW	Ku	Ks	Puissance absorbée en KW	Cos phi
Eclairage usine	200.00	1	0.9	180.00	0.98
Souffleuse	217.00	1	0.9	195.30	0.85
Distribution PET	223.12	1	0.9	200.82	0.86

**Tableau II-7:** Inventaire des charges du transformateur n°4.

### 3. Analyse de la facture

#### 3.1. La puissance souscrite

La puissance souscrite est une caractéristique du contrat de fourniture d'électricité fourni par le distributeur local « la RADEEMA ». Il s'agit d'une indication de puissance maximale qui ne doit pas être franchie ou dont les dépassements seront facturés.

Cette puissance est exprimée en kVA et non en kW, car elle prend en considération l'énergie réactive (ou plus exactement la puissance réactive).

La redevance de puissance est établie en fonction de la puissance souscrite annuellement. La redevance de puissance (RP) est calculée pour l'année et est facturée mensuellement; son montant est déterminé par application de la formule suivante :

$$RP = \frac{Pf}{12} * PS$$

Pf : prime fixe annuelle.

PS : puissance souscrite.

Une puissance de **1300 KVA** a été souscrite par la CBGS auprès de la RADEEMA (depuis 1988) engendrant une redevance annuelle fixe de **483 132 DH** avec un cout unitaire de **30.97 DH/KVA/Mois** ce qui représente environ **7.13%** de la facture totale de l'énergie électrique.

#### 3.2. La puissance maximale appelée

La mesure de cette puissance est à la base de calcul de la puissance pénalisée, qui est définie comme la plus grande valeur entre la puissance souscrite et la puissance maximale appelée en kW.

Au cas où au cours d'un mois, il serait constaté que la valeur de la puissance appelée a dépassé la valeur de la puissance souscrite de la RADEEMA adopte la formule suivante pour le calcul des redevances de dépassement de la puissance souscrite :

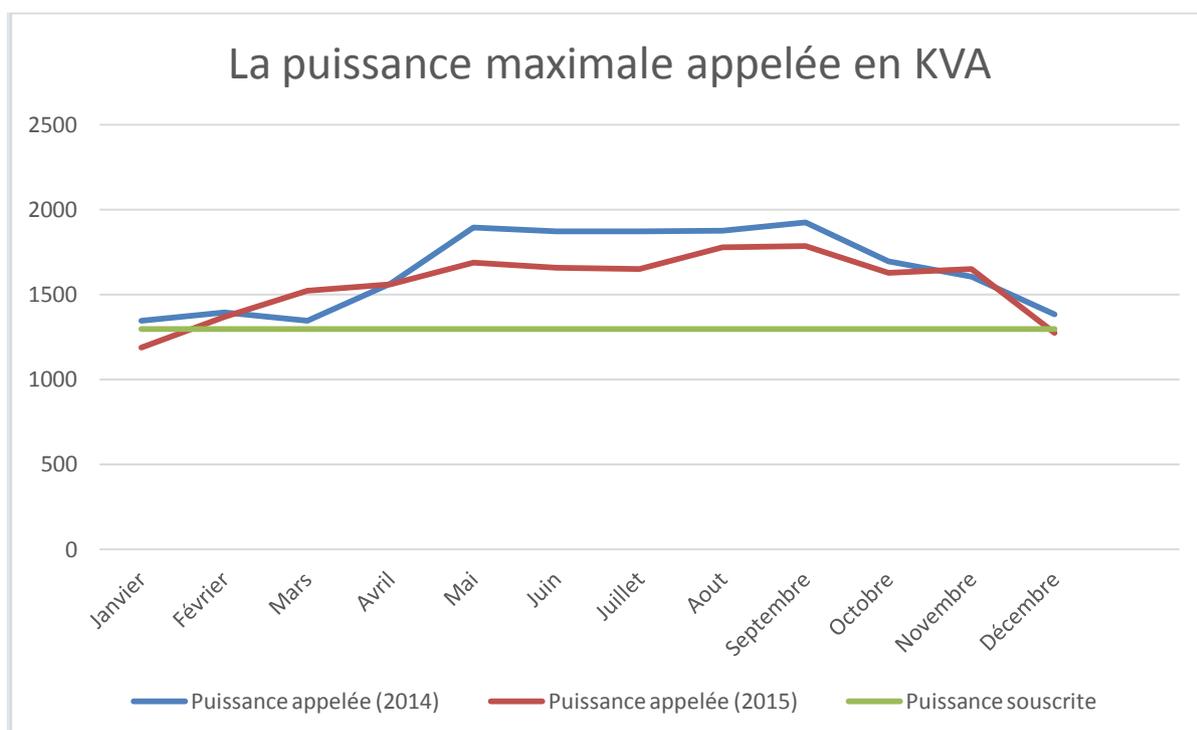
$$RDPS = 1.5 \times \frac{Pf}{12} \times (PA - PS)$$

Pf: prime fixe annuelle.

PS: puissance souscrite.

PA: puissance maximale enregistrée pendant le mois

Le graphe suivant montre l'évolution de la puissance maximale appelée durant les deux dernières années :



**Figure II-5 :** L'évolution de la puissance maximale appelée 2014-2015.

La puissance appelée a enregistré une moyenne de **1607 KVA** durant les deux dernières années et on remarque qu'il y a toujours un dépassement de la puissance souscrite (**1300 KVA**) ainsi une augmentation de ce dépassement durant la période d'été (Avril - Septembre).

Le tableau suivant nous présente la redevance de la puissance souscrite totale durant la période 2014-2015 :

Année	Puissance appelée moyenne en KVA	Total annuel du dépassement en KVA	RDPS en DH/an HT
<b>2014</b>	1 649,50	4 194,00	175 393,08
<b>2015</b>	1 564,50	3 309,00	153 736,14
<b>Total</b>	<b>3 214,00</b>	<b>7 503,00</b>	<b>329 129,22</b>

**Tableau II-8 :** Dépassement de la puissance souscrite

Ce qui montre l'importance de redimensionnement de la puissance souscrite afin de limiter les dépassements et réduire le coût de redevance de puissance.

### 3.3. Redimensionnement de la puissance souscrite

Le redimensionnement de la puissance souscrite a pour but de minimiser la redevance de puissance. Pour trouver la nouvelle valeur de cette puissance, on va se baser sur les factures de l'énergie électrique de 2014-2015.

Le tableau suivant donne le dépassement de la puissance souscrite en KVA durant la période 2014-2015 :

MOIS	dépassement de la PS 2014 (KVA)	dépassement de la PS 2015 (KVA)
Janvier	47	0,00
Février	97	71,00
Mars	47	224,00
Avril	266	263,00
Mai	595	390,00
Juin	574	359,00
Juillet	575	353,00
Aout	579	481,00
Septembre	626	486,00
Octobre	396	331,00
Novembre	307	351,00
Décembre	85	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>4 194,00</b>	<b>3 309,00</b>

Tableau II-9 : Dépassement de la puissance souscrite durant 2014-2015

D'après le tableau ci-dessus on obtient un dépassement annuel moyen de **3751,5 KVA**, ce qui montre l'importance du redimensionnement de la PS.

Le tableau suivant donne le manque à gagner pour différentes valeurs de la puissance souscrite :

Puissance souscrite	Redevance fixe de la puissance souscrite en DH	Redevance de dépassement de la puissance souscrite en DH	Redevance totale de puissance en DH HT	Manque à gagner en DH
1300	922 428	330 890,70	1 253 318,70	0
1350	957 906	282 570,14	1 240 476,14	12 842,56
1400	993 384	240 327,80	1 233 711,80	19 606,9
1450	1 028 862	202 524,80	1 231 386,80	21 931,9
1500	1 064 340	164 721,80	1 229 061,80	24 256,9
1550	1 099 818	128 126,76	1 227 944,76	25 373,94
1600	1 135 296	95 801,94	1 231 097,94	22 220,76
1650	1 170 774	67 456,00	1 238 230,00	15 088,7
1700	1 206 252	47 844,58	1 254 096,58	-777,88
1750	1 241 730	160 031,90	1 401 761,90	-148 443,2
1800	1 277 208	18 965,76	1 296 173,76	-42 855,06
1850	1 312 686	8 405,76	1 321 091,76	-67 773,06
1900	1 348 164	1 098,24	1 349 262,24	-95 943,54
1950	1 383 642	0	1 383 642,00	-130 323,3
2000	1 419 120	0	1 419 120,00	-165 801,3

Tableau II-10 : Dimensionnement de la puissance souscrite

La valeur de la puissance souscrite en minimisant la redevance de puissance (**1 227 944,76 DH HT**) est de **1550 KVA**. Serait-elle souscrite auprès du distributeur de l'énergie électrique, elle aurait permis à la compagnie de gagner **25 373,94 DH** sur la redevance de puissance en 2014-2015 à savoir **7,70%** sur le montant de celle-ci, et d'un pourcentage de **0.20%** sur la facture électrique.

### 3.4. Le facteur de puissance

Par définition le facteur de puissance -autrement dit le  $\cos \phi$ , d'un appareil électrique est égal au rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA) et peut varier de 0 à 1.

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

$$PF = P \text{ (kW)} / S \text{ (kVA)}$$

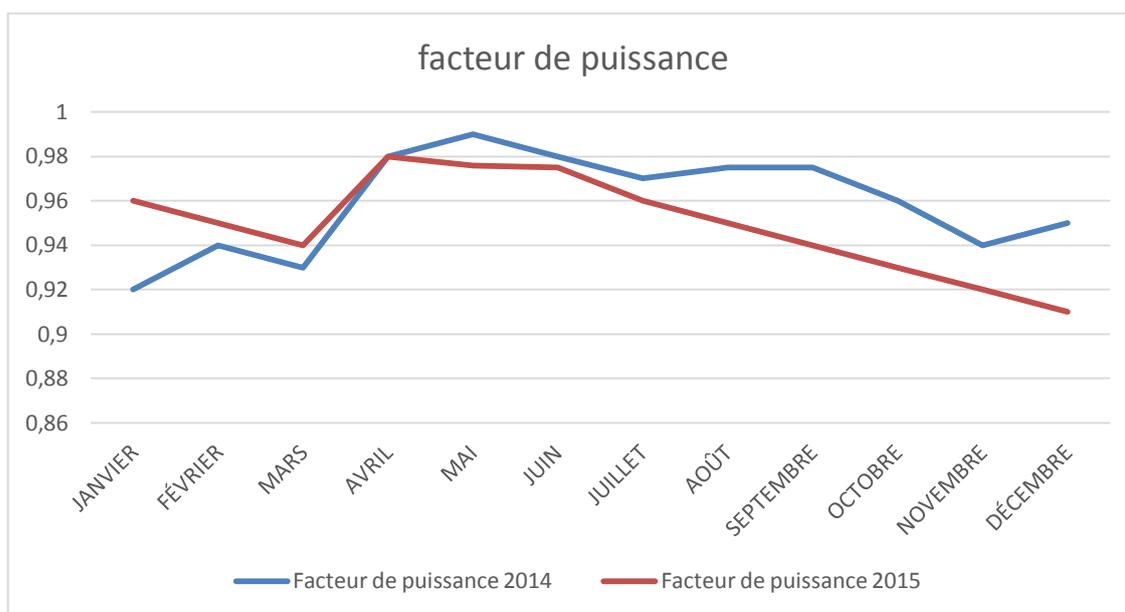
Si au cours d'un mois donné, la quantité d'énergie réactive consommée donne lieu à une valeur inférieure à 0,8 du facteur de puissance moyen mensuel, le montant total des redevances dues par le client au titre de sa consommation mensuelle (redevance de la puissance souscrite, redevance de dépassement éventuel de la puissance souscrite et redevance de consommation) sera majoré de 2% pour chaque centième d'insuffisance du facteur de puissance constatée.

$$\text{Maj.}(\cos(\phi)) = 2 \times (0,8 - \cos(\phi)) \times (\text{RC} + \text{RP} + \text{RDPS})$$

Ci-dessous, le relevé du facteur de puissance durant la période 2014-2015

	Facteur de puissance 2014	Facteur de puissance 2015	pénalité
JANVIER	0,92	0,96	0
FÉVRIER	0,94	0,95	0
MARS	0,93	0,94	0
AVRIL	0,98	0,98	0
MAI	0,99	0,976	0
JUIN	0,98	0,975	0
JUILLET	0,97	0,96	0
AOÛT	0,975	0,95	0
SEPTEMBRE	0,975	0,94	0
OCTOBRE	0,96	0,93	0
NOVEMBRE	0,94	0,92	0
DÉCEMBRE	0,95	0,91	0
MOYENNE	<b>0,9591</b>	<b>0,949</b>	

**Tableau II-11: Cos PHI 2014-2015**



**Figure II-6 : Evolution du facteur de puissance**

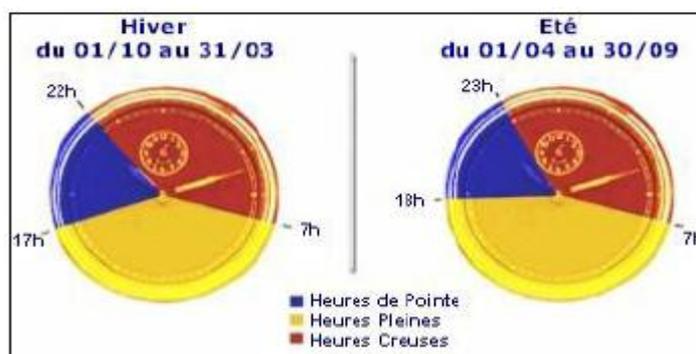
La figure ci-dessus montre bien que le  $\cos \phi$  reste très suffisant mettant en évidence une dégradation significative du FP. En 2014, le  $\cos \phi$  a enregistré une valeur moyenne de 0.9591 contre une moyenne de 0.949 en 2015.

### 3.5. La consommation de l'énergie active

La consommation de l'énergie électrique représente la part du lien de la facture d'électricité de la CBGS avec **74,19%** et un montant total de **12 330 469.24 DH HT** pendant les deux dernières années.

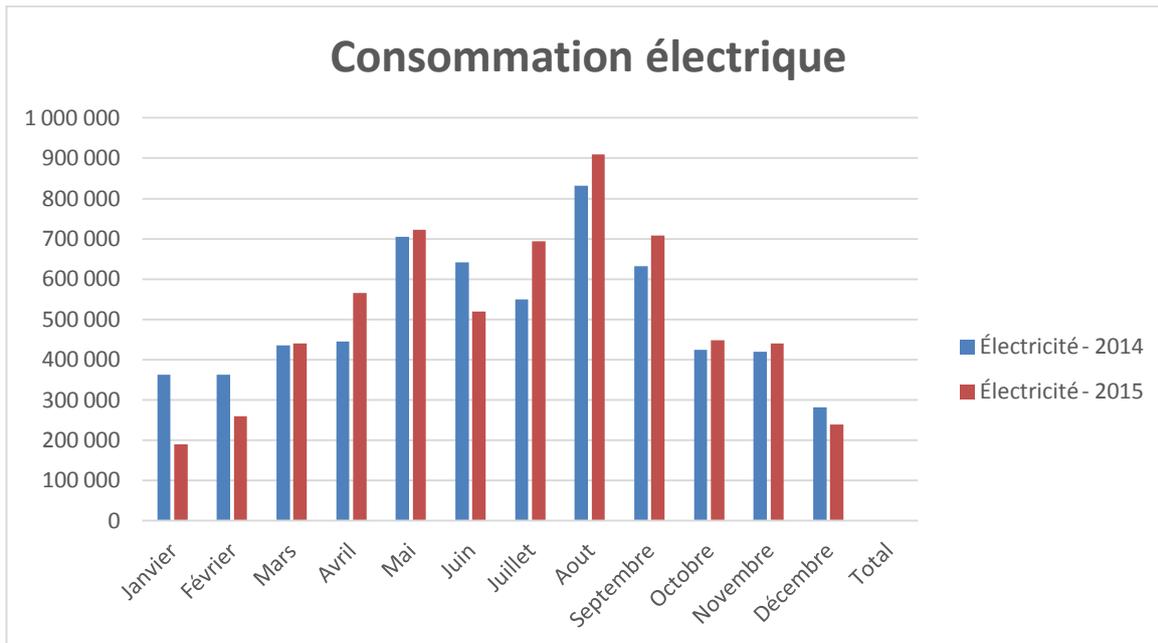
Tout d'abord, nous devons connaître l'organisation de la distribution d'électricité au Maroc.

Pour les saisons et les tranches horaires on trouve :



**Figure II-7: Tranches horaires ONEE**

En se basant sur les données de consommation des trois dernières années, on élabore le graphe d'évolution annuel représenté sur la figure suivante :



**Figure II-8:** Consommation de l'énergie électrique.

Comme le montre la figure ci-dessus, la consommation atteint son maximum en période d'été ce qui s'explique par l'accroissement du volume l'activité d'exploitation vu la nature du produit. Ainsi que par l'effet des températures extérieures élevées nécessitant le fonctionnement en plein charge des utilités de froid et de climatisation.

La compagnie de distribution de l'énergie électrique applique des tarifs de consommation variables selon les tranches horaires. Cette répartition vient du fait de la variation de la demande d'électricité au long de la journée. On distingue les trois tranches horaires suivantes :

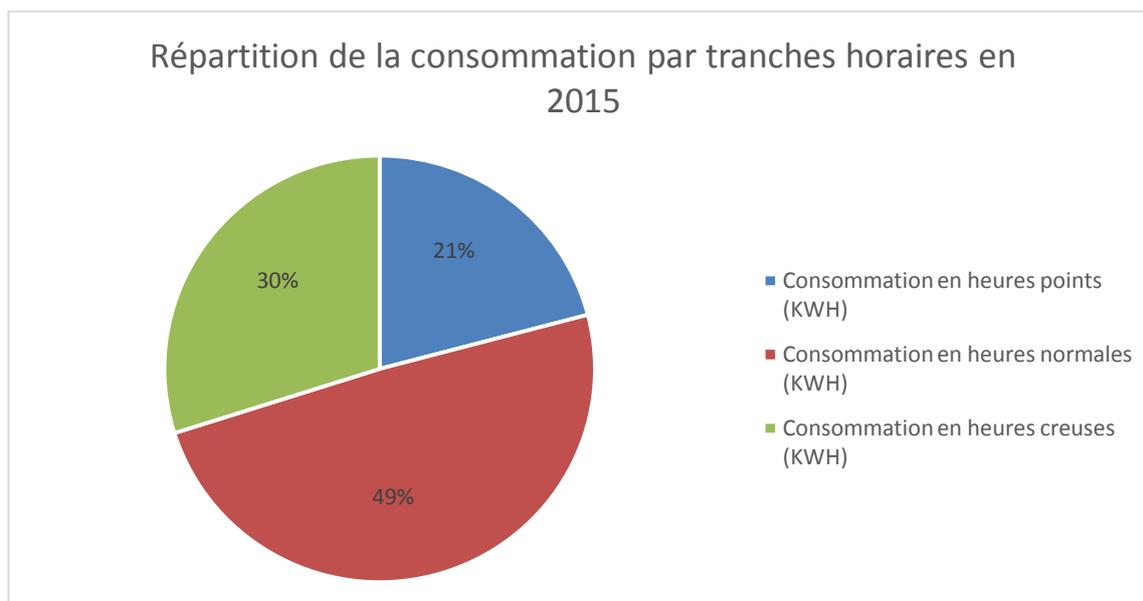
- **Heures normales** : De 07h00 à 17h00, le KWh est taxé à **0,706 DH**.
- **Heures de pointe** : De 17h00 à 23h00, le KWh est taxé à **1,075 DH**.
- **Heures creuses** : De 23h00 à 07h00, le KWh est taxé à **0,459 DH**.

Le tableau suivant donne les consommations annuelles par tranches horaires pour les deux dernières années (**voir annexe N°3**).

Année	Consommation totale en KWH	Consommation en heures normales en KWH	Consommation en heures pleines en KWH	Consommation en heures creuses en KWH
<b>2014</b>	6236853	1315639	3022470	1898744
<b>2015</b>	6205105	1298133	3053955	1853017

**Tableau II-12:** La consommation par tranches horaires.

Le graphique en anneau ci-dessous nous présente la répartition par tranches horaires de la consommation de l'énergie électrique, en se basant sur les factures de la période 2014-2015 :



**Figure II-9 :** Répartition de la consommation par tranches horaires en 2015.

### 3.6. Taux de charge

Le facteur de charge correspond à des ratios entre votre consommation d'énergie réelle (kWh) et la puissance maximale enregistrée (demande) pour cette période de temps.

$$\text{Taux de charge} = \frac{\text{Consommation en KWh}}{\text{Puissance maximale en KW} \times \text{nombre d'heures}}$$

Le tableau suivant donne les valeurs mensuelles du facteur de charge du site de la CBGS durant la période 2014-2015 :

2014	Mois	Puissance maximale en KW	Consommation en KWh	Nombre des jours	Nombre d'heures	Taux de charge
	JANVIER	1280	363 154	31	744	38,13%
	FÉVRIER	1313	363 277	28	672	41,17%
	MARS	1266	435 305	31	744	46,22%
	AVRIL	1441	444 298	30	720	42,82%
	MAI	1743	705 799	31	744	54,43%
	JUIN	1724	641 520	30	720	51,68%
	JUILLET	1725	550 208	31	744	42,87%
	AOÛT	1710	831 605	31	744	65,37%
	SEPTEMBRE	1772	632 515	30	720	49,58%
	OCTOBRE	1594	424 948	31	744	35,83%
	NOVEMBRE	1575	419 635	30	720	37,00%
	DÉCEMBRE	1343	281 856	31	744	28,21%

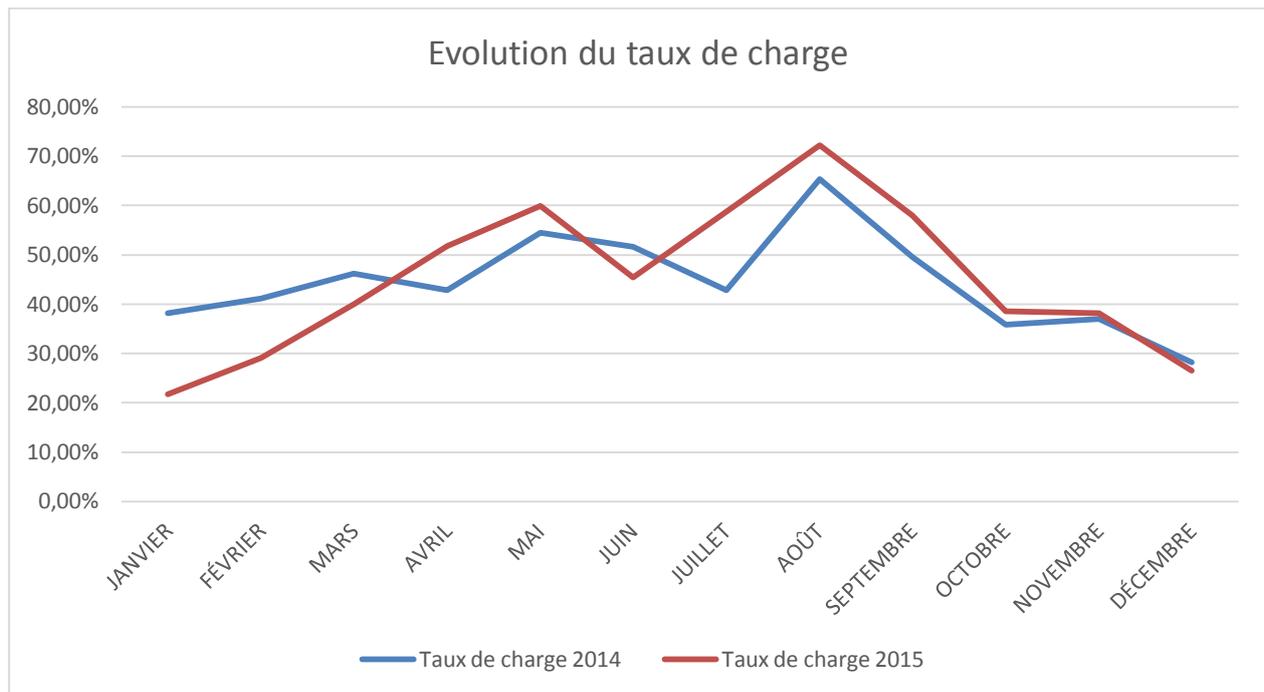
**Tableau II-13:** L'évolution du facteur de charge de l'année 2014.

2015	Mois	Puissance maximale en KW	Consommation en KWh	Nombre des jours	Nombre d'heures	Taux de charge
	JANVIER	1176	189 678	31	744	21,68%
	FÉVRIER	1330	259 748	28	672	29,06%
	MARS	1478	439 657	31	744	39,98%
	AVRIL	1516	565 770	30	720	51,83%
	MAI	1622	723 025	31	744	59,91%
	JUIN	1593	520 321	30	720	45,37%
	JUILLET	1587	694 477	31	744	58,82%
	AOÛT	1692	909 113	31	744	72,22%
	SEPTEMBRE	1697	708 081	30	720	57,95%
	OCTOBRE	1566	448 643	31	744	38,51%
	NOVEMBRE	1601	439 640	30	720	38,14%
	DÉCEMBRE	1213	238 847	31	744	26,47%

Tableau II-14: L'évolution du facteur de charge de l'année 2015.

Mois	Taux de charge 2014	Taux de charge 2015
JANVIER	38,13%	21,68%
FÉVRIER	41,17%	29,06%
MARS	46,22%	39,98%
AVRIL	42,82%	51,83%
MAI	54,43%	59,91%
JUIN	51,68%	45,37%
JUILLET	42,87%	58,82%
AOÛT	65,37%	72,22%
SEPTEMBRE	49,58%	57,95%
OCTOBRE	35,83%	38,51%
NOVEMBRE	37,00%	38,14%
DÉCEMBRE	28,21%	26,47%

Tableau II-15 : L'évolution du facteur de charge

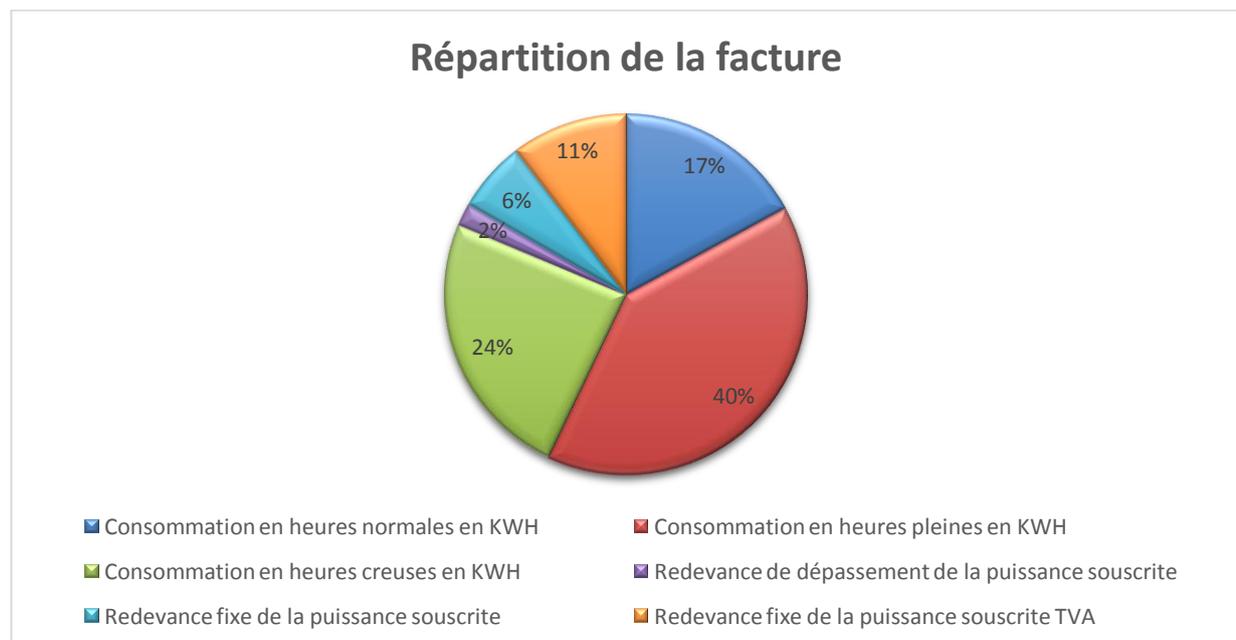


**Figure II-10:** Evolution du taux de charge.

On observe une amélioration du taux de charge en 2015 par rapport à 2014 ainsi on remarque qu'il atteint ses valeurs maximales dans la période de haute saison.

### 3.7. Répartition de la facture

En se basant sur les données fournies par les factures d'électricité de 2015 (**voir annexe**), le Diagramme à secteurs suivant donne la répartition de la facture par catégories :



**Figure II-11 :** Répartition de la facture

On observe l'effet du dépassement de la puissance souscrite sur la facture puisque la redevance due à celui-ci représente à elle seule **2%** de la facture totale. D'une autre part et d'un

point de vue de consommation on peut constater que la consommation en heures de pointes, représente **40 %** du totale de la facture, Ceci est un résultat direct du tarif élevé appliquée durant cette tranche horaire.

#### 4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour une inspection d'état et une analyse de la facture afin de visionner les performances énergétique de la CBGS par une analyse de la facture et à déterminer les paramètres nécessaire à la suite de la vérification.

## **CHAPITRE 3 :**

### **VERIFICATION ENERGETIQUE DE LA CBGS**

### III. Vérification énergétique de la CBGS

#### 1. Introduction

Dans le présent chapitre, on entame la vérification énergétique de la CBGS. D'abord, une analyse de la demande permettra de mettre en évidence les profils de la demande de puissance de différentes charges et en tirer des conclusions au fur et à mesure. Ensuite, une analyse de la consommation consistant en analyse de régression de la consommation en fonction de la production et une détermination des énergivores à l'aide de la méthode ABC.

Le profil de demande (c.-à-d., la description du temps d'utilisation et de l'amplitude des charges électriques) et l'inventaire des charges sont deux des outils dont le vérificateur énergétique aura besoin pour procéder à une évaluation exhaustive d'une installation. Ces outils sont complémentaires car ils fournissent des renseignements quantitatifs sur les systèmes consommateurs d'énergie d'une installation.

#### 2. Notions de bases

##### 2.1. Le profil de la demande

Le profil de demande électrique renferme une foule de renseignements sur les activités de l'installation. Ce registre du temps de la consommation d'énergie procure l'information sur les charges électriques applicables à tout moment et sur la demande globale qu'elles représentent. Par ailleurs, un profil de demande peut permettre de relever l'application de charges à des moments où ces dernières ne sont pas requises et d'identifier des systèmes dont la capacité est inappropriée. En raison du fait que le coût de l'électricité est en partie déterminé par la demande maximale, la réduction de la demande peut entraîner une baisse considérable des coûts énergétiques.

Le profil de demande a pour objectif de procurer des renseignements détaillés sur la façon dont l'énergie est utilisée dans l'ensemble d'une installation. Le profil de demande est essentiellement « l'empreinte électrique » de l'installation et constitue un outil extrêmement utile pour faire un suivi de la consommation d'énergie.

##### 2.2. L'inventaire des consommations des charges

L'inventaire des charges est une manière systématique de recueillir et de traiter ce type de renseignements. Il s'agit d'un outil utile pour entreprendre des évaluations de simulation des mesures proposées, c'est-à-dire une évaluation de l'incidence des améliorations ou d'autres modifications technologiques ou opérationnelles.

Le vérificateur énergétique doit savoir où est consommée l'énergie, la quantité utilisée par chaque système et la part de tous les systèmes dans la charge totale. En outre, il est utile de connaître la façon dont la charge totale d'énergie est distribuée parmi les divers systèmes.

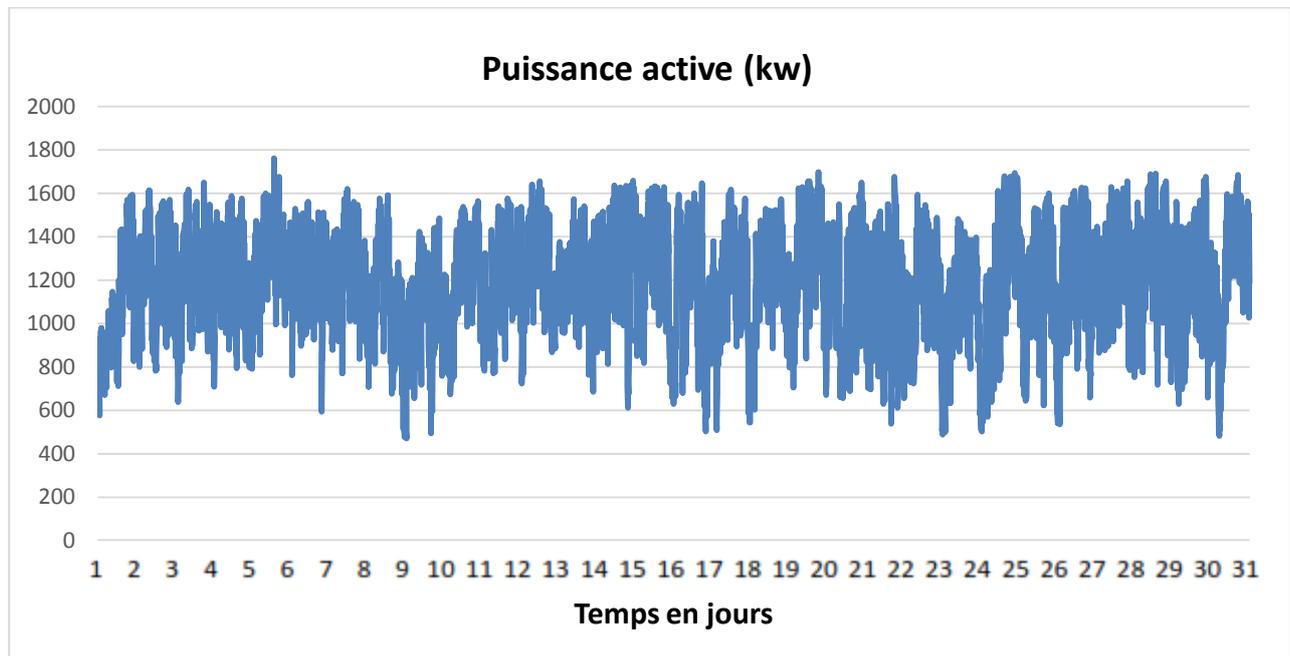
#### 3. Analyse du profil de la demande

### 3.1. Introduction

En se basant sur les enregistrements de la demande de la période d'étude s'étalant entre le **01/08/2015 à 00:00** et **01/09/2015 à 00:00**, ou il y avait un **dépassement maximal** de la puissance appelée en **haute saison**, on va pouvoir dresser les profils de la demande mensuelles et journalières.

### 3.2. Profile mensuel de la demande

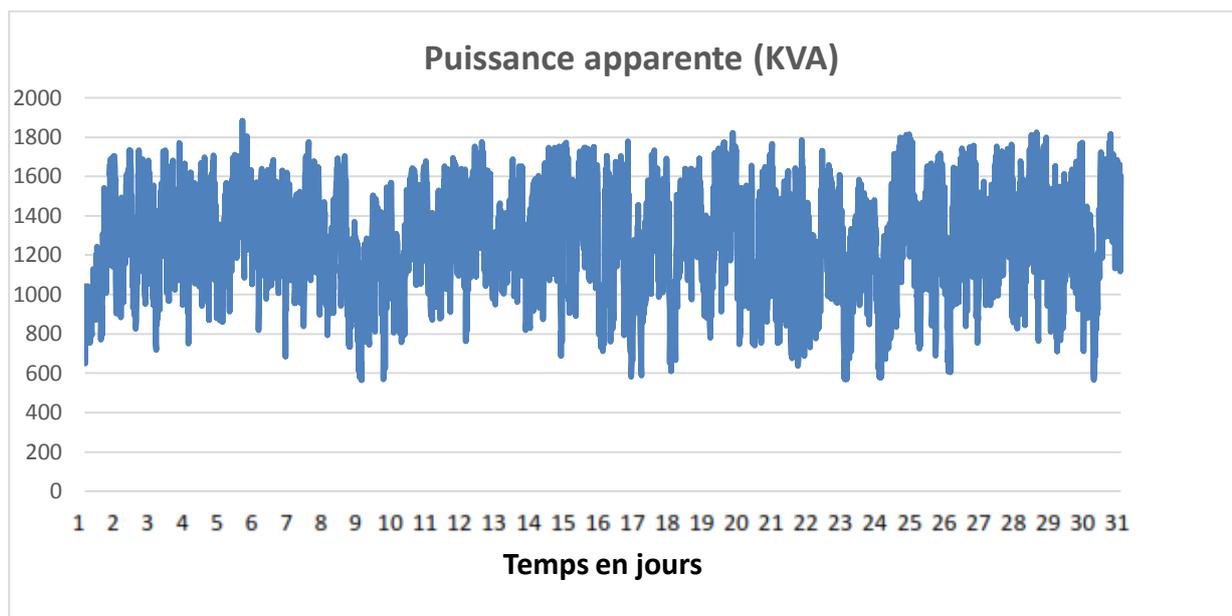
Pendant la période d'étude de 31 jours, on a relevé la puissance active appelée par le site avec un intervalle de mesure de 10 minutes ce qui a permis de dresser le profil mensuel suivant :



**Figure III-1** : Profil mensuel de la puissance active.

La puissance active à enregistré une moyenne mensuelle de **1188 KW** et une valeur de crête de **1762 KW** a été mesuré durant le 5ème jour de l'observation (05/08/2015).

Le suivit de la puissance apparente pendant la même période d'étude et représenté sur le graphe suivant :



**Figure III-2 :** Profil mensuel de la puissance apparente.

Le profil obtenu présente logiquement une allure similaire à celle du profil de la puissance active avec une moyenne de **1277 KVA** et une demande maximale de **1884KVA**. On peut ainsi estimer le facteur de puissance moyen de l'installation à une valeur de **0.93**.

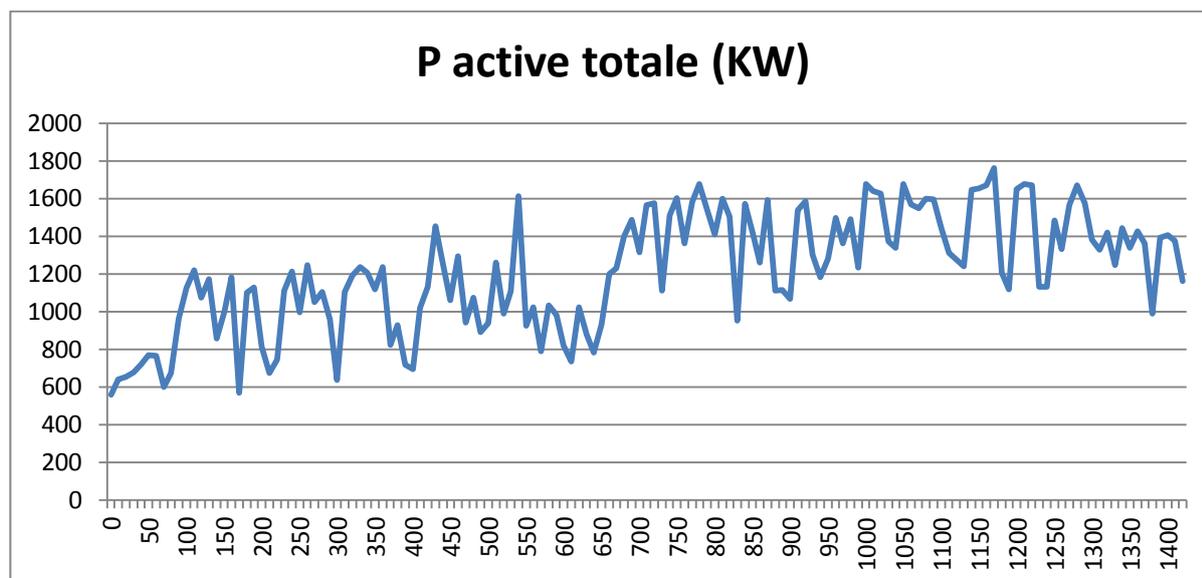
### **3.3. Profil journalier de la demande du site**

Afin de pouvoir mettre en évidence les éléments influents sur la variation de la demande, il s'avère nécessaire de dresser un profil journalier de cette dernière.

La période choisie pour cette étude est durant le **05 Aout 2015**. Un choix expliqué par la demande importante observée sur le profil mensuel pendant ce jour.

L'analyse de cette demande va permettre d'identifier l'incidence de la production ainsi le démarrage et l'arrêt des équipements sur l'appel de puissance. Elle va permettre aussi d'observer et d'interpréter les charges de nuits, les charges cycliques et les interactions entre les différents équipements et leur influence sur la consommation d'énergie.

La figure suivante représente le profil de la demande en puissance active pendant les 24 heures en question :



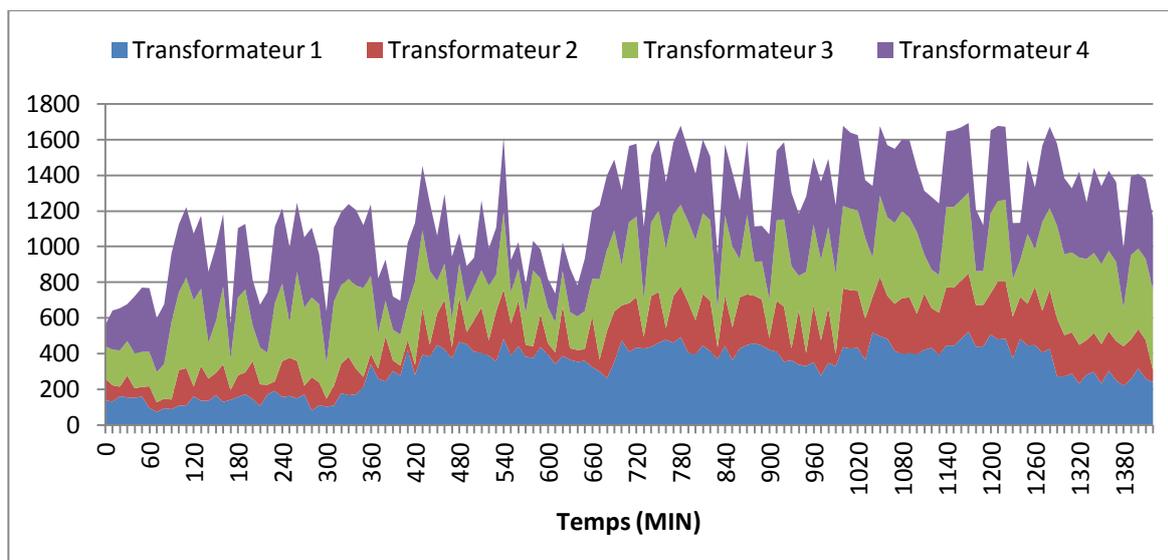
**Figure III-3 :** Profil de la puissance active du 05/08/2015.

La puissance appelée a enregistré une valeur maximale de **1762 KW** le 05/08/2015 vers 19:40. On remarque que la demande la plus importante a été mesuré durant les heures de pointes où le coup de l'énergie et le plus élevé de la journée.

Heure	Ligne de production	Observation
De 00:40 à 02:10	Ligne ORTHMAN	La valeur maximale de la puissance active égale à 1221KW et sa valeur moyenne est de 908,8 KW. On observe une augmentation au niveau de la puissance appelée de 54KW
De 02:30 à 06:00	Ligne ORTHMAN et ligne PET	La valeur maximale de la puissance active égale à 1246 KW et sa valeur moyenne est de 1028KW. On observe une augmentation 25 au niveau de la puissance appelée de 229 KW à cause du démarrage de la ligne PET
De 07:00 à 23:40	Ligne ORTHMAN et ligne PET	La valeur maximale de la puissance active égale à 1693 KW et sa valeur moyenne est de 1329 KW. On observe une augmentation au niveau de la puissance appelée de 447 KW

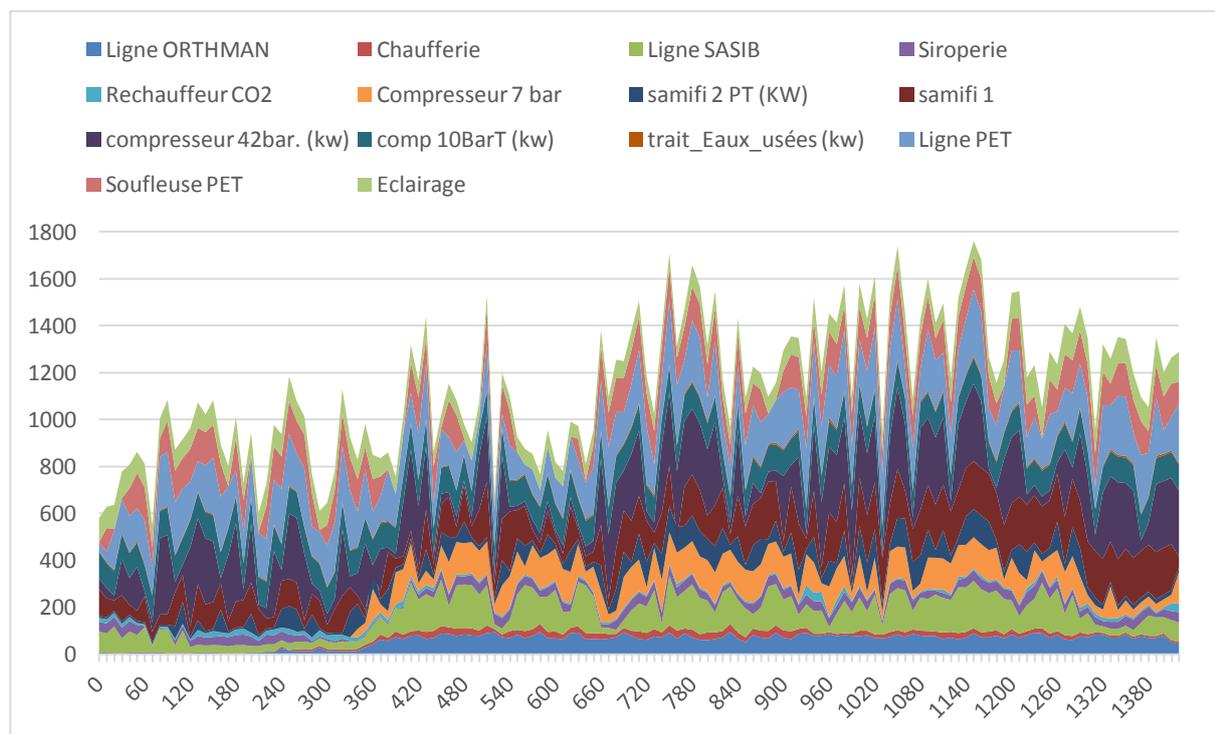
**Tableau III-1:** observation des lignes de production.

La figure suivante met en évidence le profil de la demande par arrivée de chaque transformateur :



**Figure III-4:** Profil de la puissance active par transformateur.

La figure suivante représente le profil de la demande en puissance active pendant les 24 heures en question par charge :



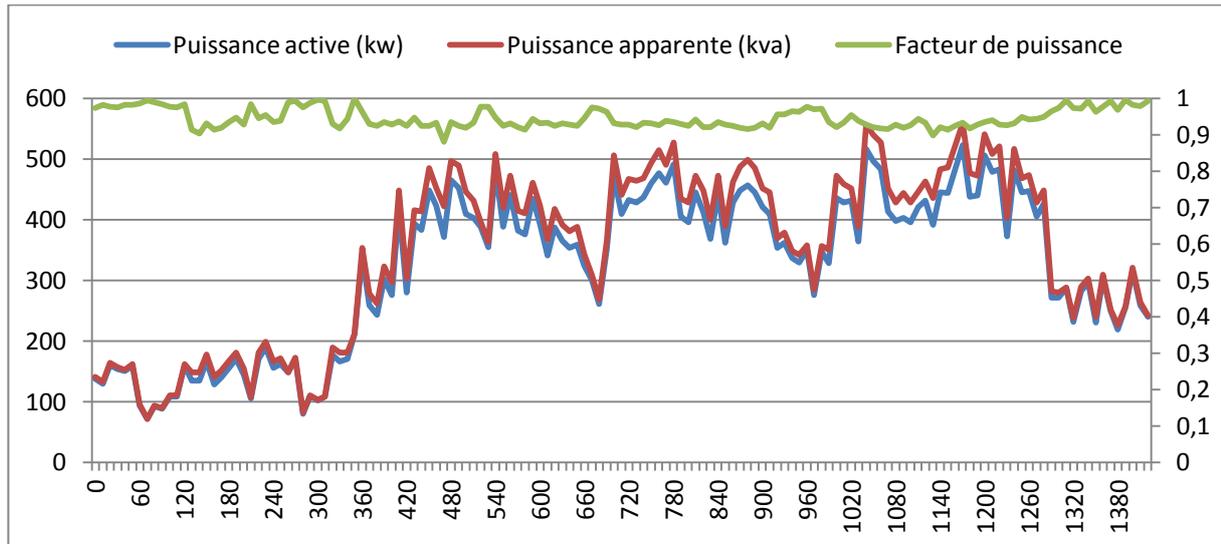
**Figure III-5 :** Profil de la puissance active par charges.

### 3.4. Profil de la demande par transformateur

Dans le but d'identifier les causes de la variation de la demande on va devoir observer les profils de puissance appelée au niveau de chaque départ de transformateur. Cette étude permettra de déduire l'incidence de chacune des charges sur la demande totale et de déterminer les causes des demandes de crête, les comportements des charges durant des périodes spécifiques de la journée.

### 3.4.1. Transformateur 1 (1000 KVA)

Le graphe suivant qui met en évidence la puissance active, la puissance apparente et le facteur de puissance du circuit secondaire du transformateur 1 :

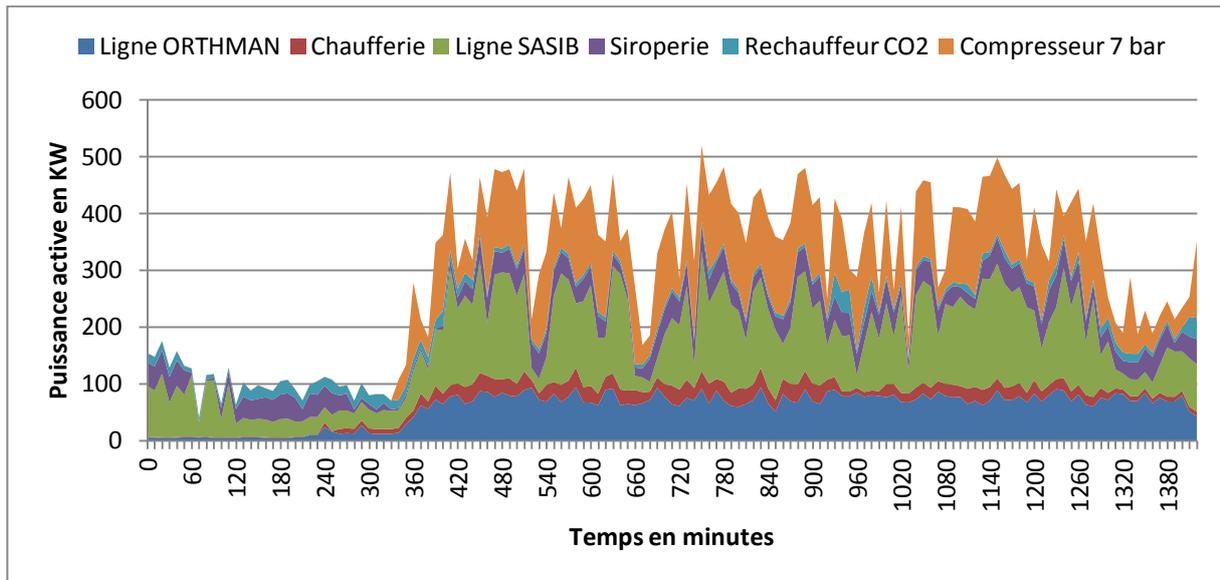


**Figure III-6:** Profil de la demande du transformateur

La puissance active affiche un maximum de **540 KW** durant la même période de crête observé sur le profil global du site.

Le profil de la puissance apparente affiche des valeurs relativement importantes en comparaison avec les valeurs de la puissance active (un maximum de **578 KVA**). Ce constat est dû à une puissance réactive importante consommée par les charges. Ce qui explique le facteur de puissance important du circuit qui avoisine les **0,94** en moyenne.

La figure suivante met en évidence la contribution de chaque section de charge alimentée par le transformateur 1 à la demande de puissance totale :



**Figure III-7:** Profil de la demande de puissance active par sections du transformateur 1.

On se basant sur le schéma unifilaire du réseau électrique, le transformateur 1 alimente deux compresseurs d'air, les deux lignes de production SASIB et ORTHMAN, la siroperie, ainsi que la chaufferie et l'unité de production de la vapeur et de réchauffage du CO<sub>2</sub>.

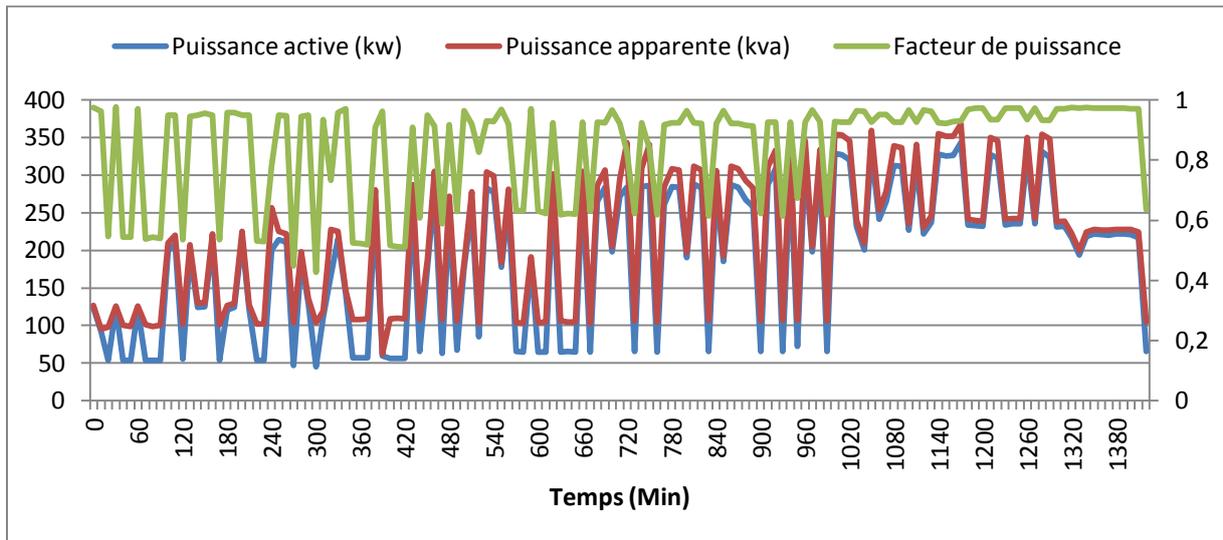
D'après le profil précédent, la hausse de la demande observée est produite par l'activité de la ligne SASIB (qui tourne 11h par jour suivant le programme de production de la période). La ligne ORTHMAN d'une autre part affiche un profil plus stable avec une activité continue pendant 24h.

Le fonctionnement simultané des deux lignes ORTHMAN et SASIB déclenche une augmentation de la puissance appelé par les compresseurs d'air et des utilités.

Ainsi on peut observer un cycle périodique de 24h avec une demande maximale entre 6h et 21h qui correspond au fonctionnement de la ligne SASIB.

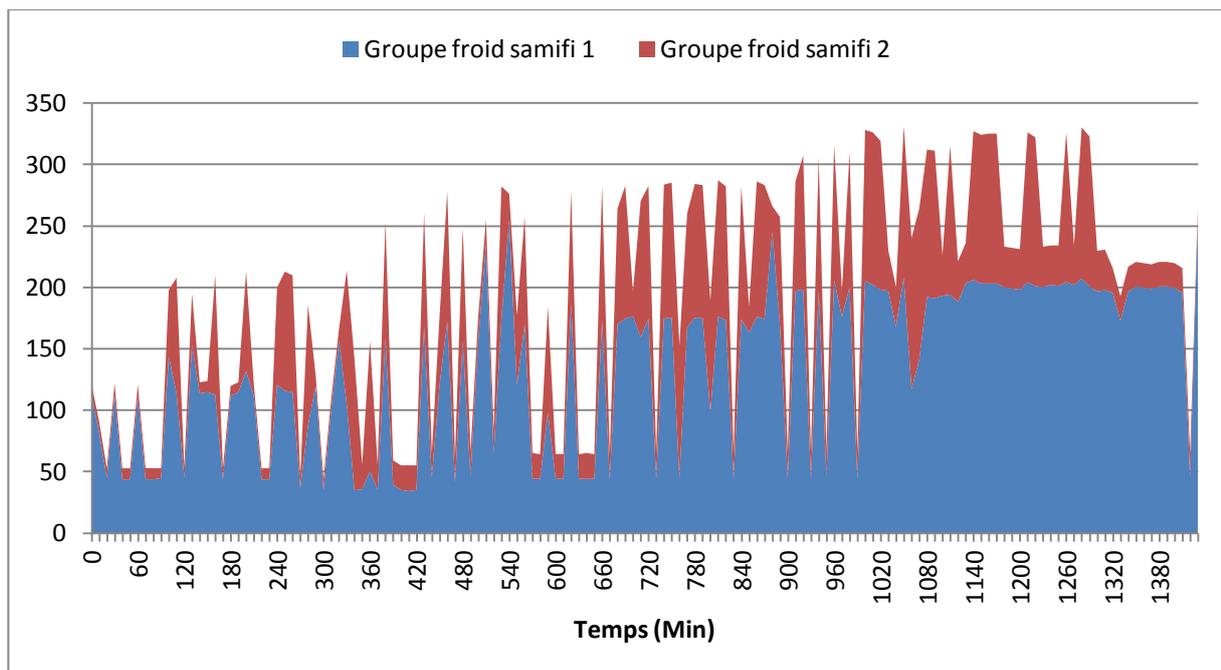
### 3.4.2. Transformateur 2 (1000 KVA) :

Les profils de la puissance active, apparente et du facteur de puissance au départ du transformateur 2 sont représentés sur le graphe suivant :



**Figure III-8 :** Profil de la demande du transformateur 2.

Avec un maximum de **343 KW** de puissance active, et un facteur de puissance qui varie fortement autour de **0,97** et **0,42**, le profil de la demande du transformateur 2 suit la tendance de la demande globale de l'installation. On observe néanmoins un fonctionnement en cycle court qui engendre des pics importants.



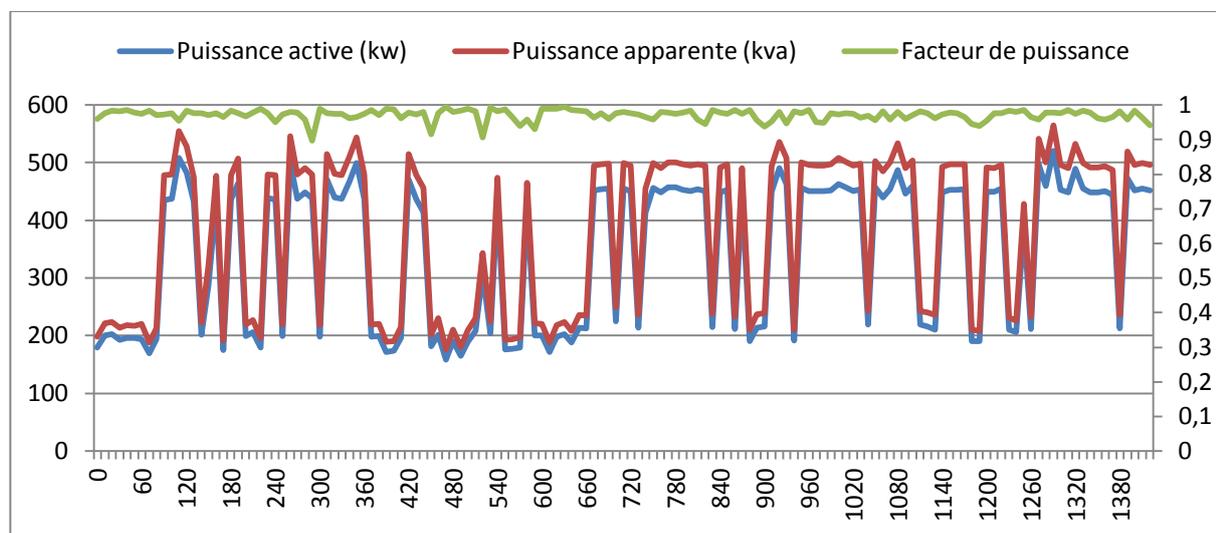
**Figure III-9 :** Puissance active appelée par le transformateur 2 par charge.

Le transformateur 2 assure l'alimentation des deux groupes froids SAMIFI 1 et SAMIFI 2. Ainsi, les charges en question ici sont grosso modo des compresseurs d'ammoniac et des pompes d'eau glycolée. L'existence des compresseurs explique le fonctionnement en cycle court.

La variation de puissance appelée par les groupes SAMIFI réagit à la demande de l'usine en matière de froid (notamment les lignes de production et la siroperie).

### 3.4.3. Transformateur 3 (1000 KVA) :

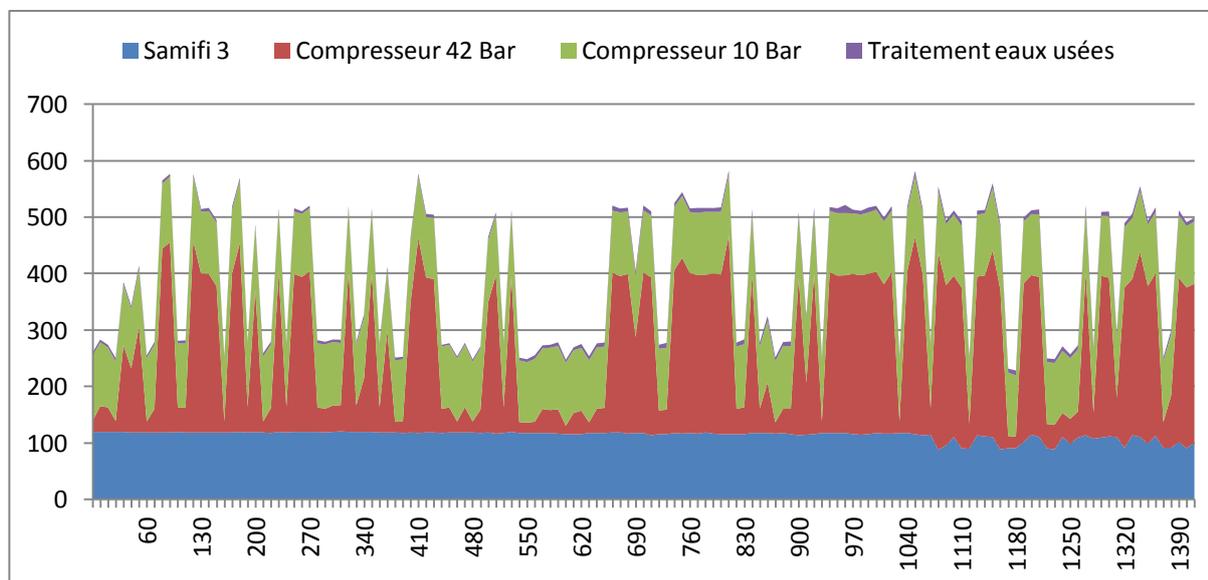
L'évolution de la puissance active, la puissance apparente et le facteur de puissance du transformateur 3 est représenté sur le graphe suivant :



**Figure III-10:** Profil de la demande du transformateur 3.

Le transformateur enregistre une valeur maximale de puissance active appelée de **520 KW** durant la journée (05/08 à 21h50).

La valeur du facteur de puissance varie entre **0.86** (pendant l'arrêt des lignes) et **0.99**. Ainsi la puissance apparente affiche un maximum d'environ **565 KVA**.



**Figure III-11 :** Profil de la puissance active du transformateur 3 par sections.

Les charges alimentées par le transformateur 3 sont en majorité des compresseurs à savoir les compresseurs d'air 42 bars et 10 bars ainsi que le compresseur d'ammoniac du groupe froid SAMIFI3. Cette nature de la charge explique les cycles courts de la demande et l'abondance des pics de puissance. La station de traitement des eaux usée d'une autre part affiche une demande plus au moins constante.

Le compresseur 42 bars s'impose comme un énergivore avec puissance active d'environ **200KW** exclusivement destinée à l'alimentation de la souffeuse PET en air comprimé à une pression de 30 bars. On peut observer l'interaction qu'il existe entre le fonctionnement des deux équipements.

Le groupe froid SAMIFI 3 répond à l'augmentation de la demande du froid industriel déclenchée par l'activité simultanée des lignes de production.

#### 3.4.4. Transformateur 4 (800KVA) :

De même, on dresse le profil de la demande des charges constituant le circuit du secondaire du transformateur 4. On obtient le graphe suivant :

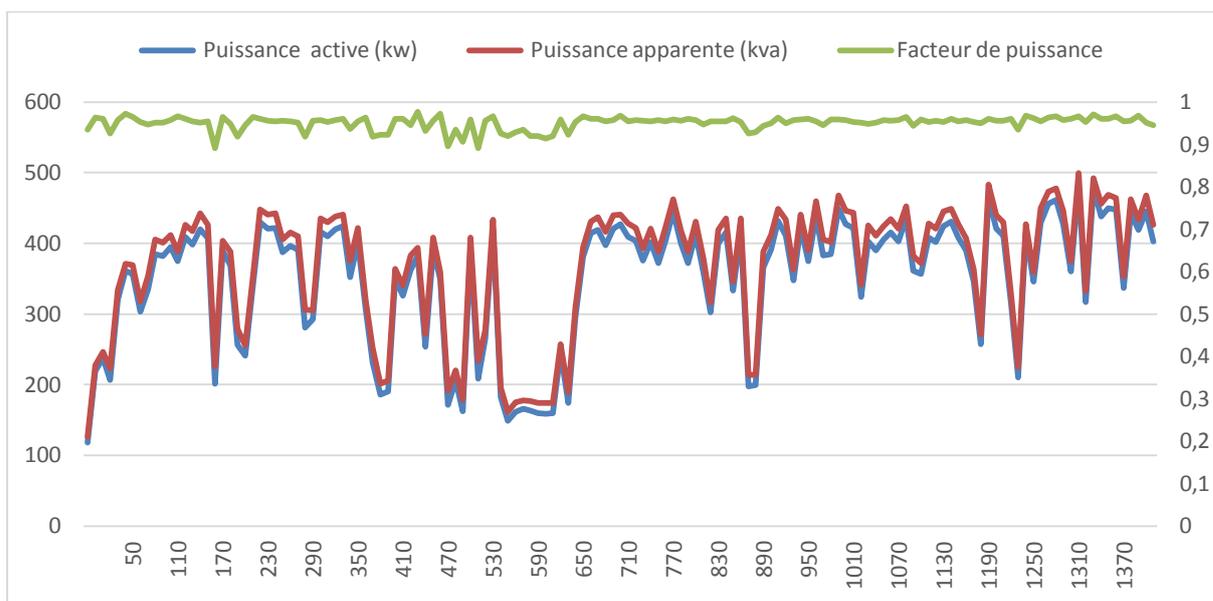
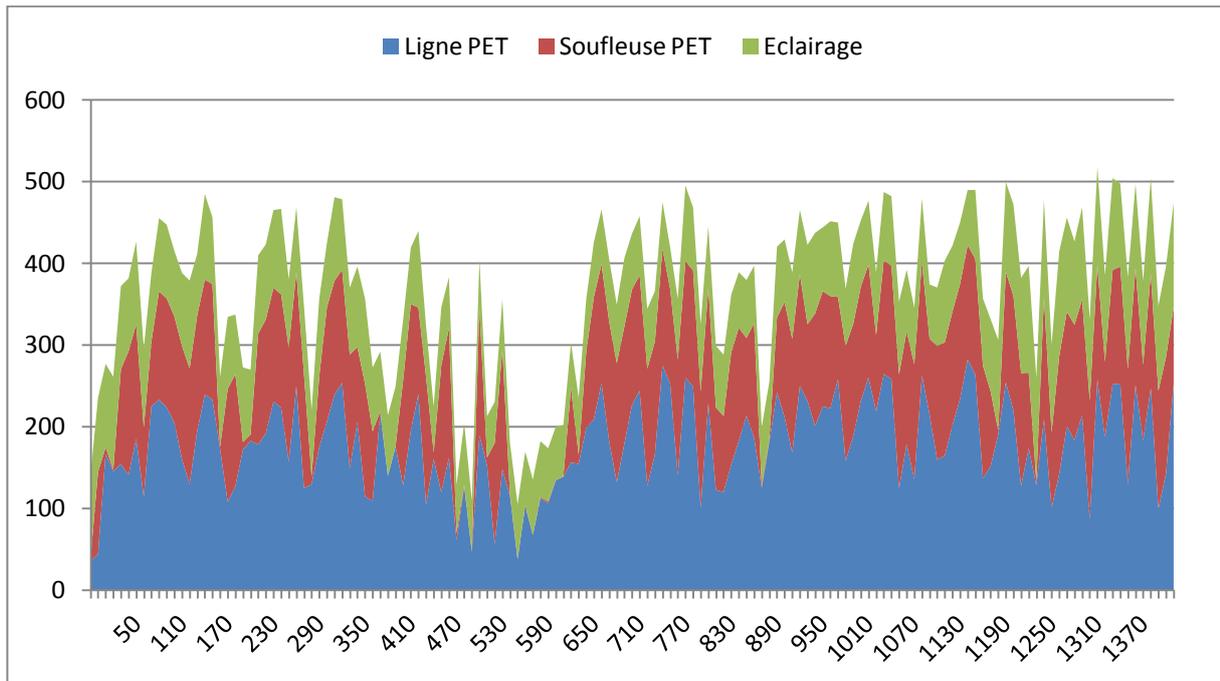


Figure III-12: Profil de la demande du transformateur 4

La première remarque à tirer du profil est la bonne valeur du facteur de puissance (**0.95** en moyenne). Ceci a un effet sur la puissance apparente qui affiche des valeurs proches de celle de la puissance active. Cette dernière enregistre un maximum de **482 KW** (le 05/08 à 22h:10).



**Figure III-13** : Demande de la puissance active du transformateur 4 par section.

La ligne PET est le plus grand consommateur d'énergie de site avec un appel de puissance d'environ **174KW** en plein charge. La souffeuse à elle seule occupe plus de **57%** de la demande de la ligne.

Le bon facteur de puissance du circuit est dû au bon état des équipements de la ligne PET (Installée récemment en 2010) mais aussi à l'existence des charges d'éclairage (charges résistives) qui permettent de garder un FP proche de 1.

Avec un maximum de **280 KVA**, le transformateur garde à taux de charge acceptable de **57 %** qui permet d'avoir un bon rendement de transformation.

#### 4. Analyse de la consommation

##### 4.1. Analyse comparative

L'approche visant l'analyse comparative expliquée dans la présente section comporte le contrôle et le suivi. Cette méthode d'analyse statistique tient compte de facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie, comme la production ou les conditions météorologiques, et procure de l'information de gestion utile sur les tendances de consommation d'énergie et les liens pouvant servir à analyser le rendement antérieur et à contrôler le rendement dans l'avenir.

L'objectif principal de la méthode est de déterminer la relation liant l'ensemble des facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie et cette dernière ; à savoir la production, les conditions météorologique et l'occupation. Dans la suite de cette analyse on se concentrera sur le facteur le plus influent à savoir la production.

### 4.1.1. Analyse de régression

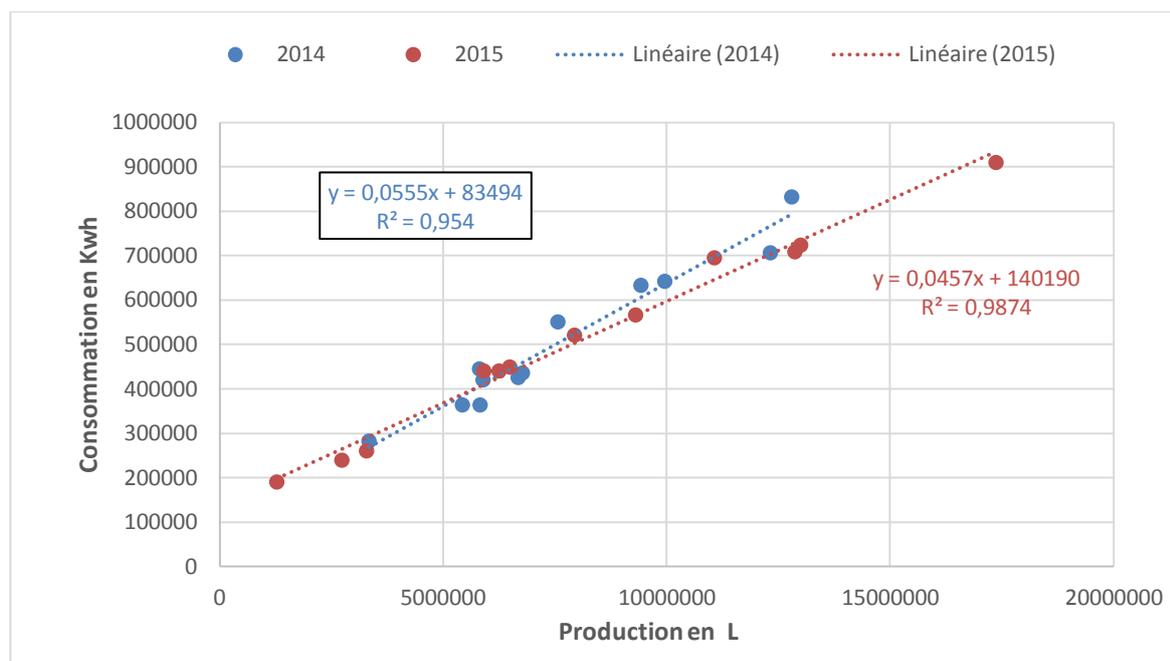
On détermine habituellement le lien fonctionnel entre la production et la consommation d'énergie par régression linéaire, c'est-à-dire en trouvant la droite du meilleur ajustement à l'aide de la méthode des moindres carrés pour positionner la consommation d'énergie par rapport à la production.

Le tableau suivant donne les valeurs de production, de consommation totale et spécifique et les ratios de consommation des années 2014-2015.

Année	Mois	Consommation en KWh	Production en L	Ratio L/KWH
<b>2014</b>	1	363154	5825965,56	16,04
	2	363277	5429369,84	14,94
	3	435305	6773272,28	15,55
	4	444298	5812407,6	13,08
	5	705799	12320530,2	17,45
	6	641520	9957702,04	15,52
	7	550208	7565693,56	13,75
	8	831605	12798324,2	15,38
	9	632515	9424724,88	14,90
	10	424948	6677044,04	15,71
	11	419635	5891076,96	14,03
	12	281856	3339390,04	11,84
<b>2015</b>	1	189678	1276930,92	6,73
	2	259748	3284356,28	12,64
	3	439657	6250147,96	14,21
	4	565770	9306286	16,44
	5	723025	12999139,9	17,97
	6	520321	7938785,08	15,25
	7	694477	11068410	15,93

8	909113	17370097,3	19,10
9	708081	12869658,4	18,17
10	448643	6488635,44	14,46
11	439640	5908689,08	13,43
12	238847	2732481,44	11,44

**Tableau III-2 :** Suivi de la consommation et de la production.



**Figure III-14:** Régression de la consommation en fonction de la production.

On remarque une diminution de 17% la pente de la ligne de régression de la consommation/production en 2015 par rapport à 2014. Ceci indique une amélioration du ratio électrique en 2015 par rapport à 2014. Néanmoins, le terme à l'origine affiche une augmentation de l'ordre de 40%. Ce constat traduit le fait que la consommation fixe (indépendante de la production) a connu une évolution croissante.

La réduction de la consommation fixe de sorte à garder un résultat proche de celui de 2014 aboutira à une économie d'énergie considérable de l'ordre de **40%** soit **56 696 KWh** par mois.

## 4.2. Analyse de la consommation d'énergie électrique

### 4.2.2. Taux de charge

Le taux de charge (comme il a été défini dans la section : analyse de la facture) permet de d'évaluer la demande maximale par rapport à la consommation réelle. Avec un idéal égale 1 correspondant à une demande de puissance constante, un faible taux de charge indique un fonctionnement irrégulier de l'équipement avec des pics de puissance importants en comparaison à l'énergie électrique utilisé.

Le tableau suivant représente les résultats de l'inventaire des différents équipements :

Sections	Puissance maximale en KW	Puissance Moyenne en KW	Consommation en KWh	Nombre d'heures	Taux de charge
Ligne PET	263	160	15403,99	744	7,9%
Traitement des eaux usées	47	40,947149	30446,22	744	87,1%
compresseur d'airs 1 et 2 (2* 7 bars)	117	80,73	40131,74	744	46,1%
Groupe froid SAMIFI 1	163	94	101472,4	744	83,7%
Ligne ORTHMAN	144	82	30949,99	744	28,9%
Souffleuse PET	216	132	86363,82	744	53,7%
compresseur d'air PET (42bar)	338	194	35927,837	744	14,3%
Eclairage	195	125	41490,78	744	28,6%
Salle de traitement d'eau	47	27	19912,53	744	56,9%
Siroperie	39	17	28730,3	744	99,0%
Groupe froid SAMIFI 3	117	271	47392,7	744	54,4%
Groupe froid SAMIFI 2	127	64	8726,81	744	9,2%
Chaufferie	247	135	59202,9	744	32,2%

<b>Réchauffeur CO2</b>	41	14	4048,6	744	13,3%
<b>Ligne SASIB</b>	263	110	49438,57	744	25,3%
<b>Compresseur d'air 3 (10bar)</b>	111	105	80952,16	744	98,0%
<b>Mezzanine</b>	82	45	21738,3	744	35,6%

**Tableau III-3:** Données de puissances et de consommation des charges.

Le tableau donne les valeurs de la consommation de chaque équipement ainsi que la demande maximale et moyenne de puissance. En sachant le nombre d'heure de la période d'analyse on calcule le taux de charge de chaque équipement. Le TC varie entre 87,1% pour Traitement des eaux usées et 2,1% pour la ligne SASIB.

### 4.3. Inventaire des consommations des charges électriques

Afin de mettre en évidence la contribution de chaque équipement à la consommation d'énergie électrique et la demande de puissance et identifier les énergivores et les responsables sur la l'élévation de la demande on aura recours à la *méthode ABC*.

En se basant sur le principe de *Pareto* (20% des causes déclenchent 80% des effets), la méthode ABC permettra de classer les équipements en trois catégories :

- **Catégorie A** : Responsables de **80%** de la consommation/demande.
- **Catégorie B** : Responsables de **15 %** de la consommation/demande.
- **Catégorie C** : Responsables de **5%** de la consommation/demande.

#### 4.3.1. Méthode ABC appliqué à la consommation d'énergie électrique

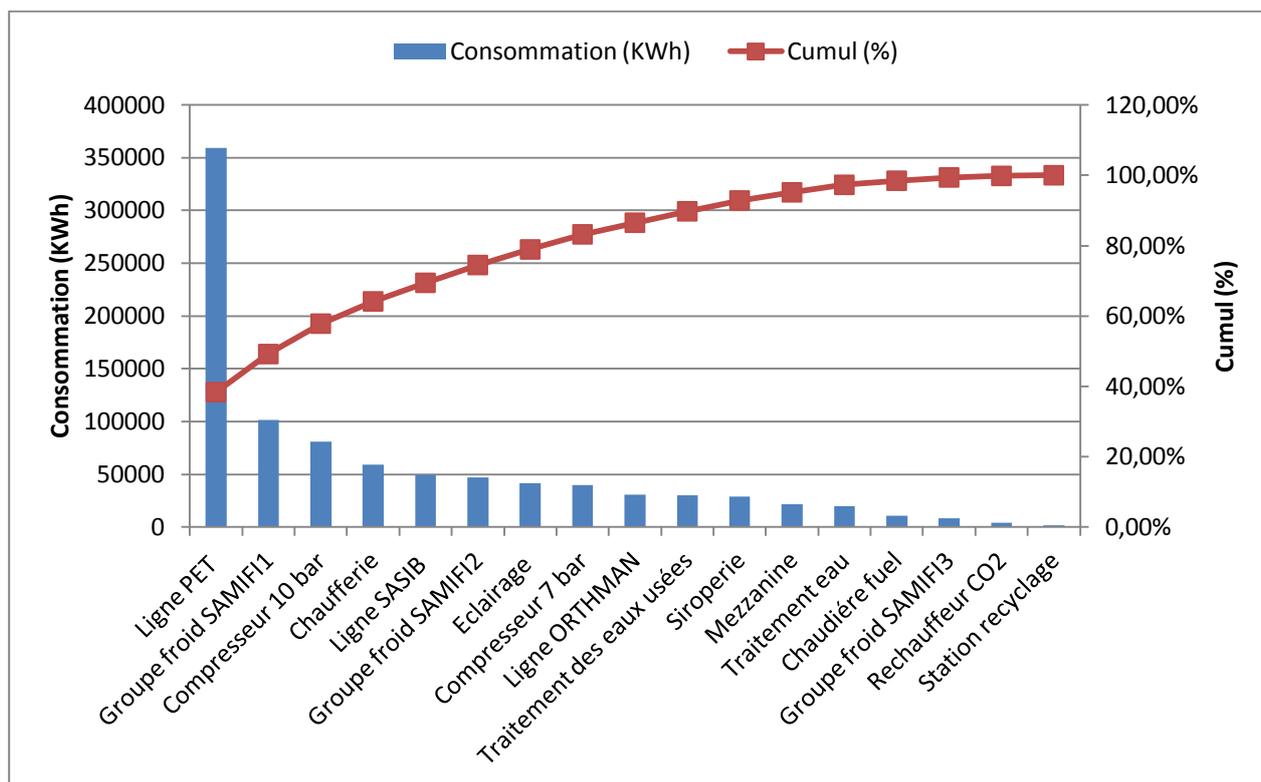
Le tableau suivant donne la contribution de chaque équipement à la consommation totale de l'énergie électrique de l'installation. En cumulant les pourcentages on classe les équipements en catégories ABC :

Section	Consommation (KWh)	Contribution (%)	Cumul (%)	Catégorie
Ligne PET	359 278,37	38,36%	38,36%	A
Groupe froid SAMIFI1	101 472,4	10,83%	49,19%	A
Compresseur 10 bar	80 952,16	8,64%	57,84%	A
Chaufferie	59 202,9	6,32%	64,16%	A

Ligne SASIB	49 438,57	5,28%	69,43%	A
Groupe froid SAMIFI2	47 392,7	5,06%	74,49%	A
Eclairage	41 490,78	4,43%	78,92%	A
Compresseur 7 bar	40 131,74	4,28%	83,21%	B
Ligne ORTHMAN	30 949,99	3,30%	86,51%	B
Traitement des eaux usées	30 446,22	3,25%	89,76%	B
Siroperie	28 730,3	3,07%	92,83%	B
Mezzanine	21 738,3	2,32%	95,15%	C
Traitement eau	19 912,53	2,13%	97,28%	C
Chaudière fuel	10 949,35	1,17%	98,45%	C
Groupe froid SAMIFI3	8 726,81	0,93%	99,38%	C
Réchauffeur CO2	4 048,6	0,43%	99,81%	C
Station recyclage	1 768,74	0,19%	100,00%	C
TOTAL	936 630,46	100,00%		

**Tableau III-4** : la méthode ABC appliqué aux consommations.

Le graphique suivant schématise les résultats de la méthode ABC. Il représente la consommation de chaque équipement et son impact sur la courbe du cumul.



**Figure III-15** : Le diagramme de Pareto de la consommation.

Pour avoir une idée claire sur la répartition de consommation par équipement on représente les résultats sous forme d'un diagramme à secteurs comme le montre la figure suivante :

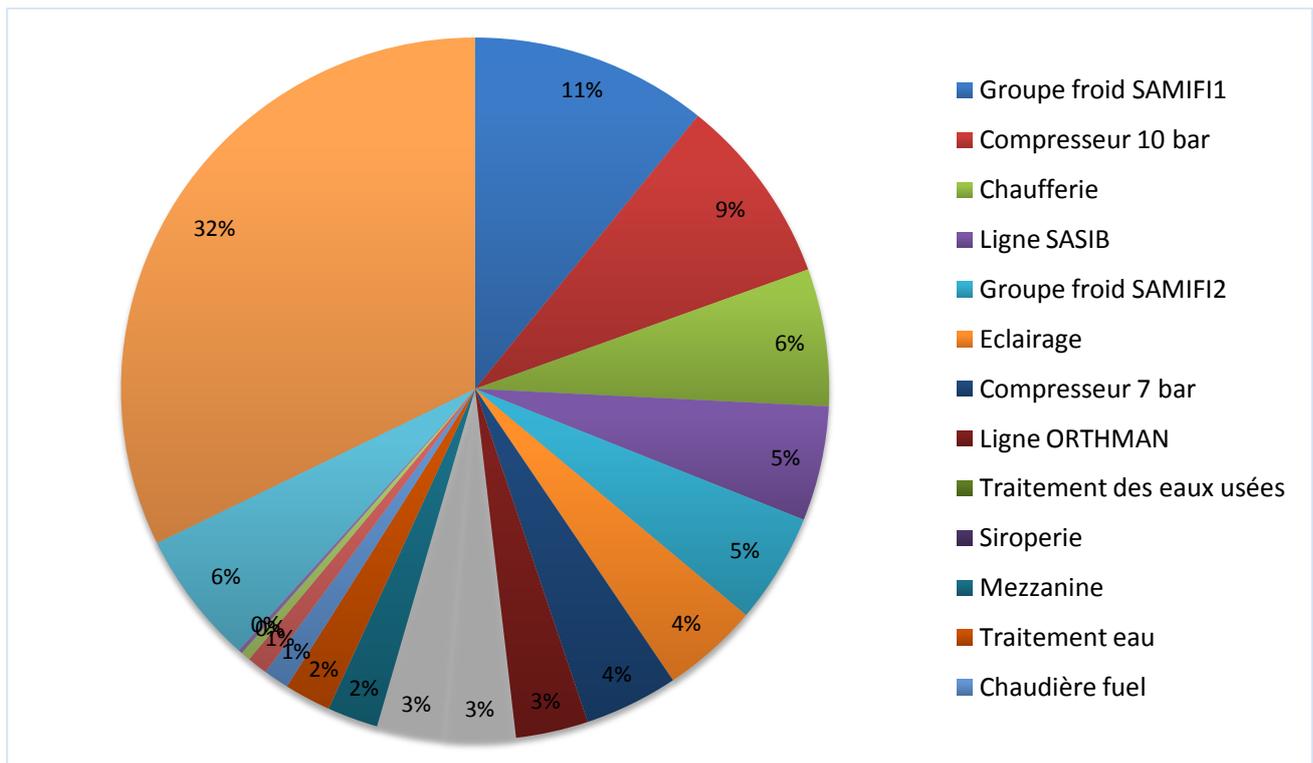


Figure III-16 : Répartition de la consommation par charges.

Les lignes de production occupent **52%** de la consommation total d'énergie électrique, notamment ligne PET avec une contribution de **38%**. Les compresseurs à air compte à eux sont responsables de **19%** de la consommation. Avec une part de **13%**, la production du froid s'impose comme facteur à influent sur l'efficacité énergétique du site en considérant que son impact risque bien d'être plus important dans la saison d'été à cause des conditions climatiques.

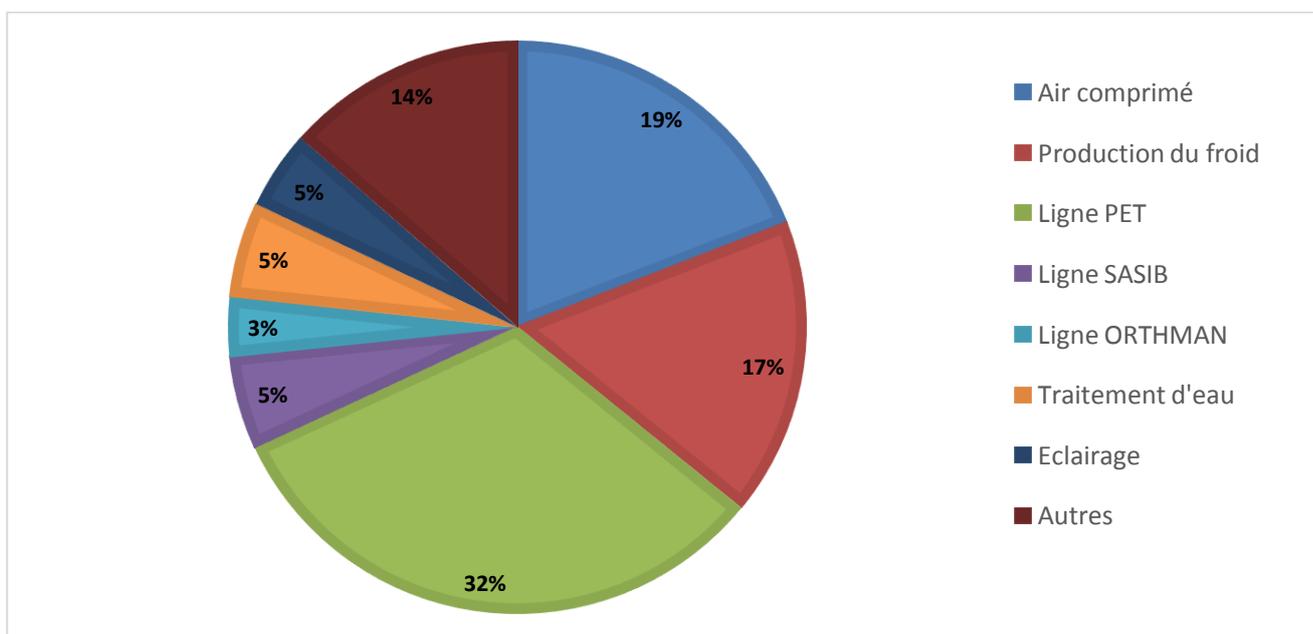


Figure III-17: Répartition de la consommation par type de charge.

### 4.3.2. La méthode ABC appliquée à la demande de puissance

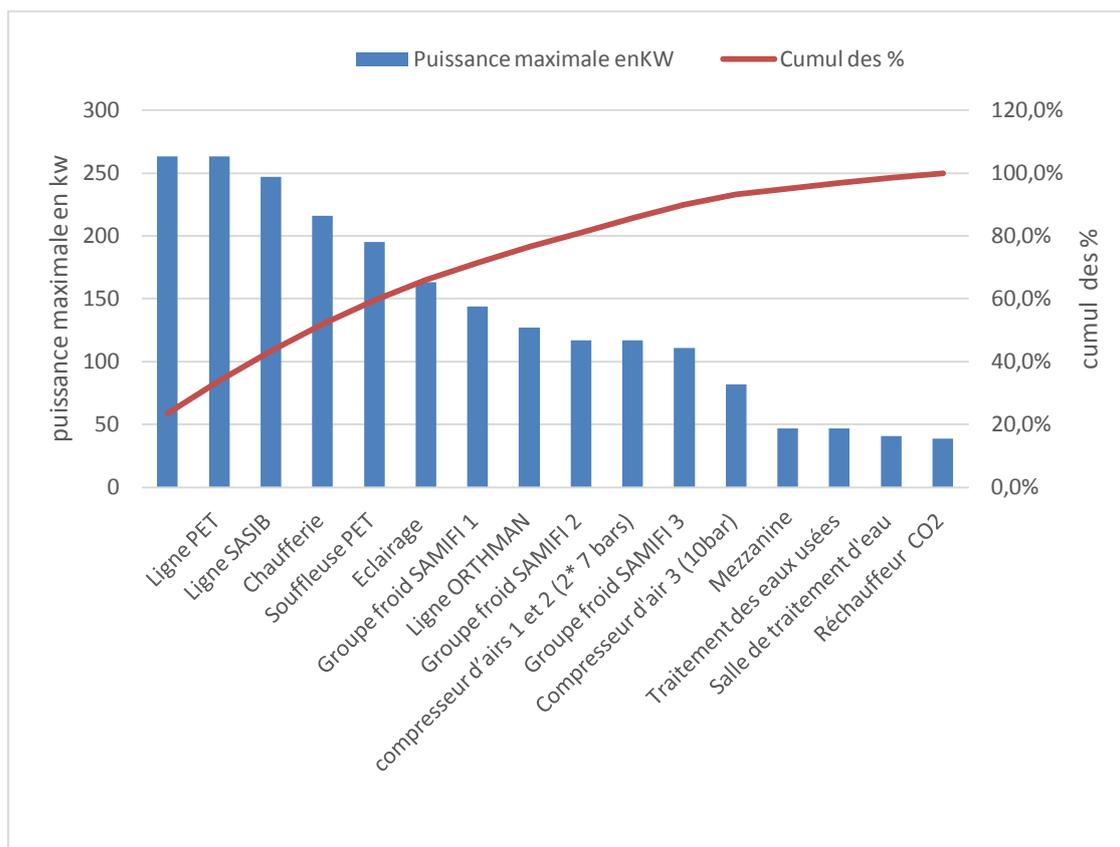
L'analyse de la consommation peut s'avérer insuffisante pour l'identification des énergivores. Une analyse de la demande s'impose afin de déterminer les équipements responsables sur la crête de la demande de puissance.

Sections	Puissance maximale en KW	Contribution en %	Cumul des %	Catégorie
<b>Compresseur d'air (42bar)</b>	338	13,2%	13,2%	A
<b>Ligne PET</b>	263	10,3%	23,5%	A
<b>Ligne SASIB</b>	263	10,3%	33,8%	A
<b>Chaufferie</b>	247	9,7%	43,4%	A
<b>Souffleuse PET</b>	216	8,4%	51,9%	A
<b>Eclairage</b>	195	7,6%	59,5%	A
<b>Groupe froid SAMIFI 1</b>	163	6,4%	65,9%	A
<b>Ligne ORTHMAN</b>	144	5,6%	71,5%	A
<b>Groupe froid SAMIFI 2</b>	127	5,0%	76,5%	A
<b>Compresseur d'airs 1 et 2 (2* 7 bars)</b>	117	4,6%	81,1%	A
<b>Groupe froid SAMIFI 3</b>	117	4,6%	85,6%	B
<b>Compresseur d'air 3 (10bar)</b>	111	4,3%	90,0%	B
<b>Mezzanine</b>	82	3,2%	93,2%	C
<b>Traitement des eaux usées</b>	47	1,8%	95,0%	C
<b>Salle de traitement d'eau</b>	47	1,8%	96,9%	C

<b>Réchauffeur CO2</b>	41	1,6%	98,5%	C
<b>Siroperie</b>	39	1,5%	100,0%	C
<b>TOTAL</b>	2557	100,0%		

**Tableau III-5** : La méthode ABC appliquée à la demande

Le diagramme de Pareto correspondant est le suivant :



**Figure III-18** : Diagramme de Pareto de la demande de puissance.

Le diagramme de secteur suivant met en évidence la répartition de la demande de puissance active par équipement :



## 5. Conclusion

En se basant sur l'méthode ABC, on a pu déterminer les équipements et les services responsables sur la majorité de la consommation d'énergie électrique ainsi que la demande de puissance au niveau de l'installation.

Les possibilités d'économie d'énergie par équipements sont directement proportionnelles aux besoins en énergie (consommation et demande de puissance) de ce dernier. Ce postulat tien ça raison du fait que plus la consommation d'énergie est importante plus les dommages collatéraux (les pertes d'énergie) le seront.

Ainsi, On va concentrer nos efforts d'amélioration d'efficacité énergétique sur les équipements qui ont été discriminé par l'analyse ABC comme énergivores.

La suite de cette étude met le trait sur l'amélioration de l'efficacité énergétique en proposant des solutions d'économies d'énergie pour les transformateurs de distribution et les utilités de production vu les possibilités d'économie qu'ils offrent en comparaison aux lignes de production.

## **CHAPITRE 4 :**

### **OPTIMISATION DES DIFFERENTS SYSTEMES ENERGETIQUES**

## IV. Amélioration de l'efficacité énergétique des transformateurs de distribution

### 1. Introduction

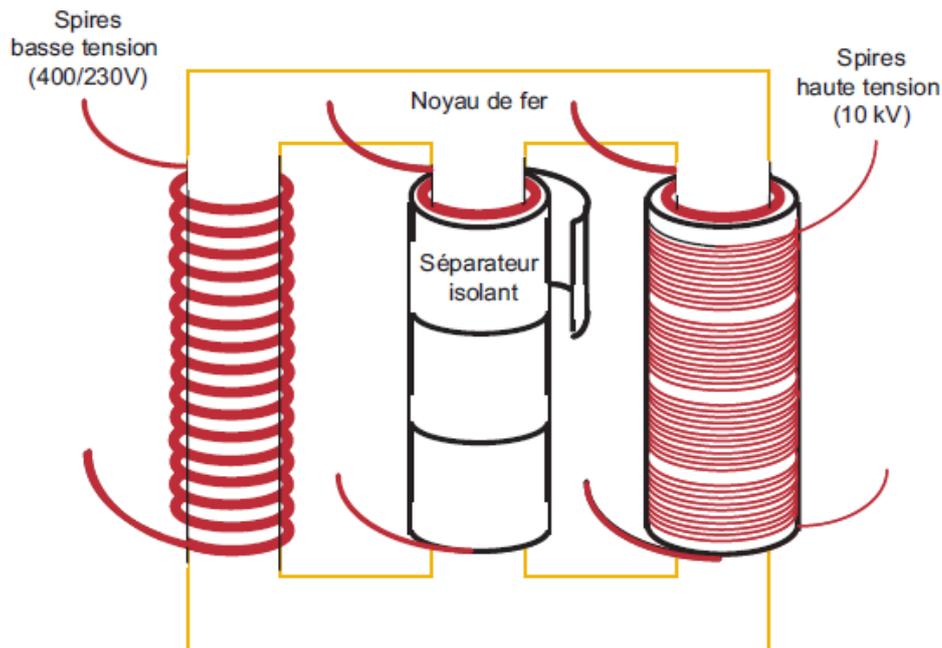
Les transformateurs de distribution (TD) constituent un élément essentiel du réseau électrique. Ils sont utilisés pour changer une tension, en général de 10 kV à 36 kV, en une autre tension préférentielle de 400 à 440V utilisable par le secteur résidentiel, le tertiaire et l'industrie.

Ce 4ème chapitre a pour objectif l'amélioration de l'efficacité énergétique des transformateurs de distribution de la CBGS. Il est impératif - avant de définir les solutions d'économies et d'amélioration - de définir le concept de l'efficacité énergétique pour les transformateurs en mettant en évidence certaines notions de bases et principes physique.

On entame ensuite l'analyse des actions d'amélioration par le dimensionnement des armoires de compensation de l'énergie réactive. On enchaîne ensuite par l'amélioration du rendement des transformateurs en agissant sur leurs facteur de charge. Les économies réalisées seront déterminées à chaque étape.

### 2. Principe de fonctionnement

Un transformateur de distribution comporte généralement un noyau de fer, auquel sont rattachées des tiges, chacune correspondant à l'une des trois phases de transformation.



**Figure IV-1** : Schéma de l'intérieur d'un transformateur de distribution.

Deux bobines sont enroulées autour de chaque tige : une bobine comporte plusieurs spires qui sont reliées au réseau à haute tension, l'autre bobine comporte moins de spires, reliées à la tension plus basse. Les deux spires sont séparées par un matériau isolant. La différence de potentiel dans l'une des bobines crée un champ magnétique dans le noyau de fer, et ce champ magnétique crée un courant électrique dans l'autre bobine. La différence de tension entre les deux bobines est déterminée par la différence du nombre des spires.

Dans l'industrie, il est assez fréquent de relever des niveaux élevés de pollution harmonique dans le réseau.

### 3. Problèmes observés et solutions techniques

Les transformateurs sont des appareils relativement efficaces par rapport à d'autres équipements électriques, ce qui ne signifie toutefois pas que les pertes occasionnées sont négligeables. Les transformateurs à haute efficacité permettent de diminuer ces pertes afin d'atteindre un optimum économique.

#### 3.1. Types de pertes

Un transformateur peut occasionner les types de pertes d'énergie suivants :

– **Perte à vide** (aussi appelée perte par le fer, ou perte par le noyau) : Provoquée par un courant magnétisant dans le noyau. Cette perte est toujours présente lorsque le transformateur est connecté, mais elle demeure indépendante de la charge. Il peut s'agir d'une perte d'énergie constante – et donc importante.

– **Perte en charge** (ou perte par le cuivre, perte par court circuit) : Provoquée par la perte en résistance dans les spires et les raccordements, ainsi que par les courants de Foucault dans la structure métallique et les spires. Elle varie en fonction du carré du courant de charge.

– **Perte due au refroidissement** (seulement pour les transformateurs refroidis par ventilateur) : Provoquée par la consommation d'énergie du ventilateur. Plus les autres types de pertes sont importants, plus le refroidissement est nécessaire, et plus la perte en refroidissement sera élevée.

– Pertes supplémentaires, produites par les harmoniques.

##### i. Pertes supplémentaires générées par les harmoniques

Les charges non linéaires du réseau, telles que les différentes vitesses des systèmes à moteur, les ordinateurs et les systèmes d'alimentation non interruptible (UPS), provoquent des harmoniques dans le réseau : il s'agit de petits courants, dont la fréquence est un multiple de la fréquence principale.

Les harmoniques ont deux impacts négatifs sur les transformateurs : d'une part, ils augmentent la perte en charge, d'autre part, ils augmentent la température des spires et de la structure métallique, réduisant la durée de vie du transformateur

Les répercussions concrètes des courants harmoniques dépendent en grande partie de leur fréquence, de la conception et de la charge du transformateur.

Les pertes provoquées par les harmoniques augmentent de façon plus que proportionnelle avec l'augmentation de la charge. Par conséquent, dans un transformateur très chargé, les harmoniques peuvent provoquer une perte tellement importante que la température devient trop élevée à certains endroits dans les spires. Cela peut nettement réduire la durée de vie d'un transformateur, et peut même causer des dommages immédiats.

## ii. Coût des pertes de charge

Les pertes de charge annuelles d'un transformateur sont exprimées en kWh, et peuvent être évaluées à l'aide de la formule suivante :

$$W_{\text{pertes}} = (P_0 + P_k \times L^2) \times 8760 \text{ h}$$

Où:

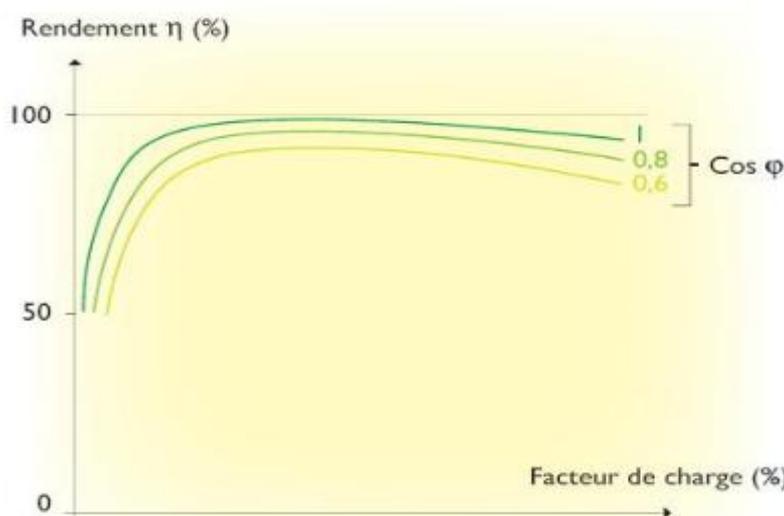
–  $P_0$  correspond à la perte à vide, exprimée en kW. Ce facteur est indiqué dans les spécifications techniques du transformateur, ou bien il peut être mesuré.

–  $P_k$  correspond à la perte par court-circuit (ou perte en charge), exprimée en kW. Ce facteur est indiqué dans les spécifications techniques du transformateur, ou bien il peut être mesuré.

–  $L$  correspond à la charge moyenne du transformateur, divisée par la charge maximale.

– 8760 correspond au nombre d'heures dans une année.

Pour une puissance active donnée, plus la puissance réactive sera importante et plus le transformateur sera chargé et s'échauffera (entraînant une diminution de sa durée de vie). Car c'est la valeur de la puissance apparente qui fixe la limite de puissance du transformateur. D'autre part, le rendement du transformateur varie avec le  $\cos \phi$ . Il est donc important de diminuer la puissance réactive consommée. La figure suivante met en évidence ce constat :



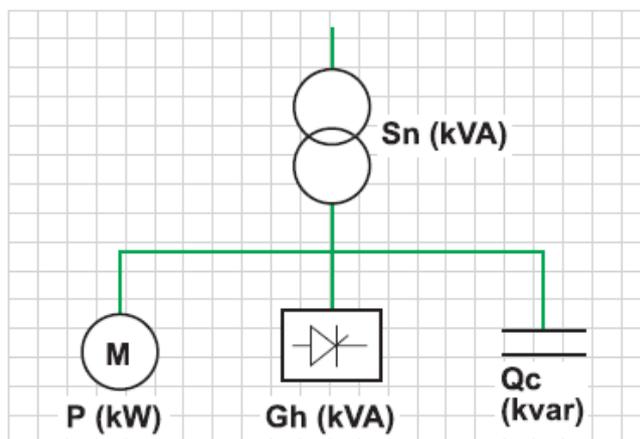
**Figure IV-2 :** Allure du rendement pour différents facteurs de charge et différents  $\cos \phi$ .

## iii. Les courants harmoniques :

Les courants harmoniques sont des courants dont la fréquence est un multiple de la fréquence principale, provoqués par les charges non linéaires du réseau. Ils ont des répercussions potentiellement dommageables pour les transformateurs : non seulement ils augmentent les pertes en charge de façon plus que proportionnelle à l'augmentation de la

charge mais aussi la température des enroulements et de la structure métallique du transformateur, réduisant ainsi la durée de vie du transformateur. Les pertes générées par les courants de Foucault dépendent du carré de la fréquence, aussi la présence d'harmoniques multiples de la fréquence fondamentale de 50 Hz provoque des pertes supplémentaires dans les enroulements et les parties structurelles métalliques.

Ainsi les courants harmoniques génèrent une puissance apparente relative **Gh** comme schématisée ci-dessous :



**Figure IV-3** : puissance apparente relative Gh générée par les courants harmoniques.

Avec

**Sn** : la puissance apparente totale en **kVA**

**P** : la puissance active en **kW**

**Q**: la puissance réactive en **kVAR**

**Gh** : la puissance apparente générée Par les harmoniques en **kVA**

### 3.2. Le rendement

La norme NF EN 50464-18 indique que le rendement d'un transformateur de puissance est donné, pour toute condition de charge, par le rapport entre la puissance de sortie (P2) et la puissance d'entrée (P1).

$$\text{rendement} = P_2 / P_1$$

En raison de la difficulté à déterminer le rendement par des mesures directes, il peut être évalué conventionnellement par les pertes garanties ou mesurées, comme suit :

$$\text{rendement} = 100 \left( \frac{\alpha^2 P_{cc} + P_0}{\alpha S + \alpha^2 P_{cc} + P_0} \right)$$

Avec

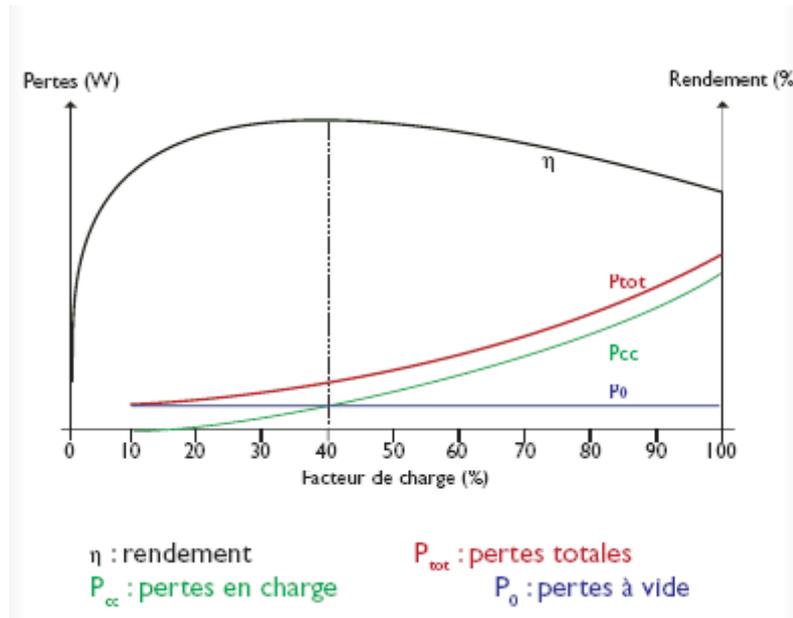
**Pcc** : Pertes dues a la charge au courant assigné et a la température de référence.

**P0** : Pertes a vide a la tension et a la fréquence assignées

**S**= Puissance assignée

**α** : Facteur de charge

Ainsi, sur la figure suivante on a un rendement maximal pour un taux de charge de 40%. Il existe toujours un maximum pour la courbe d'un transformateur qui est généralement entre **40 et 60 %**.



**Figure IV-4** : Rendement d'un transformateur en fonction du facteur de charge

#### 4. Amélioration du facteur de puissance

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

Compenser l'énergie réactive d'une installation électrique, c'est doter cette dernière des moyens, de produire elle-même une part plus ou moins importante de l'énergie réactive qu'elle consomme. Les avantages qui en résultent se traduisent par :

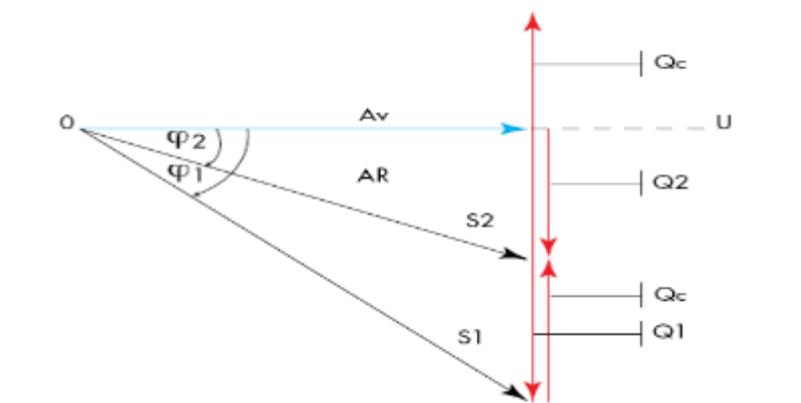
- ✓ Une augmentation de la puissance disponible au niveau de la centrale électrique.
- ✓ Une diminution des chutes de tension et des pertes joule dans les câbles.
- ✓ Une économie sur les équipements électriques des extensions futures et soulagement de ceux existants, par une diminution de la puissance appelée.

Chaque compensation en amont des extrémités du réseau BT laisse l'énergie réactive traverser ce dernier, ce qui ne va pas influencer sur les pertes, les chutes de tension et les surfacturations sur le  $\cos(\phi)$  sachant que notre objectif principal c'est de les réduire. Ainsi, il est conseillé de compenser l'énergie réactive au niveau des extrémités les plus éloignées de réseau BT.

Le choix d'un équipement de compensation s'effectue en fonction de la puissance réactive à installer, du mode de compensation et du type d'équipement nécessaire.

##### 4.1.1. Puissance réactive à installer :

La puissance de l'équipement (kvar) à installer se calcule à partir de la puissance active et du facteur de puissance.



**Figure IV-5** : Diagramme des puissances

Avec  $P$  la puissance active,  $S1$  et  $S2$  puissances apparentes (avant et après compensation), sont successivement la puissance réactive avant compensation, après compensation et à installer.

Le calcul de à partir du diagramme des puissances :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Ainsi :

$$Q_c = P(\operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_2)$$

#### 4.1.2. Mode de compensation :

Le critère  $Q_c / S_n$  nous permet de choisir entre un équipement fixe ou automatique. Le seuil 15% est une valeur indicative conseillée pour éviter les effets de la surcompensation à vide.

##### i. Les batteries de condensateurs de type fixe :

Ce type de matériel est à utiliser si la puissance de la batterie ne dépasse pas 15% de la puissance apparente  $S$  (kVA). La mise en œuvre de ces batteries peut être comme suit :

- Manuelle: commande par disjoncteur ou par interrupteur.
- Semi-automatique: commande par contacteur.
- Directe: asservie aux bornes des récepteurs.

##### ii. Les équipements à régulation automatique intégrée :

Ils permettent d'adapter automatiquement la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs, au moyen d'un relais var-métrique qui détecte le  $\cos \phi$  de l'installation, et qui commande automatiquement par la suite l'enclenchement de gradins de condensateurs en fonction de la charge et en fonction de  $\cos \phi$  désiré. Ce type d'équipements est conseillé lorsque la puissance réactive fournie par les condensateurs est supérieure à 15% de la puissance apparente  $S$ .

**4.1.3. Type d'équipement de compensation :**

Le rapport  $G_h / S_n$  nous permet de déterminer le type d'équipement approprié :

Rapport $G_h / S_n$	Type d'équipement recommandé
$G_h / S_n = 15 \%$	Les équipements de type standard conviennent, version « Classic »
$15 \% < G_h / S_n = 25 \%$	Les équipements de type H sont conçus pour supporter les contraintes liées aux harmoniques, version « Comfort »
$25 \% < G_h / S_n = 50 \%$	Les équipements de type SAH comportent des condensateurs associés à des selfs antiharmoniques, version « Harmony »
$G_h / S_n = 50 \%$	Installation des filtres est recommandée

**Tableau IV-1 :** Choix du type d'équipement de compensation

**4.1.4. Algorithme du choix d'une solution compensation :**

Le diagramme suivant récapitule l'algorithme du choix des modes et des types d'équipement de compensation :

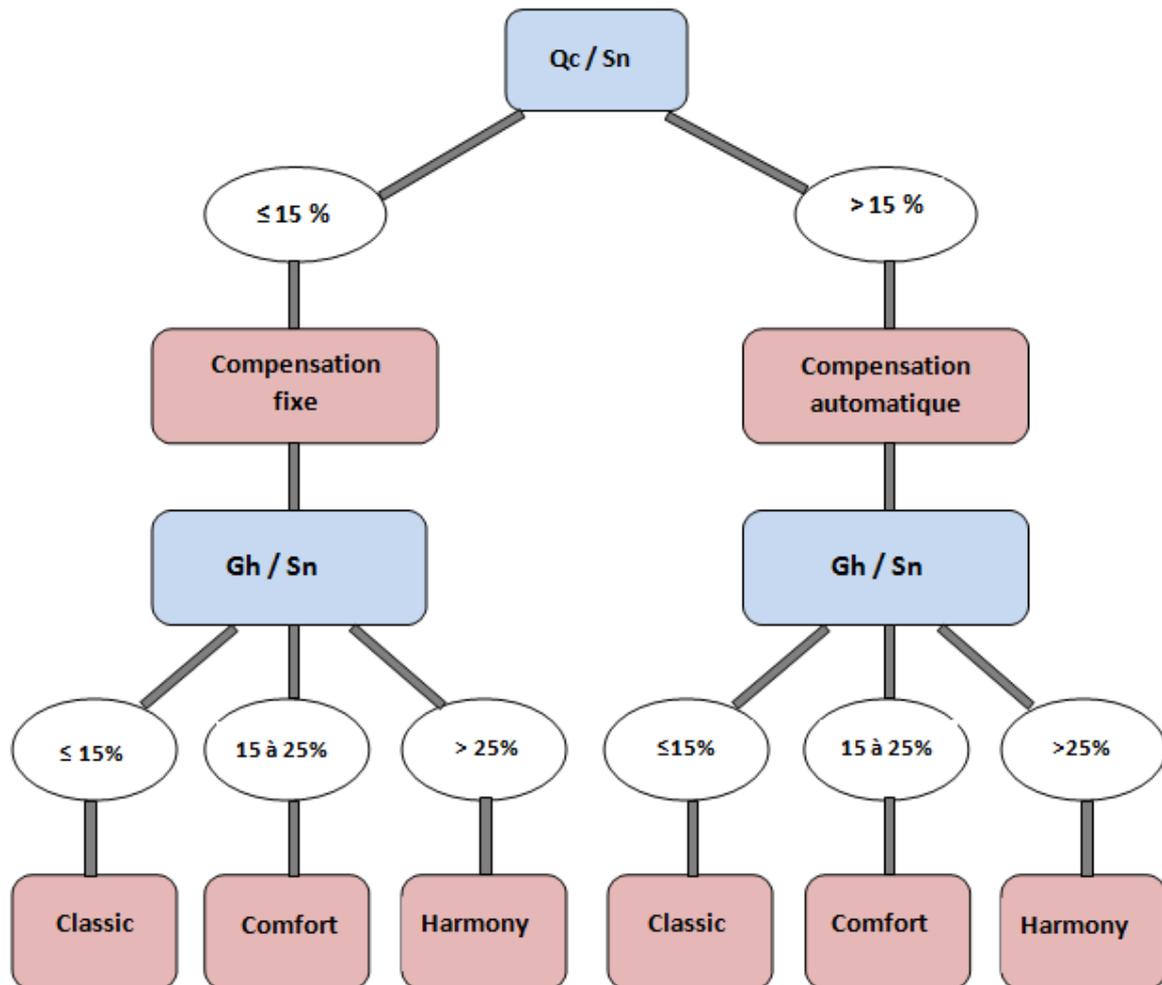


Figure IV-5 : Algorithme du choix du mode et du type de compensation

## 4.2. Diagnostic des batteries de compensation du Transformateur 2

### 4.2.1. Déroulement du diagnostic :

Le suivi de l'évolution du facteur de puissance effectué lors de l'analyse de la facture (chapitre 2) a montré une dégradation rapide de ce dernier. Cette dégradation suggère une défaillance des batteries de compensation. D'où la nécessité de réaliser un diagnostic des batteries en question.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des batteries existantes :

	Fournisseur	Référence	Q (kVAR)
Batterie n°1	Schneider Electric	réf 65832	250
Batterie n°2	Schneider Electric	réf 65832	250
Batterie n°3	Schneider Electric	réf 65832	250

Tableau IV-2 : Les batteries de compensation des Transformateurs du poste 1

## 4.3. Dimensionnement des batteries de compensation

#### 4.3.1. Etapes et outils de dimensionnement :

La chute libre du facteur de puissance a continué pour atteindre une valeur de 0.84 enregistré en mois de Février 2015. Le redimensionnement aura pour but de porter le FP à 0.98 en respectant les étapes suivantes :

**1ère étape : Calcul de la puissance réactive nécessaire  $Q_c$**

**2ème étape : choix de mode de compensation**

**3ème étape : choix de type d'équipement de compensation d'énergie réactive.**

Le Logiciel VARSET Pro de Schneider permet le dimensionnement et le choix de la batterie de compensation adéquat à un circuit donné. On l'utilisera pour dimensionner les batteries pour les trois transformateurs du poste 1.

**Remarque importante:** En prenant compte du nombre important de variateurs de vitesse et vu que les compensations défectueuses comportaient des condensateurs associés à des selfs anti harmoniques, on a estimera la valeur de la puissance réactive générée par les harmoniques à une valeur de : **Gh=240KVAR.**

#### 4.3.2. Résultats du dimensionnement des batteries de compensation :

Suite au suivi des puissances et facteurs de puissances mesurées pour les circuits secondaires des différents transformateurs. On a pu déterminer les paramètres qui serviront d'input pour le logiciel, On présente ci-dessous les résultats du dimensionnement :

##### **Batterie de compensation n°1 (transformateur n°1) :**

Puissance active moyenne de l'installation (P) en kW	<b>279</b>
• Cosinus Phi1 initial avant compensation	<b>0.82</b>
• Tangente Phi1 avant compensation	<b>0.69</b>
• Cosinus Phi2 après compensation	<b>0.98</b>
• Tangente Phi2 après compensation	<b>0.20</b>

Figure IV-6 : Résultat du dimensionnement des batteries de compensation sur le logiciel Varssetpro.

#### Résultats de calcul :

<b>Puissance réactive nécessaire</b>	<b>139 kVAR</b>
<b>Puissance batterie trouvée</b>	<b>137,5 kVAR</b>
<b>Réseau</b>	<b>Faiblement Pollué</b>
<b>Type de compensation</b>	<b>Automatique</b>
<b>Type de batterie</b>	<b>COMFORT</b>

Tableau IV-3 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°1.

#### Batterie de compensation n°2 (transformateur n°2) :

Puissance active moyenne de l'installation (P) en kW	<b>109</b>
• Cosinus Phi1 initial avant compensation	<b>0.84</b>
• Tangente Phi1 avant compensation	<b>0.64</b>
• Cosinus Phi2 après compensation	<b>0.98</b>
• Tangente Phi2 après compensation	<b>0.20</b>
• <b>Résultats de calcul :</b>	

<b>Puissance réactive nécessaire</b>	<b>49 kVAR</b>
<b>Puissance batterie trouvée</b>	<b>60 kVAR</b>
<b>Réseau</b>	<b>Faiblement Pollué</b>
<b>Type de compensation</b>	<b>Automatique</b>
<b>Type de batterie</b>	<b>COMFORT</b>

Tableau IV-4 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°2

**Batterie de compensation n°3 (transformateur n°3) :**

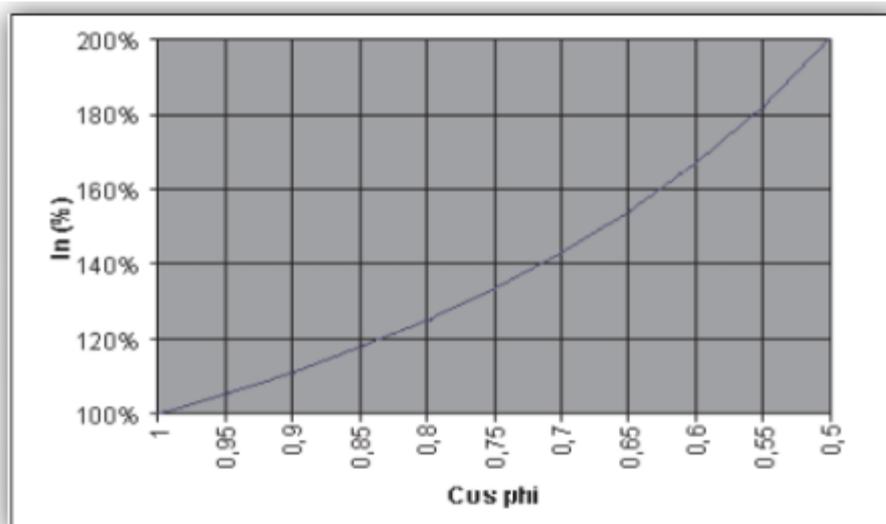
Puissance active moyenne de l'installation (P) en kW	<b>226</b>
• Cosinus Phi1 initial avant compensation	<b>0.87</b>
• Tangente Phi1 avant compensation	<b>0.56</b>
• Cosinus Phi2 après compensation	<b>0.98</b>
• Tangente Phi2 après compensation	<b>0.20</b>

<b>Puissance réactive nécessaire</b>	<b>83 kVAR</b>
<b>Puissance batterie trouvée</b>	<b>90 kVAR</b>
<b>Réseau</b>	<b>Faiblement Pollué</b>
<b>Type de compensation</b>	<b>Automatique</b>
<b>Type de batterie</b>	<b>COMFORT</b>

Tableau IV-5 : Dimensionnement de la batterie de compensation n°3

**4.4. Calcul des économies engendrées par la compensation**

Pour une même puissance, il faut transporter dans tous les circuits électriques une intensité d'autant plus grande que le cos phi est mauvais. Cela entraîne une surcharge des câbles, des générateurs, des appareillages de commutation et des transformateurs de distribution ainsi qu'une augmentation des pertes (fonction du carré du courant) dans ceux-ci.



**Figure IV-7 :** Evolution du courant par rapport au courant nominal en fonction du cos phi

Après compensation (par le placement de condensateurs) la puissance réactive prélevée sur le réseau est plus faible. Une partie de la puissance réactive fait la navette entre les condensateurs et la charge et ne constitue donc plus une charge pour le réseau. Le tableau suivant met en évidence les économies pour chaque transformateur :

<b>Transformateurs</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ancien facteur de puissance</b>	0,82	0,84	0,87
<b>Nouveau Facteur de puissance</b>	0,98	0,98	0,98
<b>Courant moyen en A</b>	461,00	194	378
<b>Courant de charge avant compensation en A</b>	562,42	230,86	434,76
<b>Courant de charge après compensation en A</b>	479,44	203,70	394,90
<b>Gain de puissances en kW</b>	<b>34</b>	<b>22,71</b>	<b>30,64</b>
<b>Gain annuel en KWh</b>	<b>293 760</b>	<b>196 214,4</b>	<b>264 802</b>
<b>Gain annuel en DH</b>	<b>220 320</b>	<b>147 160,8</b>	<b>198 601,5</b>

**Tableau IV-6 :** Economies d'énergie générées par la compensation

Le total des économies annuelles générées par la compensation de l'énergie réactive est de **566 082 DH/an**.

## 5. Amélioration du rendement du transformateur

### 5.1. Introduction

Le facteur de charge caractérise le niveau de la puissance apparente appelée au niveau du circuit secondaire du transformateur par rapport à sa puissance assignée (à ne pas confondre avec le taux charge, défini en analyse de la facture, qui est le rapport entre la consommation réelle d'une charge et la consommation relative à la demande maximale).

Afin de déterminer les facteurs de charge des différents transformateur de l'installation, un suivi de la puissance apparente est nécessaire.

### 5.2. Etat de facteurs de charges des transformateurs

En se basant sur les données du suivi des puissances effectué entre le 15/03 et le 15/04/2016. On dresse le tableau suivant :

Section	Transformateur 1	Transformateur 2	Transformateur 3	Transformateur 4	Total
<b>Puissance assignée en KVA</b>	1000	1000	1000	800	3800
<b>Puissance maximale en KVA</b>	657	207	532	485	1730
<b>Puissance moyenne en KVA</b>	319	134	262	324	993
<b>Facteur de charge maximal</b>	65,70%	20,70 %	53,20%	48,5%	45,53%
<b>Facteur de charge moyen</b>	31,9%	13,4%	26,2%	32,4%	26,13%

**Tableau IV-7** : Facteurs de charges des transformateurs du site

Les valeurs maximales des facteurs de charge des transformateurs 1 et 4 sont bien dans l'intervalle 30-70% qui correspond au rendement optimal du transformateur. Néanmoins, le transformateur 2 affiche une valeur très faible du facteur de charge de **13,4%** qu'on se doit d'améliorer. Le transformateur 3 a enregistré un facteur de charge moyen de **26,2%** qui reste aussi insuffisant.

### 5.3. Amélioration des facteurs de charges des transformateurs.

#### 5.3.1. Estimation de la contribution des départs :

Un transformateur sous-chargé consomme des pertes à vide inutiles. Un transformateur près de sa charge nominale consomme des pertes en charge élevées. Le maximum de rendement d'un transformateur se situe généralement entre **40 et 60 %** de sa charge nominale mais dépend d'autres paramètres (charge,  $\cos \phi$ , température ambiante...).

Afin de maximiser le rendement des transformateurs, on procédera à une redistribution des charges entre les transformateurs dans la perspective de porter leurs facteurs de charge dans l'intervalle du rendement optimal.

Pour ce faire, il va falloir quantifier d'abord la contribution de chaque départ au pique de la puissance appelé au niveau des transformateurs pour pouvoir évaluer les facteurs de charge avant et après la redistribution des départs . On partant du principe que la contribution en pourcentage de chaque départ est invariable, on calculera les contributions en KVA de chaque charge ce qui nous permettra de déterminer la distribution adéquate qui optimise les facteurs de charges.

Les transformateurs 1 2 et 3 ayant une même puissance assignée de 1000KVA, l'échange des départs entre eux peut se faire en gardant les mêmes valeurs de la contribution de puissance calculée dans le tableau ci-dessus. Le transformateur 4 présente un facteur de charge dans l'intervalle souhaité 40- 60%.

Donc, et pour éviter les contraintes logistiques dues au fait que le transformateur en question est placé dans un poste séparé des trois autres, on se contentera de redistribuer les départs des transformateurs 1,2 et 3 du poste principale.

#### 5.3.2. Redistribution des départs :

La redistribution des charges sur les transformateurs a pour but de porter leurs facteurs de charge dans l'intervalle **40-60%** de rendement maximal. Si on en croit les factures, la puissance maximale appelée par le site ne dépasse jamais 2000 KVA. Avec une puissance installée de 3800 KVA ceci plafonne le facteur de charge global à **53 %**. Ainsi, pour améliorer le FC on a opté pour les mesures suivantes :

- **Déplacer le départ des groupes froid SAMIFI 1 et 2 vers transformateur 3**
- **Déplacer le départ de la STEP vers le transformateur 1**
- **Débrancher le transformateur deux (non chargé à ce point) du réseau.**
- 

Cette manipulation réduira la puissance installé à 2800 KVA et on aura un plafond de FC de **71%** ce qui veut dire que la plupart du temps, les transformateurs fonctionneront dans leur intervalle de FC optimal.

Les valeurs de la contribution calculée dans le tableau précédent nous permettrons de simuler les nouvelles valeurs des facteurs de charge sans devoir effectuer les interventions et mesurer les puissances apparentes surtout que les 3 transformateurs ont la même puissance assignée de 1000 KVA Les tableaux suivant donnent les résultats de la redistribution :

**Facteur de charge maximal :**

Transformateur	Départ	Contribution Maximale en KVA
1	ORTH 220	67,24
	ORTH 380	38,30
	Mezzanine	60,64
	Siroperie	47,19
	chaufferie DG	177,74
	la ligne SASIB	94,37
	Compress. 2*7bars	128,19
	Réchauffeur CO2	43,33
3	STEP	45,17
	Samifi 1	187,98
	Samifi 2	19,02
	Compress. 42bars	226,30
	Compress. 10 bars	94,93
4	Samifi 3	165,61
	PET	253,47
	Souffleuse éclairage	150,92
	80,61	

Transformateur	Puissance maximale du transformateur en KVA	Facteur de charge Maximal après redistribution
1	702,17	70,22%
3	693,83	69,38%
4	485,00	60,63%

**Tableau IV-8** : Facteurs de charge maximaux après redistribution.

**Facteur de charge moyen :**

		Contribution en
--	--	-----------------

Transformateur	Départ	puissance en KVA
1	ORTH 220	51,66
	ORTH 380	25,51
	Compress. 2*7bars	103,63
	Mezzanine	15,51
	Réchauffeur CO2	10,40
	Siroperie	20,40
	chaufferie DG	74,82
	Fin ligne SASIB	22,60
3	STEP	35,59
	Samifi 1	125,96
	Samifi 2	8,03
	Compress. 42bars	132,79
	Compress. 10 bars	13,27
4	Samifi 3	80,36
	PET	180,92
	Souffleuse	89,51
	éclairage	53,58

Transformateur	Puissance moyenne transformateur	Facteur de charge moyen
1	360,11	36,01%
3	360,42	36,04%
4	324,00	40,50%

**Tableau IV-9** : Facteurs de charges moyens après redistribution.

La redistribution a permis d'augmenter le FC maximal à 70% pour le transformateur 1 et 69% pour le transformateur 3. Avec un FC moyen de 36 %, les transformateurs 1 et 3 fonctionneront à présent avec un meilleur rendement. Cette solution aboutira à une économie au niveau de la demande de puissance qu'on essayera de quantifier dans la partie suivante.

### 5.3.3. Evaluation d'économie réalisée suite à la redistribution :

L'amélioration du rendement aura un effet positif sur les pertes au niveau des transformateurs. La norme NF EN 50464-1 donne les pertes à vide et due à la charge un transformateur de puissance donnée.

		Puissance 1000 kVA			
		Pertes selon NF EN 50464-1			
Niveau de pertes		D <sub>0</sub> Dk	C <sub>0</sub> Ck	B <sub>0</sub> Bk	A <sub>0</sub> Ak
Pertes à vide (W)		1400	1100	940	770
Pertes dues à la charge (W)		13000	10500	9000	7600
Charge	85 %	98,61	98,88	99,04	99,19
	65 %	98,84	99,06	99,20	99,32
	50 %	98,98	99,18	99,30	99,41
	30 %	99,06	99,25	99,36	99,46

**Tableau IV-10** : les pertes pour un transformateur 1000 KVA selon NF EN 50464-1

La norme NF EN 50541-1, relative aux transformateurs de types secs d'une puissance comprise entre 100 et 3150 kVA, distingue deux niveaux de pertes dues à la charge (Ak, Bk) et trois niveaux de pertes à vide (A0, B0, C0).

Les pertes Ak (respectivement A0) sont plus faibles que les pertes Bk (respectivement C0). Pour une même utilisation, un transformateur A0-Ak est plus efficace qu'un transformateur C0-Bk qui présente les plus grandes pertes.

Transformateur	1	2	3	4
<b>Ancien FC moyen</b>	31.9%	13.4%	26.2%	32.4%
<b>Nouveau FC moyen</b>	36.01%	0%	36.04%	40.50%
<b>Pertes à vide en W</b>	1400	1400	1400	1100
<b>Pertes dues à la charge en W</b>	13000	13000	13000	10500
<b>Pertes totales en W</b>	14400	14400	14400	11600
<b>Ancien rendement</b>	<b>89,51%</b>	<b>92,41%</b>	<b>85,03%</b>	<b>89,51%</b>
<b>Nouveau rendement</b>	<b>89,54%</b>	<b>0,00%</b>	<b>89,55%</b>	<b>89,71%</b>

**Tableau IV-11** : l'amélioration du rendement généré par l'amélioration du FC.

En considérant un tarif de la puissance **27.88 DH/KVA** et un coût moyen de l'énergie de **0.75 DH/KWh**, on peut évaluer les économies annuelles pour la demande et la consommation. D'une autre part, maintenant que le transformateur 2 est libre de toutes charges, on a plus besoin d'une armoire de compensation pour le transformateur en question se qui représente une économie de plus.

## 6. Conclusion

Le 4<sup>ème</sup> chapitre avait pour objectif l'amélioration de l'efficacité énergétique des transformateurs de distribution qui assure l'abaissement de la tension de 20 kV du réseau de livraison en une tension de 400 V pour le réseau de l'installation.

Après une présentation des principes physique et techniques de base, nous avons entamé l'étude d'amélioration qui s'est faite sur deux axes principaux :

D'abord, et suite à l'observation d'une dégradation du facteur de puissance globale de l'usine, un diagnostic des batteries de compensation s'imposé. Cette vérification a montré une défaillance au niveau des batteries des transformateurs et devaient être remplacées. Ainsi, nous avons procédé au dimensionnement des nouvelles batteries de compensation en se basant sur le suivi des mesures des compteurs de puissances et du cos phi en visant de poster le facteur de puissance à **0.98**.

Ensuite, nous avons attaqué l'amélioration des rendements des transformateurs en agissant sur leur facteur de charges. Les mesures de puissance apparente moyenne et maximale ont permis la détermination des FC actuels des transformateurs et de détecter les anomalies notamment pour le transformateur n°2. Nous avons procédé alors à une redistribution des charges, de sorte à améliorer le rendement, et nous avons calculé les économies engendrées par cette action.

## **CHAPITRE 5 :**

### **AMELIORATION DE L'EFFICACITE ÉNERGETIQUE DES UTILITES DE PRODUCTION**

## V. Amélioration de l'efficacité Énergétique des utilités de production

### 1. Introduction

Ce dernier chapitre présente les résultats de l'étude d'amélioration des utilités de production. On l'entame une description et le diagnostic énergétique des groupes du froid industriel en proposant des solutions d'économies et en quantifiant les gains par des simulations logicielles. Finalement, on présente les systèmes d'air comprimé de l'installation et on propose des actions d'amélioration de leur efficacité énergétique.

### 2. Description des groupes froids SAMIFI 1 de la CBGS

Le service de la production du froid présente un axe principal pour la continuité de la production des boissons, ce qui nous mène à viser le meilleur rendement des composants de différentes installations, soit par rapport à l'eau glycolée, le stockage du CO<sub>2</sub> ou bien la production de l'air comprimé.

L'installation SAMIFI 1, est une installation réfrigérative destinée au refroidissement de l'eau glycolée à partir du fluide réfrigérant (**Ammoniac /NH<sub>3</sub>**). Elle se compose de deux compresseurs, un échangeur à plaques, un condenseur, un détendeur, une bouteille séparatrice et un séparateur d'huile.

Le circuit de refroidissement est décrit dans la figure ci-dessous :

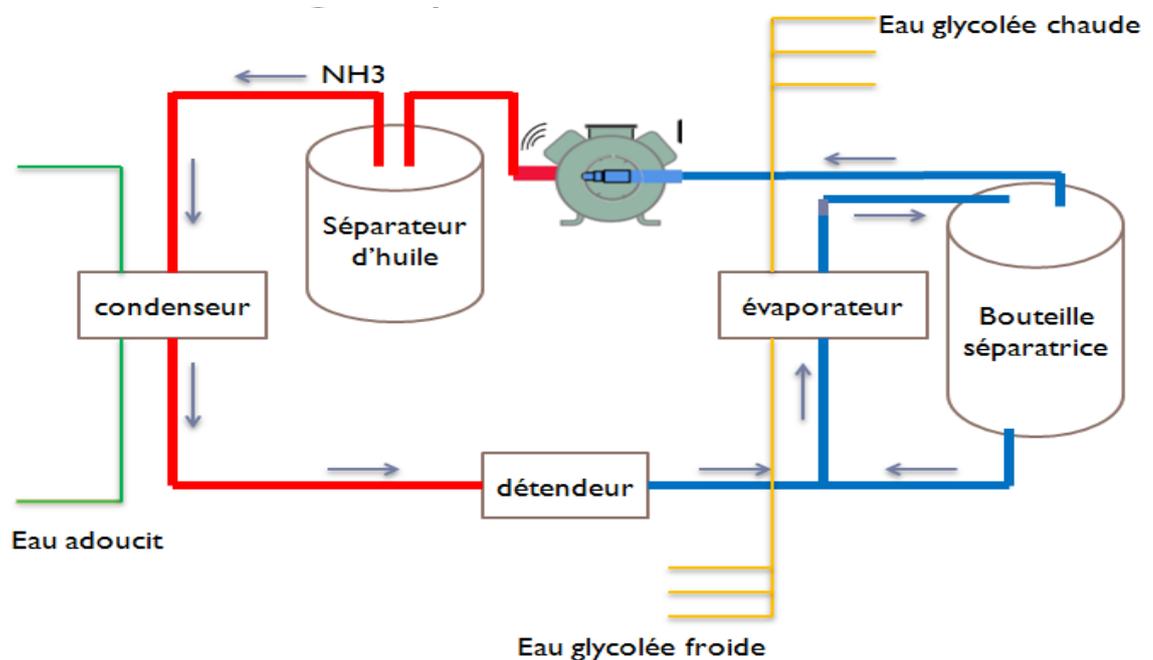


Figure V-1 : circuit de refroidissement

Le circuit de refroidissement dispose de 4 éléments, tels qu'ils apparaissent à la figure suivante :

- Un évaporateur, à basse pression, où le réfrigérant capte de la chaleur à la zone froide pour se vaporiser ;
- Un compresseur qui amène la vapeur de réfrigérant à haute pression et provoque son échauffement ;
- Un condenseur, à haute pression, dans lequel le réfrigérant entre à une température plus élevée que l'ambiance et cède de la chaleur à l'ambiance en se condensant ;
- Un détendeur

L'eau glycolée revient des différents services de production, chaude. Pour la refroidir, on utilise l'ammoniac qui circule dans un circuit contenant un échangeur pour évaporation de l'ammoniac à partir de la chaleur de l'eau glycolée, un compresseur qui comprime le gaz sortant de l'échangeur. ce dernier passe par un filtre séparateur pour éliminer l'huile provenant du compresseur. Le condenseur, utilisant l'eau adoucit, refroidit le gaz NH<sub>3</sub> et le rend en phase liquide, l'ammoniac passe ensuite par le détendeur pour diminuer la pression et revient, froid, en ajoutant le volume liquide de la bouteille séparatrice, à l'échangeur pour recommencer le circuit. L'eau glycolée se diffuse dans les différents services.

Les paramètres thermodynamique du groupe froid SAMIFI1 relevés le 20/05 :

Paramètres	valeurs
Pression d'aspiration en bar	3.4
Température d'évaporation en C°	-7
Pression de refoulement en bar	12
Température de condensation en C°	32
Température de l'eau glycolée froid en C°	3.3

**Tableau V-2** : Paramètres thermodynamique du groupe froid SAMIFI 1.

### 3. Amélioration de l'efficacité énergétique du groupe froid SAMIFI1

L'amélioration de l'efficacité énergétique de l'installation du froid de la CBGS comprend deux axes principaux :

**Optimisation du cycle frigorifique** : en adoptant une approche thermodynamique, on essaiera d'améliorer les rendements thermiques des différents composants du cycle de sorte à réduire leurs besoins en énergie électrique notamment les compresseurs.

**Optimisation de la consommation d'énergie électrique** : en jouant sur la façon dont l'électricité est consommée par les équipements (compresseurs, pompes, ventilateurs..) avec des solutions de régulation et d'asservissement.

#### 3.1. Optimisation du cycle frigorifique de SAMIFI 1 :

Pour atteindre l'efficacité énergétique on doit agir sur le rapport de températures COP suivant :

$$\frac{\text{Tévaporateur}}{\text{Tcondenseur - Tévaporateur}}$$

Où T représente la température des éléments exprimée en Kelvins.

Avec ce ratio, on peut déjà effectuer plusieurs constats :

- L'efficacité sera d'autant meilleure que la température de l'évaporateur sera élevée. Il est donc inutile et coûteux de refroidir plus que de raison.

- l'efficacité sera également d'autant meilleure que l'écart de températures entre condenseur et évaporateur est faible.

Pour l'évaporateur : **Une diminution de 1C° de la température d'évaporation --> 2,5% de la consommation supplémentaire.**

Pour le condenseur : **Une augmentation de 1C° de la température d'évaporation --> > 2,5% de la consommation supplémentaire.**

### Recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique :

Commençant par quelques actions d'améliorations de l'efficacité du condenseur :

Action	Avantage
Surveillez la pollution des condenseurs	Si le condenseur sont pollués, les échanges thermiques entre le réfrigérant et l'ambiance se détériorent. Dès lors, pour pouvoir évacuer la chaleur accumulée par le réfrigérant, le compresseur devra amener le réfrigérant à une température d'ébullition plus élevée et de ce fait consommer plus d'électricité.
nettoyez les incondensables régulièrement.	Les incondensables sont des gaz tels que l'air ou l'azote qui se seraient introduits dans le circuit par accident ou par des fuites (lorsque le circuit de l'évaporateur est à une pression plus faible que la pression atmosphérique), lors d'opérations de maintenance, ou des hydrocarbures provenant de la décomposition des huiles du compresseur. Si ces gaz s'accumulent dans le condenseur, ils y agissent comme une résistance thermique inopportune. Il convient donc de les purger régulièrement.
réduire l'écart de température entre réfrigérant et chambre froide à l'évaporateur s'il excède 7°C.	Un écart trop important de 1°C occasionne une surconsommation d'électricité des compresseurs de 3%.

Nettoyage des ailettes de ventilateurs et des conduites d'air.	-Meilleure circulation d'air -Réduction de la charge du ventilateur.
--	---

**Tableau V-3** : Actions d'améliorations du condenseur.

En appliquant ces actions corrective, on verra le rendement du condenseur s'améliorer et ainsi la température de condensation (et donc la pression du refoulement du compresseur) baisser considérablement.

### 3.2. Optimisation de la consommation d'énergie électrique

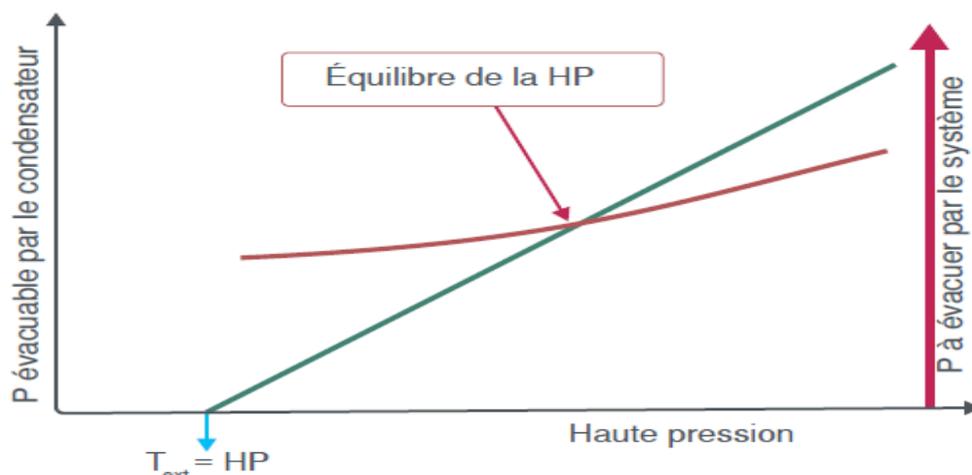
#### 3.2.1. Régulation de la haute pression et de la basse pression :

##### i. Haute pression flottante

#### Principe de fonctionnement

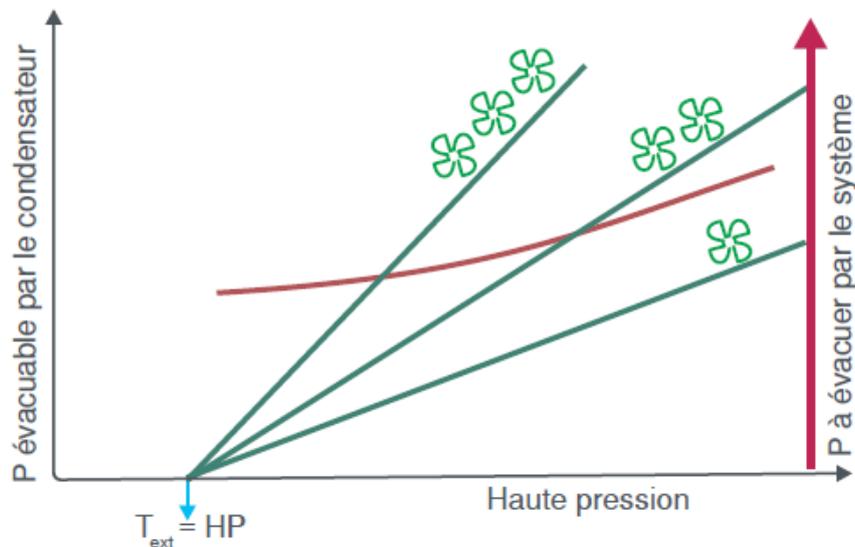
La HP se crée par l'équilibre entre la puissance à évacuer et la puissance évacuée. Le système doit évacuer une quantité d'énergie qui dépend de la puissance frigorifique instantanée et du rendement des compresseurs.

Le condenseur peut évacuer une certaine puissance dépendant de ses conditions de fonctionnement : plus l'écart de température entre l'air extérieur et le fluide frigorigène est important, plus la puissance évacuée est importante. La pression peut également être donnée sous forme de température dite saturante (température à partir de laquelle le gaz se condense). La température augmente quand la pression augmente. Plus la HP est haute (ou chaude), plus la puissance évacuée par le condenseur augmente (l'écart de température augmente) et inversement. Lorsque la température de la HP atteint la température extérieure, la puissance évacuée est nulle.

**Figure V-2** : Haute pression en fonction des puissances évacuées.

Afin de réguler ce point d'équilibre, la capacité du condenseur est ajustée en pilotant les ventilateurs. En augmentant le débit de ventilation, la capacité du condenseur augmente et

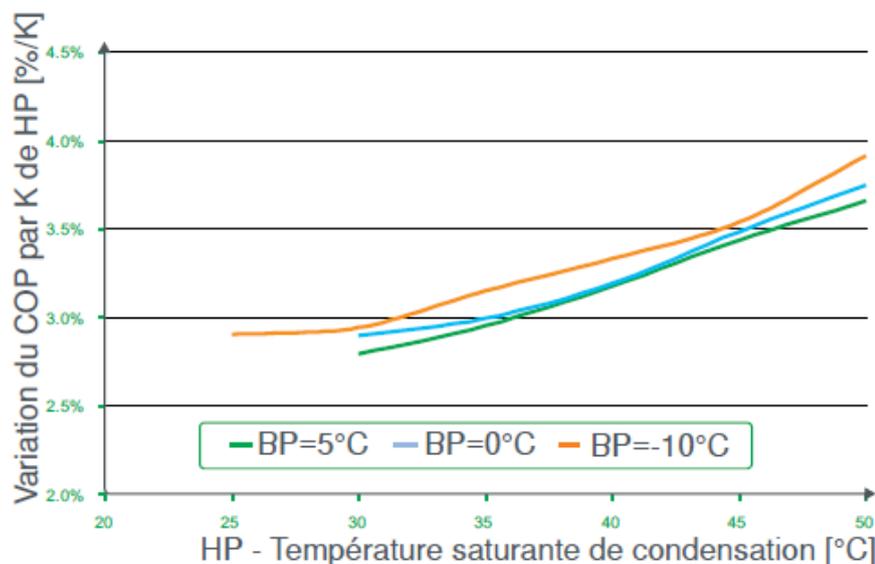
inversement. La variation de puissance à évacuer n'est pas ou peu modulable. Le seul moyen d'intervenir sur la HP est donc le pilotage de la ventilation des condenseurs.



**Figure V-3:** influence du débit des ventilateurs.

Réduire la HP est intéressant sur le plan énergétique : quand la HP diminue le COP des compresseurs augmente, et inversement. La Figure donne le COP en fonction de la température de condensation, la variation du COP est nettement visible. Il passe, par exemple, de 1,9 à  $-10\text{ °C}/+50\text{ °C}$  à 4,7 à  $-10\text{ °C}/+20\text{ °C}$  soit une variation de 62 %.

La **Figure** donne le pourcentage de gain (ou de perte) sur le COP pour les variations d'un degré de température de condensation (écarts de température donnés en Kelvin) en fonction de la HP et pour différentes températures d'évaporation. Tous les compresseurs ne réagissent pas de la même manière, il est donc nécessaire d'utiliser les caractéristiques des compresseurs en place pour pouvoir évaluer correctement les économies d'énergie.



**Figure V-4 :** Variation en % du COP par K en fonction de la HP.

Pour synthétiser, la HP flottante consiste à réguler la pression de condensation à une valeur permettant d'obtenir la plus faible consommation du couple compresseur/condenseur (et auxiliaires). Ce n'est surtout pas d'abaisser la HP au maximum, ce qui pourrait en plus d'une surconsommation, provoquer des dysfonctionnements sur l'installation.

La facture énergétique due au fonctionnement des groupes froid, loin d'être négligeable, peut être réduite en abaissant la haute pression (HP) lorsque les conditions extérieures sont favorables (gains potentiels importants en hiver et en mi-saison). Sachant que l'on opte généralement pour une température de condensation de 10 à 15°C supérieur à la température extérieure, au lieu de maintenir toute l'année des températures de condensation de 40 à 42°C (fonctionnement type été) on peut, compte tenu des conditions météo, obtenir des températures de condensation de 25 à 28°C une grande partie de l'année.

La variation de la HP doit suivre des lois de régulation (il faut pour cela modifier les paramètres de l'automate de régulation de la centrale ou le changer si incompatibilité) et nécessite des instruments spécifiques. À savoir : **une sonde de température extérieure** et de **température de liquide HP**, et **un régulateur**. Le système peut être encore amélioré par une régulation auto-adaptative des postes (**détendeur électronique**).

#### **Gains estimés :**

En matière de bénéfice, nous pouvons retenir différents repères :

- 1°C gagné sur la condensation permet d'économiser 2,5% sur la consommation.
- Le gain varie de 15 à 35% selon la variation d'amplitude de l'air extérieur.
- Un gain de 40% sur le compresseur se traduit par 30% d'économie sur l'installation.
- Le retour sur investissement se situe généralement entre 2 et 4 ans.

## **ii. Basse pression flottante**

### **Principe de fonctionnement**

La BP se crée par l'équilibre entre la puissance à évacuer par l'évaporateur et la puissance évacuée par les compresseurs. Lorsque la température du fluide frigorigène est égale à celle du fluide à refroidir, il n'y a plus d'échange de puissance. La régulation des compresseurs permet de maintenir cet équilibre avec les valeurs de consigne.

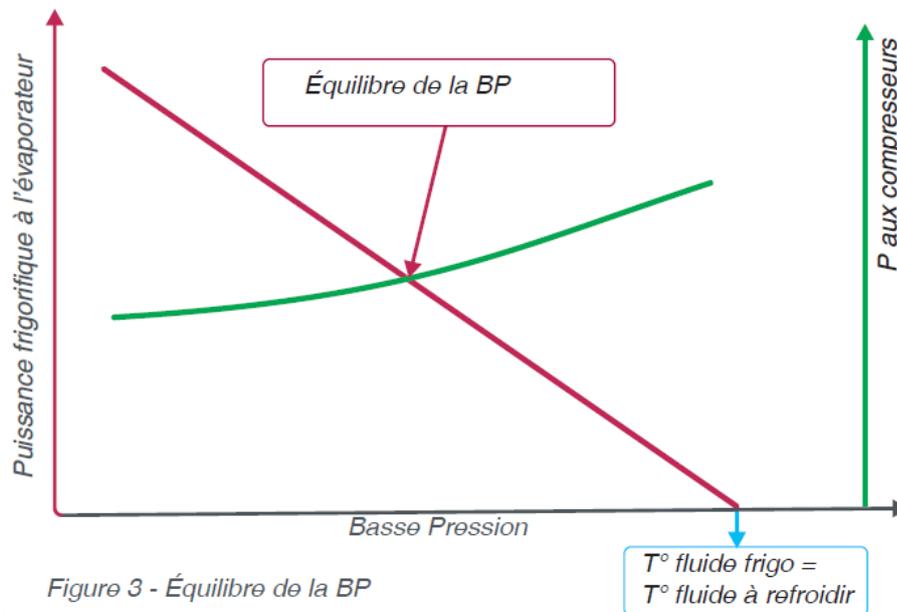


Figure 3 - Équilibre de la BP

**Figure V-5** : Equilibre de la basse pression.

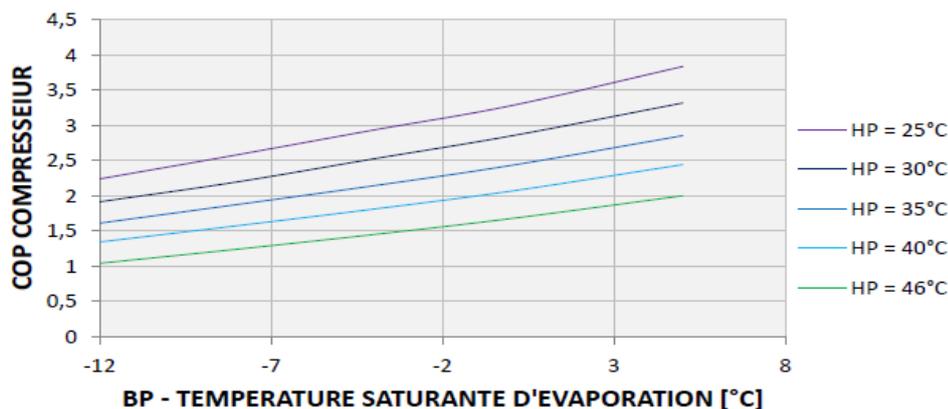
Une BP trop basse augmente la production de puissance instantanée des évaporateurs (dans la limite de possibilité de fourniture des compresseurs, lorsque tous les compresseurs sont en fonctionnement). L'augmentation de puissance instantanée va entraîner des courts cycles de fonctionnement au niveau des évaporateurs, mais aussi des compresseurs.

La régulation de la BP se fait par le pilotage des compresseurs. Afin de concentrer l'explication sur la BP flottante, les modes de réduction de puissance des compresseurs frigorifiques ne sont pas pris en compte. La variation de vitesse des compresseurs frigorifiques sera traitée dans l'annexe.

Le but de la BP flottante est de faire des économies d'énergie en remontant la BP lorsque cela est possible sans impacter le bon fonctionnement de l'installation frigorifique. En effet, la figure V-5 représente une approximation de l'évolution du COP du compresseur qui équipe le groupe froid en fonction de la BP pour différentes HP. Lorsque la BP augmente, le COP augmente également. Les valeurs sont spécifiques au compresseur pris pour exemple il sera nécessaire de refaire la démarche pour chaque compresseur. Le COP évolue fortement, mais de telles variations avec une régulation de la BP ne sont pas possibles, les variations en BP flottante ne seront que de quelques degrés.

Remonter la BP génère des économies d'énergie, le plus délicat est de déterminer dans quelles conditions il est possible de remonter la BP sans affecter le fonctionnement. La BP flottante va utiliser une technologie de régulation de la BP fixe mais la consigne de régulation va évoluer en fonction d'un paramètre à définir.

Le paramètre ou les paramètres qui reflètent la variation des besoins doivent être identifiés. Ce paramètre sera utilisé pour faire varier la BP. Il sera également utilisé pour définir l'amplitude de variation de la BP admissible.



**Figure V-5:** Évolution du COP du compresseur en fonction de la BP pour plusieurs HP

En terme, la BP flottante consiste à réguler la pression d'évaporation à une valeur permettant d'obtenir la plus faible consommation du couple compresseurs/évaporateurs (et auxiliaires).

#### Gains estimés :

Une augmentation de la consigne de la température d'évaporation d'1°C permet des gains de consommation de 2.5 à 4%. Cependant, la mise en place d'une BP flottante nécessite des remontées d'informations depuis les postes de froid. L'amplitude de variation de température est limitée de 2 à 4°C maximum. Enfin, une BP stabilisée entraîne moins de démarrages des compresseurs et de moindres écarts entre enclenchement et déclenchement.

#### 3.2.2. Variation électronique de la vitesse du compresseur :

Dans une machine frigorifique à compression, le transfert de fluide est à débit variable alors que le moteur tourne à vitesse constante, il y a donc un grand gaspillage d'énergie. Le contrôle traditionnel par mode marche/arrêt entraîne des fluctuations inconfortables de la température à l'évaporateur et des mauvaises conditions de rendement du compresseur.

Les compresseurs dont on fait varier la vitesse vont comprimer un volume de fluide variable et ainsi adapter leur puissance frigorifique à la charge thermique du local. Quand l'écart mesuré entre le point de consigne et la température du local augmente, le système de régulation agit sur la vitesse de rotation du compresseur qui voit sa puissance frigorifique augmenter.

Le variateur électronique de vitesse (VEV) ; convertisseur électronique de puissance qui permet de transformer la tension de la source d'alimentation en une tension à fréquence variable adaptée au moteur ; va permettre d'ajuster la vitesse de rotation du moteur au débit souhaité et donc d'économiser de l'énergie. Ce mode de régulation également appelé « INVERTER » permet une variation de vitesse du compresseur sans perte importante du rendement.

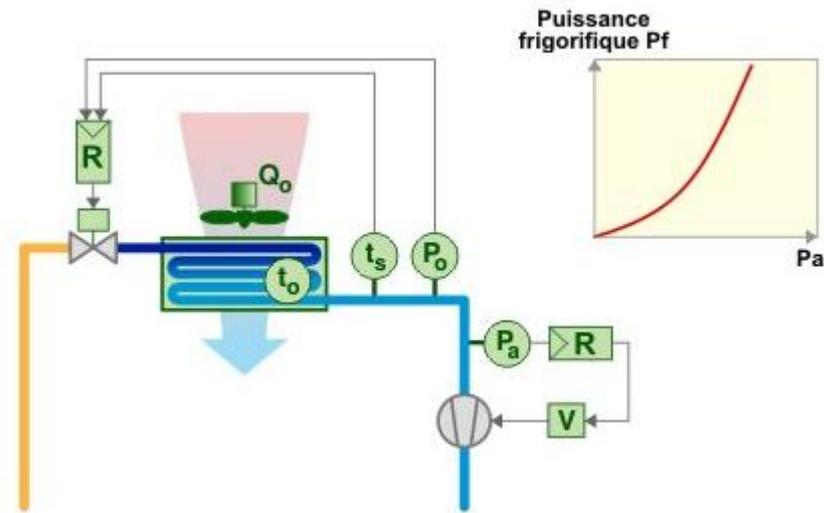


Figure V-7 : Régulation par variation de fréquence.

Le contrôle traditionnel par mode MARCHE/ARRET entraîne des fluctuations de la température à l'évaporateur nuisibles aux denrées et des mauvaises conditions de rendement du compresseur.

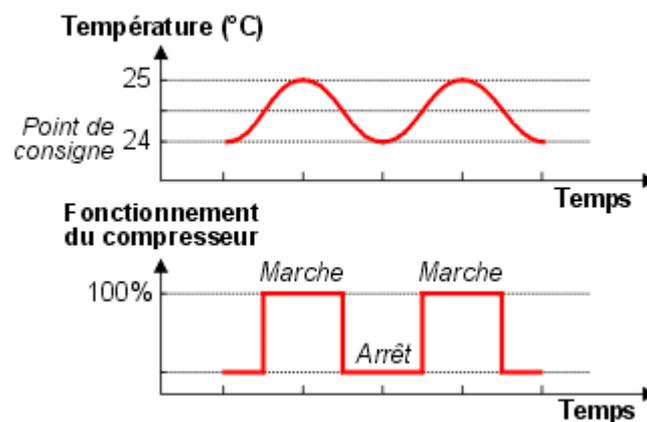


Figure V-8: le fonctionnement traditionnel du compresseur.

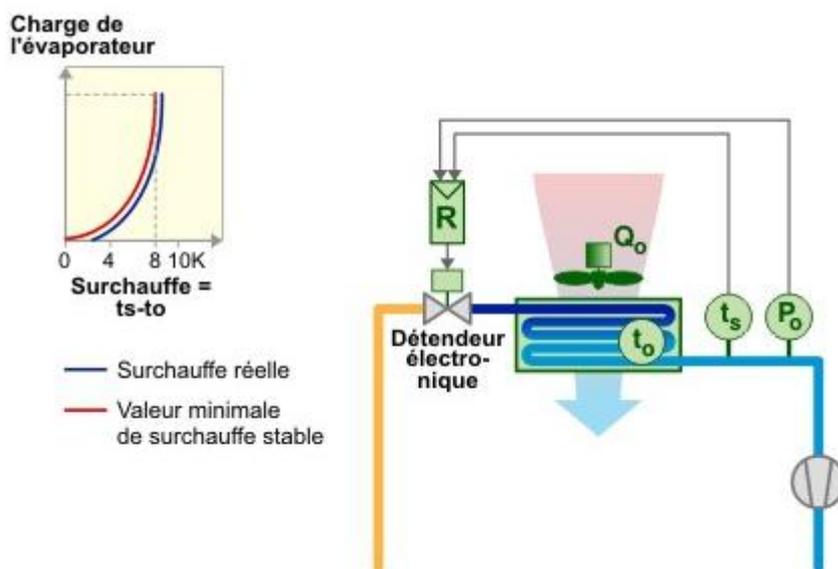
### 3.2.3. La régulation des détendeurs électroniques :

Les nouvelles technologies permettent de suivre au plus près la courbe des valeurs minimales de surchauffe stable en associant des détendeurs électroniques à des régulateurs analogiques ou digitaux. La figure suivante montre une régulation électronique optimisée qui assure en permanence un bon remplissage de l'évaporateur. On remarquera que la régulation assure toujours que le fluide reste bien vaporisé dans l'évaporateur en évitant d'envoyer du liquide au niveau du compresseur (on reste à droite de la courbe).

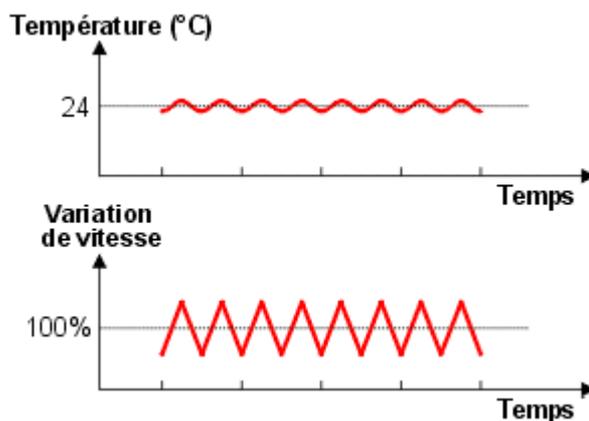
La régulation de la charge frigorifique côté du fluide frigorigène est très complexe. On pourrait en première approximation dire que l'organe principal de régulation de l'échange au niveau de l'évaporateur est réalisé par le détendeur. En effet, il régule le débit de remplissage de

l'évaporateur en mesurant l'image de la surchauffe (surchauffe = température sortie évaporateur - température de condensation).

Contrairement à ce que l'on prétendait auparavant, la valeur de la surchauffe optimale n'est pas fixe par rapport à la charge frigorifique. La valeur minimale de surchauffe stable traduit l'adaptation de la surchauffe en fonction de la charge frigorifique.



**Figure V-9:** Régulation par détendeur électronique en fonction de la valeur minimale de surchauffe stable.



Notons que le démarrage du compresseur se fait toujours à basse vitesse, contrairement au fonctionnement MARCHE/ARRET. La pointe de courant nécessaire au démarrage est ainsi fortement réduite.

La technologie INVERTER est actuellement au point. Cependant, dans certains anciens modèles, elle présente encore quelques inconvénients tels les parasites qu'elle induit dans le réseau électrique. Mais actuellement, les variateurs de fréquences sont équipés de filtres permettant d'éliminer les harmoniques nuisibles au réseau d'alimentation électrique.

### 3.3. Simulation des économies réalisées sur le logiciel COOLPACK :

On simule l'économie générée par la diminution de la température du condenseur de 1°C et l'augmentation de la température de l'évaporateur de 1°C :

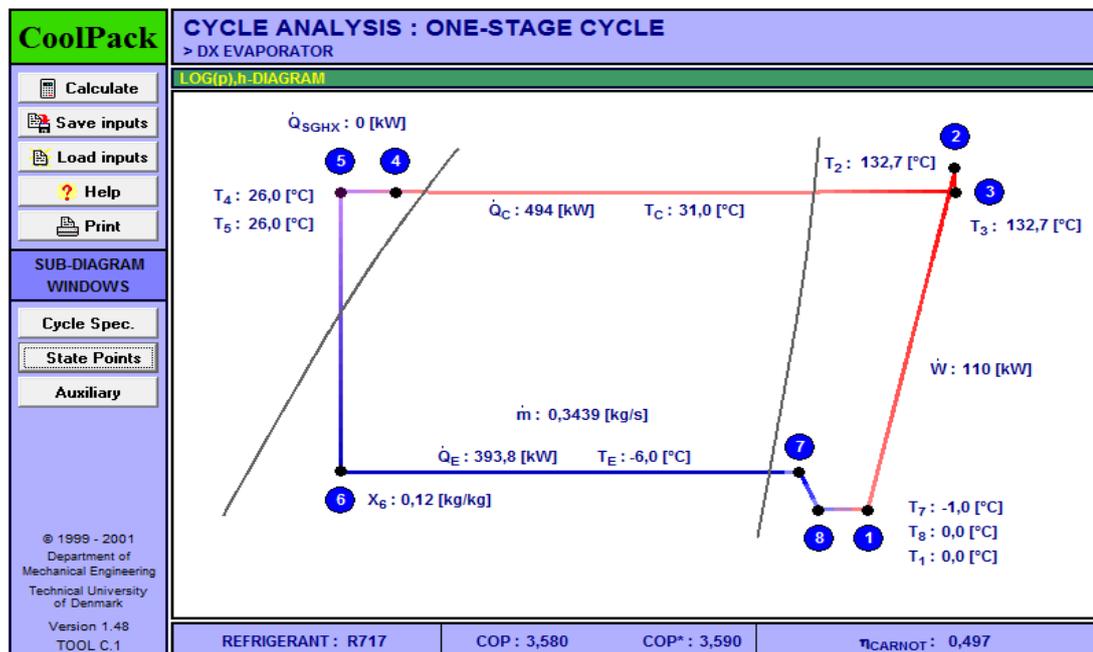


Figure V-10: simulation du cycle thermodynamique de SAMIFI 1 sur COOLPACK.

CYCLE SPECIFICATION			
<b>TEMPERATURE LEVELS</b>		<b>PRESSURE LOSSES</b>	
$T_E$ [°C]: -6,0	$\Delta T_{SH}$ [K]: 5	$\Delta p_{SL}$ [K]: 0,5	<b>SUCTION GAS HEAT EXCHANGER</b>
$T_C$ [°C]: 31,0	$\Delta T_{SC}$ [K]: 5	$\Delta p_{DL}$ [K]: 0,5	No SGHX
<b>REFRIGERANT</b>			
R717			
<b>CYCLE CAPACITY</b>			
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	393,8	$\dot{Q}_E$ : 393,8 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 494 [kW]
		$\dot{m}$ : 0,3439 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 467,03 [m <sup>3</sup> /h]
<b>COMPRESSOR PERFORMANCE</b>			
Power consumption $\dot{W}$ [kW]	110	$\eta_{IS}$ : 0,595 [-]	$\dot{W}$ : 110 [kW]
<b>COMPRESSOR HEAT LOSS</b>			
Heat loss factor $f_C$ [%]	10	$f_Q$ : 10,0 [%]	$T_2$ : 132,7 [°C]
			$\dot{Q}_{LOSS}$ : 11 [kW]
<b>SUCTION LINE</b>			
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	1,0	$\dot{Q}_{SL}$ : 1044 [W]	$T_8$ : 0,0 [°C]
			$\Delta T_{SH,SL}$ : 1,0 [K]
Calculate	Print	Help	Home
	Auxiliary	State Points	COP: 3,580    COP*: 3,590

STATE POINTS					Additional information
STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m <sup>3</sup> ]	
1	0,0	334,9	1454,3	2,7	Pressure ratio ( $p_2 / p_1$ ) : 3,653
2	132,7	1223,2	1742,2	6,4	
3	132,7	1205,4	1742,6	6,3	$T_{2,IS}$ : 94,2 [°C] <small><math>T_{2,IS}</math> is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression</small>
4	26,0	1205,4	305,9	601,3	$T_{2,W}$ : 145,6 [°C] <small><math>T_{2,W}</math> is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression</small>
5	26,0	1205,4	305,9	601,3	
6	-6,0	341,6	305,9	-----	
7	-1,0	341,6	1451,2	2,7	
8	0,0	334,9	1454,3	2,7	

AUXILIARY				
VOLUMETRIC EFFICIENCY				
Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]	0,8	$\eta_{VOL}$ : 0,800 [-]	$\dot{V}_S$ : 467,03 [m <sup>3</sup> /h]	$\dot{V}_D$ : 583,8 [m <sup>3</sup> /h]
<small><math>\dot{V}_S</math> can be chosen as input in the cycle specification window.</small>				
UTILIZATION OF DISCHARGE GAS SUPERHEAT FOR HEATING OF WATER				
Temperature increase $\Delta T_{WATER}$ [K]	20	$\Delta T_{WATER}$ : 20 [K]	$\dot{V}_{WATER}$ : 4,06 [m <sup>3</sup> /h]	$\dot{Q}_{DSH}$ : 93,76 [kW]
		$T_{DL,OUT}$ : 132,7 [°C]	$T_C$ : 31,0 [°C]	
<small>Water in the desuperheating heat exchanger can only be heated to discharge temperature <math>T_{DL,OUT}</math>. <math>\dot{Q}_C</math> in the main diagram window includes both the heat load for both desuperheating and condensing of the refrigerant.</small>				
ENERGY CONSUMPTION				
Hours of operation [h]	8760	Energy consumption : 963600 [kWh]		

Figure V-10 : l'économie annuelle générée par COOLPACK.

**Résultat** : Les économies annuelles réalisées sont de l'ordre de **963 600 kWh** pour SAMIFI 1.

## Conclusion générale

L'étude élaborée dans ce rapport s'inscrit dans le cadre d'une optimisation de l'énergie électrique au sein de la société CBGS. Mon travail consiste dans un premier lieu à évaluer et analyser la consommation énergétique de l'usine pour identifier les secteurs les plus consommateurs d'énergie, puis diagnostic, en seconde lieu, de tous les systèmes énergivores tels que lignes de production, les chambres froides et l'air comprimé en vue de trouver des solutions et recommandations pour la minimisation de la consommation et l'amélioration de leur efficacité énergétique.

Le premier travail effectué est l'optimisation de la puissance souscrite, une étude a été faite, portant sur les années **2014-2015**, sur la consommation électrique de l'usine afin d'élaborer un bilan énergétique en prenant en considération la demande maximale de la puissance électrique. Cette analyse permet de réaliser une économie annuelle de **25 373,94 Dhs**.

D'abord, on a attaqué la vérification énergétique en ayant recours à un suivi de mesures des paramètres électriques des différentes sections de l'installation. La vérification à porter sur l'analyse des profils mensuels et journaliers de la demande de puissance.

Une analyse de régression a été réalisée pour faire le lien entre la production et la consommation et identifier les possibilités d'économie (réduction de la consommation fixe permet une économie de **56 696 KWh** par mois). Afin d'identifier les énergivores au sein de l'installation, sur lesquelles on doit concentrer les efforts d'amélioration, on a appliqué la méthode ABC sur l'inventaire des demande et des consommations des charges.

Par suite, on a atteint une amélioration du rendement et le facteur de puissance de l'installation est faite a l'aide d'un dimensionnement des batteries de compensation d'énergie réactive et d'un redistribution des charges ont permis d'améliorer leurs rendements et le facteur de puissance de l'installation. Finalement, l'amélioration de l'efficacité énergétique des utilités de production par l'optimisation des cycles frigorifiques et la régulation du système.

**Annexe N°1 :**

Le relevé de la puissance maximale appelée en 2013-2015 :

	Puissance appelée (2014)	Puissance appelée (2015)	Puissance souscrite
Janvier	1347	1 188,00	1300
Février	1397	1 371,00	1300
Mars	1347	1 524,00	1300
Avril	1566	1 563,00	1300
Mai	1895	1 690,00	1300
Juin	1874	1 659,00	1300
Juillet	1875	1 653,00	1300
Aout	1879	1 781,00	1300
Septembre	1926	1 786,00	1300
Octobre	1696	1 631,00	1300
Novembre	1607	1 651,00	1300
Décembre	1 385	1 277,00	1 300

**Tableau : Puissances maximales appelées en 2014-2015.**

**Annexe N°2 :**

Les montants facturés de la consommation électrique durant la période 2014-2015

	Montant facturé DH 2014	Montant facturé DH 2015
JANVIER	370124,07	206987,16
FEVRIER	387183,84	344871,87
MARS	378630,56	443884,59
AVRIL	366496,25	529219,86
MAI	614567,67	695816,27
JUIN	625859,9	606093,12
JUILLET	504185,81	565893,11
AOUT	698515,45	885085,11
SEPTEMBRE	753501,22	836434,5
OCTOBRE	359372,16	533485,93
NOVEMBRE	528809,78	452076,4
DECEMBRE	320332,54	323042,07
<b>Total</b>	<b>5 907 579,25</b>	<b>6 422 889,99</b>

**Tableau : Montants facturés en 2014-2015.**

**Annexe N°3 :**

Les tableaux ci-dessous donnent les consommations de l'énergie électrique par tranches horaires durant la période 2014-2015 :

Mois	Consommation en heures points (KWH)	Consommation en heures normales (KWH)	Consommation en heures creuses (KWH)
Janvier	91418	179763	131771
Février	97557	197382	118336
Mars	92176	181936	142894
Avril	82150	184340	119581
Mai	144120	315365	216721
Juin	144636	336785	206061
Juillet	63211	310550	204664
Aout	142768	360265	230477
Septembre	170240	374653	237931
Octobre	76939	150014	119932
Novembre	137 662	264155	110786
Décembre	72762	167262	59590
<b>Total en KWH</b>	<b>1315639</b>	<b>3022470</b>	<b>1898744</b>

**Tableau** : Consommation par tranches horaires en 2014

Mois	Consommation en heures points (KWH)	Consommation en heures normales (KWH)	Consommation en heures creuses (KWH)
Janvier	39764	81041	53089
Février	74710	172556	57759
Mars	101745	203614	100630
Avril	108603	276901	110767
Mai	143483	328319	218510
Juin	114558	292245	191977
Juillet	82785	290756	198002
Aout	180562	426829	290248
Septembre	173728	396623	270901
Octobre	111741	243520	155673
Novembre	98 546	206494	105605
Décembre	67908	135057	99856
<b>Total en KWH</b>	<b>1298133</b>	<b>3053955</b>	<b>1853017</b>

**Tableau** : Consommation par tranches horaires en 2015.

## Annexe N°4 :

Puissance souscrite	Redevance fixe de la puissance souscrite en DH	Redevance de dépassement de la puissance souscrite en DH	Redevance totale de puissance en DH HT	Manque à gagner en DH
1300	439296	177154,56	616450,56	0
1350	456192	152064	608256	8194,56
1400	473088	131704,32	604792,32	11658,24
1450	489984	114808,32	604792,32	11658,24
1500	506880	97912,32	604792,32	11658,24
1550	523776	81016,32	604792,32	11658,24
1600	540672	65556,48	606228,48	10222,08
1650	557568	52588,8	610156,8	6293,76
1700	574464	40085,76	614549,76	1900,8
1750	591360	29525,76	620885,76	-4435,2
1800	608256	18965,76	627221,76	-10771,2
1850	625152	8405,76	633557,76	-17107,2
1900	642048	1098,24	643146,24	-26695,68
1950	658944	0	658944	-42493,44
2000	675840	0	675840	-59389,44

Tableau : Dimensionnement de la puissance souscrite 2014.

Puissance souscrite	Redevance fixe de la puissance souscrite en DH	Redevance de dépassement de la puissance souscrite en DH	Redevance totale de puissance en DH HT	Manque à gagner en DH
1300	483132	153736,14	636868,14	0
1350	501714	130506,14	632220,14	4648
1400	520296	108623,48	628919,48	7948,66
1450	538878	87716,48	626594,48	10273,66
1500	557460	66809,48	624269,48	12598,66
1550	576042	47110,44	623152,44	13715,7
1600	594624	30245,46	624869,46	11998,68
1650	613206	14867,2	628073,2	8794,94
1700	631788	7758,82	639546,82	-2678,68
1750	650370	130506,14	780876,14	-144008
1800	668952	0	668952	-32083,86
1850	687534	0	687534	-50665,86
1900	706116	0	706116	-69247,86
1950	724698	0	724698	-87829,86

2000	743280	0	743280	-106411,86
------	--------	---	--------	------------

**Tableau :** Dimensionnement de la puissance souscrite 2015.**Annexe N°5 :**

	Électricité - 2014	Électricité - 2015
Janvier	363 154	189 678
Février	363 277	259 748
Mars	435 305	439 657
Avril	444 298	565 770
Mai	705 799	723 025
Juin	641 520	520 321
Juillet	550 208	694 477
Aout	831 605	909 113
Septembre	632 515	708 081
Octobre	424 948	448 643
Novembre	419 635	439 640
Décembre	281 856	238 847
Total	6 094 120	6 137 000

**Tableau :** consommation électrique 2014-2015.**Annexe N°6 :**

mois	Consommation en heures points (KWH)	Consommation en heures normales (KWH)	Consommation en heures creuses (KWH)	Consommation en heures points (DH)	Consommation en heures normales (DH)	Consommation en heures creuses (DH)	consommation totale (DH)	consommation totale (KWH)	cout moyen du KWH
janvier	39764	81041	53089	46311,1426	65927,6639	28472,6925	140711,499	173894	0,80917972
fevrier	74710	172556	57759	87011,0015	140376,032	30977,3069	258364,34	305025	0,84702677
mars	101745	203614	100630	118497,314	165642,025	53969,8816	338109,221	405989	0,8328039
avril	108603	276901	110767	126484,484	225261,733	59406,5574	411152,774	496271	0,82848438
mai	143483	328319	218510	167107,476	267090,79	117191,283	551389,549	690312	0,79875411
juin	114558	292245	191977	133419,975	237744,23	102961,105	474125,309	598780	0,79181888
juillet	82785	290756	198002	96415,503	236532,914	106192,433	439140,896	571543	0,76834271
aout	180562	426829	290248	210291,533	347229,66	155665,807	713187	897639	0,79451428

septembre	173728	396623	270901	202332,315	322656,777	145289,624	670278,716	841252	0,7967633
octobre	111741	243520	155673	130139,156	198105,955	83490,5434	411735,654	510934	0,805849
novembre	98 546	206494	105605	114771,599	167984,934	56638,0736	339394,606	410645	0,82649151
decembre	67908	135057	99856	79089,0522	109870,22	53554,7699	242514,042	302821	0,80084949
total en KWH	1298133	3053955	1853017	1511870,6	2484422,93	993810,077	4990103,61	6205105	0,80419326

**Tableau : Cout moyen du KWH****Annexe N°7 :**

Année	Consommation en heures normales en KWH	Consommation en heures pleines en KWH	Consommation en heures creuses en KWH	Redevance de dépassement de la puissance souscrite	Redevance fixe de la puissance souscrite	TVA
2015	1298133	3053955	1853017	153736,14	483132	788726,31

**Tableau : Dépassement de la puissance souscrite 2015.**

## Bibliographie

- « Guide et outils de vérification énergétique » préparé par le programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC).
- Cours d'audit énergétique et gestion de l'énergie de Mr. Fouad ELKOHEN .
- « l'audit énergétique dans l'entreprise » de ATEE
- Cahier technique N° 5 « économies d'énergie dans l'industrie » Service public de Wallonie, département de l'Energie et du Bâtiment durable.
- « Transformateur de distribution et économies d'énergie » de l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).
- 
- « Economie d'énergie dans les centrales frigorifiques » de Schneider Electric.
- « HP-BP flottante » de CAREL.