



**[www.Mcours.com](http://www.Mcours.com)**  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)



## DEDICACES

*A mes très chers parents*

*A mon frère Badr*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

*A toutes les personnes qui me sont chères*

*Je dédie ce travail*

*Adil*



## REMERCIEMENTS

Que l'on me permette, à travers ce mémoire, d'adresser mes sincères remerciements aux très nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation du présent travail.

Je témoigne, tout d'abord d'une grande gratitude envers l'ensemble des professeurs et des cadres administratifs du département Génie énergie électrique, qui ont contribué dans une large mesure à ma formation au sein de l'Ecole Mohammadia d'Ingénieurs.

J'adresse mes profonds sentiments de reconnaissance et de respect à mon professeur encadrant M. ELMAAROUFI Mohammed ainsi qu'à M. TOUZANI Abdellatif pour leurs recommandations pertinentes, leur soutien et leurs encouragements.

Je remercie d'une façon toute particulière mon encadrant en entreprise M. HARCHI Faycal de m'avoir encouragé et orienté dans ce projet.

Je remercie chacun des membres de l'équipe de Procter & Gamble qui ont rendu la période de mon stage tant utile qu'agréable, et en particulier M.Zakaria GUELZIM, M. HAMAZOUI Rahal, M.ESSARHIR Fouad, Mme Ilham Ayoub, Mlle ELOUADGHIRI Kaoutar, Mme LAGHRABLI Samia, M. LAGHRISSI Mourad, M.ELAARIFI Zakaria, M. Elmehi ESSADI, M. FETTACH, M. ELMSALLI, M. TORALF.

Enfin je remercie toute les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent mémoire.



## Résumé

Ce projet a été élaboré durant un stage de quatre mois, effectué au sein du département Baby Care à l'usine de Procter and Gamble (P&G) de Mohammadia au Maroc. L'objectif du projet est de réduire la consommation d'énergie électrique de celle-ci au maximum afin de réduire les coûts de fonctionnement et améliorer l'image affichée par le Maroc dans la région.

L'accent a été mis sur les installations qui fonctionnent à l'électricité dans tous les processus de production pour identifier les pertes en non valeur, Proposer des idées afin de réduire la consommation d'énergie électrique, estimer le gain tout en évaluant l'investissement nécessaire.



## **Absract**

This project was prepared during a four months internship at Baby Care department in Mohammadia plant.

The aim of the project is to reduce the electrical energy consumption as much as possible in order to reduce the functioning cost, & to improve Baby Care Morocco's image among the other plants in term of the energy consumption per state unit.

The focus was made on all process equipments in order to identify the losses, propose some ideas and get the saving behind it versus the investment required.



## ملخص

تم إنجاز هذا المشروع خلال أربعة أشهر في مصنع بيبي كير بشركة بروكتر و جامبل. ان هدف هذا المشروع هو ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية بمصنع المحمدية. و قد تم التركيز على الآلات التي تستخدم الطاقة الكهربائية من أجل تحديد مكان الضياع لاقتراح حلول تقنية و حساب الربح المتوقع مع تحديد كلفة الإستثمار الازم.



## Liste des figures

Figure 1.1 : région de P&G worldwide

Figure 1-2 : Organisation de P&G NWA (Source : Intranet P&G)

Figure 1.3 : plan de masse de l'unité de production

Figure 2.1 : Evolution de la consommation énergétique

Figure 2.2 : « podium » régional de la consommation/MSU

Figure 2 .3 : schéma unifilaire d'alimentation de l'usine

Figure 2 .4 : distribution de la consommation pour les départs de l'usine

Figure 2 .5 : Consommation moyenne pour chaque départ sur toutes les saisons, et tous les états de production dans le cas d'une seule ligne de production.

Pour plus de détails, voir le fichier de calcul excel « camembert » ci-joint au rapport.

Figure 2 .6 : Consommation moyenne pour chaque départ sur toutes les saisons, et tous les états de production dans le cas de deux lignes de production.

Pour plus de détails, voir le fichier de calcul excel « camembert » ci-joint au rapport.

Figure 3.1 : système de fonctionnement de la HVAC

Figure 3 .2 : Fonctionnement actuel reporté sur le diagramme psychrométrique de l'air humide

Figure 3.3 : consommation énergétique de GEG face à la variation de la température journalière

Figure 3.4 : consommation énergétique de la CTA en saison froide (fin de l'hiver)

Figure 3 .5 : diagramme de l'air humide avec les différent intervalles reportés

Figure 3.6 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'hiver

Figure 3.7 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'automne

Figure 3.8 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée de printemps



Figure 3.9 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'été

Figure 4 .1 : plan de la centrale d'air comprimé

Figure 4 .2 : Schéma éclaté du compresseur en fonctionnement : ATLAS copco ZT110

Figure 4 .3 : cycle de charge et décharge des compresseurs

Figure 4 .4 : Fonctionnement avec VSD

Figure 4.5 : isothermes de compression et étage de compression

Figure 5.1 schéma de fonctionnement du filtre

Figure 5.2 : luminaires de la zone de production

Figure 7.1 donnée d'ensoleillement journalier de la ville de Casablanca.

Figure 7.2 : Shéma générale de l'installation PV

Figure 7.3: flux monétaires cumulatifs





## Liste des Abréviations :

**HVAC : Heating Ventilation Air Conditionning**

**GEG : Générateur d'eau Glacée**

**CTA : Centrale de traitement d'air**

**SU : State unit : unité produite (couches de bébé produites)**

**AHU : Air Handling Unit (CTA)**

**H.R: Humidité relative**

**COP : Coefficient de performance**

**VSD : Variable Speed Driver**

**OC : Old compressor : Ancien compresseur.**

**NC : New compressor : nouveau compresseur**

**DC : Dust control : control de poussières**

**LV : Low Vacuum : vide à dépression basse**

**MV : Medium Vacuum : vide à dépression moyenne**

**HV : High Vacuum : vide à dépression haute**

**AUX : Auxiliaires**

**CSXPA : CSX Process Air : Air de production pour la matière CSX**

**FSCPA : FSC Process Air : Air de production pour la matière FSC**



## Sommaire:

<b>Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre I: problématique et méthodologie</b>	
<b>I.1. Fiche signalétique.....</b>	<b>14</b>
<b>II. Cadre du projet et problématique .....</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre II :Etat des lieu actuel de la consommation énergétique.....</b>	
<b>II.3 Distribution de la consommation.....</b>	<b>21</b>
<b>Chapitre III: Optimisation du système de climatisation : H.V.A.C (Heating Ventilation Air Conditioning)</b>	
<b>III.Description du fonctionnement actuel.....</b>	<b>26</b>
<b>III.1. Condition d'aspiration de l'air à partir du filtre (recyclage de l'air utilisé dans la production) .....</b>	<b>28</b>
<b>III.3. Actions d'optimisation</b>	
<b>III.3.1 Action N°1 : .....</b>	<b>32</b>
<b>III.3.2 Action N°2 : .....</b>	<b>33</b>
<b>III.3.3 Action N°3 : .....</b>	<b>40</b>
<b>III.3.4 Action N°4 : .....</b>	<b>40</b>
<b>Chapitre IV : Optimisation des compresseurs d'air</b>	
<b>IV.1. Présentation du parc.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.2. Action d'optimisation.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.2. 1. Action N°1.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.2. 2. Action N°2.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.2. 3. Action N°3.....</b>	<b>52</b>



---

<b>Chapitre V : Optimisation des moteurs du filtre et de l'éclairage.</b>	
<b>V.1. Optimisation des moteurs du filtre. ....</b>	<b>56</b>
<b>V.2. Optimisation de la consommation de l'éclairage. ....</b>	<b>57</b>
<b>Chapitre VI : Nouvelle situation et économie totale projetée. ....</b>	<b>60</b>
<b>Chapitre VII : Dimensionnement de panneaux photovoltaïque.....</b>	<b>64</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>73</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>74</b>
<b>I.2. Présentation de l'entité.....</b>	<b>75</b>
<b>II. Procter &amp; Gamble Maroc.....</b>	<b>82</b>
<b>II.1. Histoire.....</b>	<b>82</b>
<b>II.2. Cadre actuel.....</b>	<b>83</b>
<b>III. fiches techniques pour climatiseur et régulateur PV.....</b>	<b>84</b>



# Introduction

Tous les exploitants, industriels et commerciaux, ont l'impérieuse nécessité de proposer des produits ou des services à des prix compétitifs. Les sources d'énergies constituent un axe important des dépenses de toute entreprise industrielle.

Le premier objectif d'un industriel dans ce sens, est donc, avant tout, de réduire sa facture d'énergie par un meilleur tarif, et par des procédés d'optimisation efficaces. Ceci étant bien sûr tout en assurant le bon fonctionnement de tous les services nécessaires à l'activité pratiquée et au confort des personnes qui occupent l'usine, employés et visiteurs. Il est donc primordial d'obtenir la conformité aux règlements énergétiques en vigueur, de maîtriser la consommation d'énergie, et de mettre en place des systèmes économisant cette dernière.

Ce projet s'intéresse à la minimisation des coûts de l'énergie électrique dans l'unité Baby Care de l'usine de l'entreprise Procter & Gamble à Mohammadia au Maroc. Après une présentation de l'entreprise et du lieu du stage, nous aborderons la problématique ainsi que l'état actuel et la part de consommation électrique de chaque équipement majeur.

Ensuite, nous nous concentrerons sur l'optimisation des plus importants éléments consommateurs. Une optimisation qui, constamment, tiendra en compte les normes et standards de qualité et d'environnement en vigueur à P&G.

Enfin, nous évaluerons la faisabilité technique et économique d'une installation photovoltaïque pour une alimentation partielle de l'usine. Nous présenterons également la nouvelle consommation de l'unité, sa nouvelle position à l'échelle mondiale avant de conclure avec des propositions pour une réduction plus poussée de la consommation énergétique.



## Chapitre I :

# Problématique et Méthodologie



## I. PROCTER & GAMBLE WORLDWIDE

### I.1. FICHE SIGNALÉTIQUE

**Secteur d'activité :** Commerce/ production.

**Mission de l'entreprise :** Production de biens de consommation

**Siège social :** Procter & Gamble Plaza. Cincinnati, Ohio 45202 USA

**PDG P&G Worldwide:** Robert McDonald

**Implantation (siège, filiales) :**

- Le siège social est basé à Genève pour l'Europe

- Implantation dans le monde entier (53 pays)

**Salariés :** 138,000 dans le monde

**Résultats consolidés du groupe en 2007/2008 (en milliards de dollars) :**

- Chiffre d'affaires : 83.51

- Bénéfice net : 12.07

- Investissements : 3.04

- Budget de recherche : 2.23

- Effectifs : 138,000

**Ventes par secteur d'activités (en milliards de dollars) :**

- Beauté : 27.8

- Entretien du linge et de la maison : 23.8

- Santé et bien-être: 14.58

- Soins du bébé et de la famille : 13.9

- Snacks, boissons et nutrition animale : 4.85

**Slogan: "touching lives, improving life"**

**Site web:** *www.pg.com*

**Classement :** 22ème au niveau mondial

Source : ([http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune500/2010/full\\_list/](http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune500/2010/full_list/))



## II. Cadre du projet et problématique :

En novembre 2011, le département Baby Care situé à l'usine de Mohammadia a démarré une nouvelle unité de production de couches de bébé PAMPERS qui a remplacé l'ancienne technologie. Cette expansion englobe la ligne de production, l'atelier et les nouvelles utilités (filtres et compresseurs).

Toujours dans le cadre des principes majeurs de P&G qui englobent principalement la satisfaction du client en terme de qualité et de coût, cette nouvelle ligne de production a pour particularité de produire des couches de bébé à une très grande vitesse (**900 couche par min**), tout en respectant des normes drastiques de standards de production, d'hygiènes, et surtout de qualité.

L'unité de production se présente comme suit :

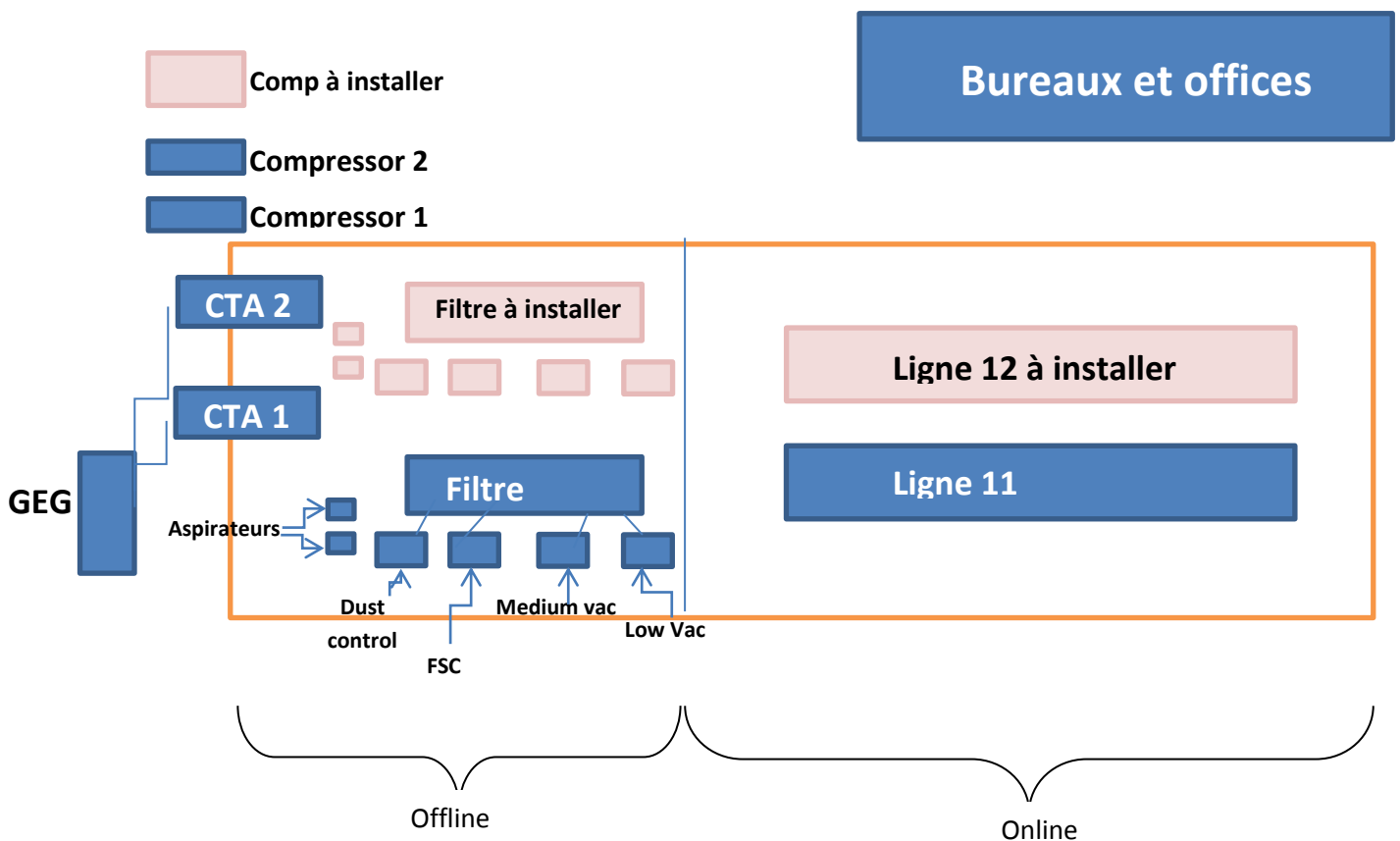


Figure 1.3 : plan de masse de l'unité de production

Comme nous pouvons le constater, il est deux parties majeures : l'offline, et la ligne. C'est exactement dans cette dernière qu'est produite la couche bébé cad où les matières première sont déposées étage par étage, et ce progressivement tout au long du défilement du « tissu ».



Dans la partie offline se trouve les machines qui supportent le fonctionnement de la ligne, procurant de l'air comprimé et du vacuum nécessaire au mouvement des vérins, au maintien de la couche bébé non encore fini sur les convoyeurs, ou encore à l'injection des matières premières dans les différentes parties de la couche bébé.

L'aspect énergétique étant un facteur très important dans le coût global du produit, la réduction de ce dernier s'affiche comme une priorité sine qua non pour la bonne performance de l'unité baby care au Maroc.

De ce fait, et pour avoir une réduction conséquente, l'optimisation de la consommation énergétique sera opérée principalement sur le process de production.

### III. Evolution de la consommation énergétique

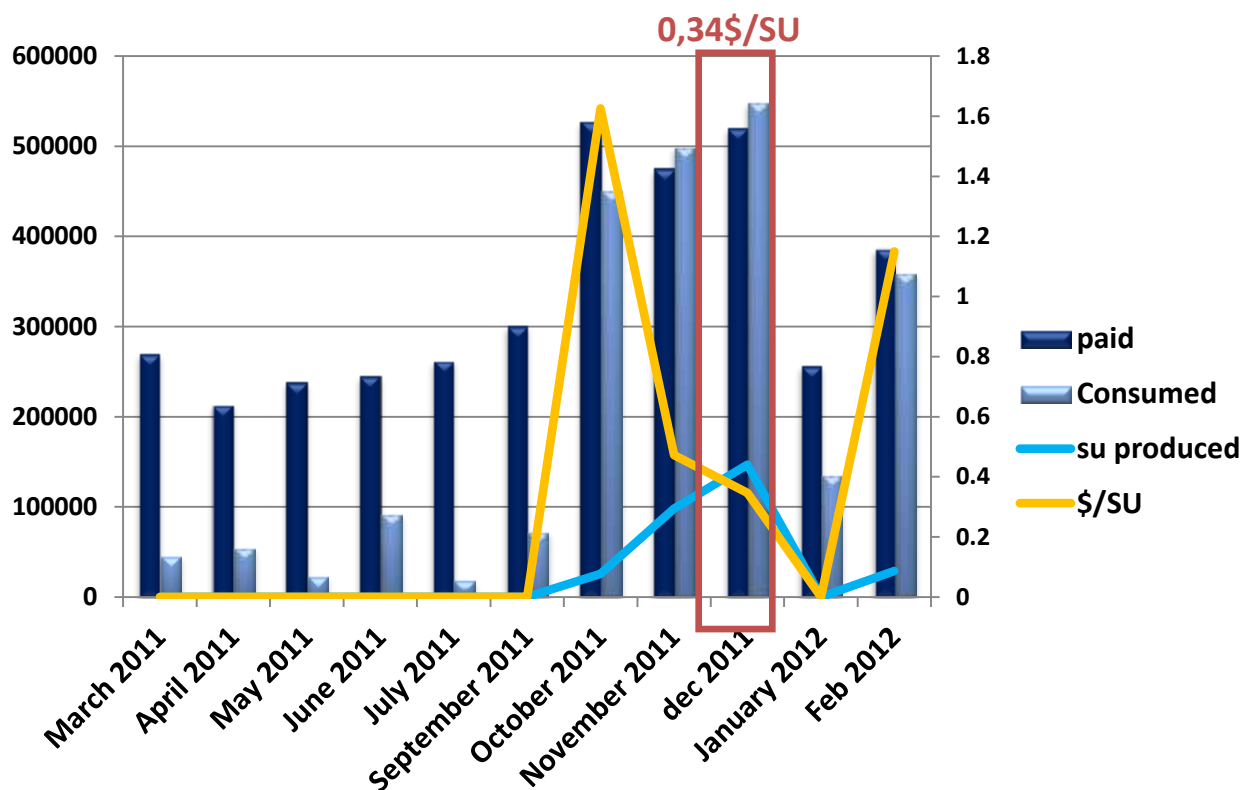


Figure 2.1 : Evolution de la consommation énergétique

La figure ci-dessus représente l'évolution de la consommation énergétique en fonction de la production. Comme nous pouvons le constater, l'évolution est très irrégulière, ceci étant très normal car la production (mesurée en State Unit) est variable (selon la demande du marché). Ceci étant, pour les calculs et benchmarking qui suivront, nous nous baserons sur le mois de décembre, qui est une période typique de fonctionnement où il y eut une continuité de production du début jusqu'à la fin, où l'indice de performance atteignit l'objectif escompté (soit 85%).

Aussi, notons qu'il y a une légère différence entre l'énergie consommée, et ce qui est payé. Ceci étant du à une répartition interne entre les différents départements de l'usine (baby





care, home care et le centre de distribution). Cette répartition, fixe actuellement, sera modifiée pour devenir variable, tout simplement en fonction de la consommation réelle.

Concernant la facture électrique de la consommation totale de l'usine, il est à noter qu'il n'est aucune mesure d'optimisation qui fût entreprise car cette dernière est de très près suivie par le responsable electrical safety du site. Ainsi, puissance souscrite, cos(φ) et taux de d'harmoniques sont dans les normes.

#### IV.« Podium » régional de la consommation énergétique spécifique:

Vu le caractère multinational de p&g, où performance et distinction sont les mots d'ordre de sa politique, chaque année est établi un benchmarking concernant différents indices et ratios caractérisant chaque site. Dans le cadre de ce projet, nous nous intéresserons particulièrement à deux ratio qui concernent la consommation énergétique : \$/SU (coût énergétique en dollar) et le Kwh/SU.

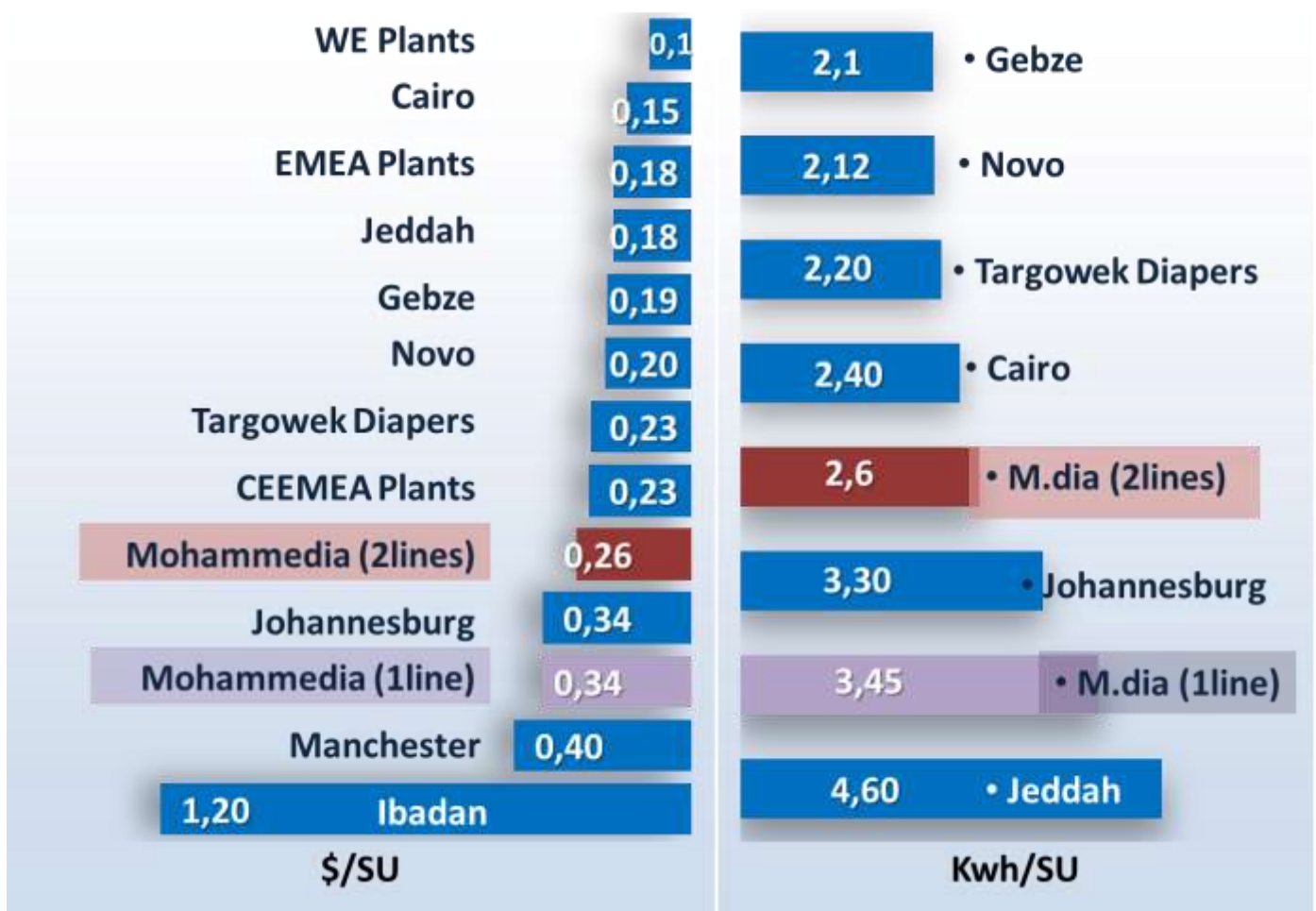


Figure 2.2 : « podium » régional de la consommation/MSU



Comme nous pouvons le constater sur les diagrammes ci-dessus, concernant la place que tient le Maroc pour le \$/SU, une fois que la deuxième ligne de production sera opérationnelle, et donc certaine charge de consommation électriques par SU produites amorites, Mohammadia (2lines) occupera la septième place dans la région (en éliminant les WE et EMEA plants average).

Concernant les Kwh/SU, Mohammadia (2lines) est à la cinquième position.

Ceci étant très contraignant : et pour les coûts que cela engendre au niveau de l'usine, et pour l'image qu'affiche le Maroc parmi les autres sites. Changer la situation actuelle transparaît donc impératif. Pour ce faire, on commencera par faire l'audit de la consommation actuelle en déterminant les unités les plus consommatrices en terme d'énergie, ensuite, on se concentrera sur le fonctionnement de chacune d'entre elles en vue de définir les voies d'optimisation possibles, le taux de réduction et les gains escomptés.



## Chapitre II :

# Etat des lieux actuel de la consommation énergétique



## I. Distribution de la consommation

Le schéma d'alimentation électrique de l'usine se présente comme suit :

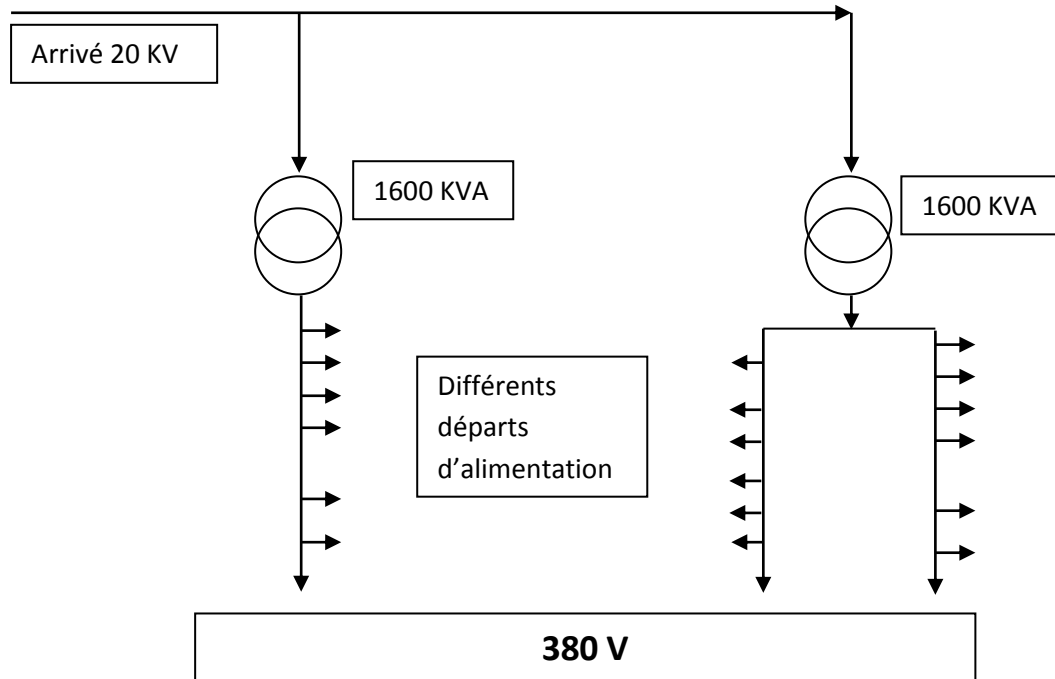


Figure 2 .3 : schéma unifilaire d'alimentation de l'usine

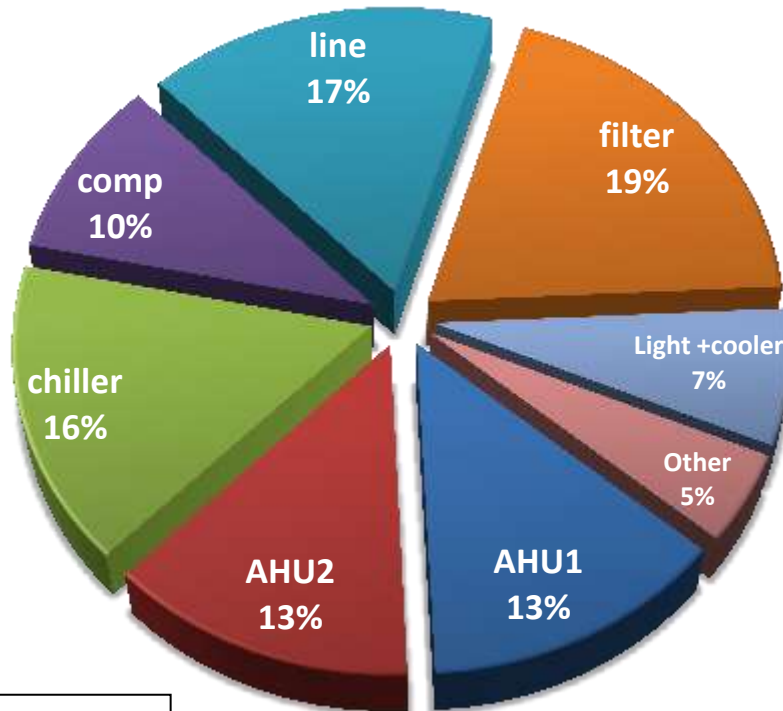
### III.1. distribution de la consommation :

En vue de diagnostiquer la répartition de la consommation énergétique, nous placerons des analyseurs de courants sur les départs les plus importants afin de recueillir ou « échantillonner » la puissance de chaque élément, et donc jauger sa contribution dans la consommation totale.

Le résultat de cette action est représenté sur le digramme ci-dessous :

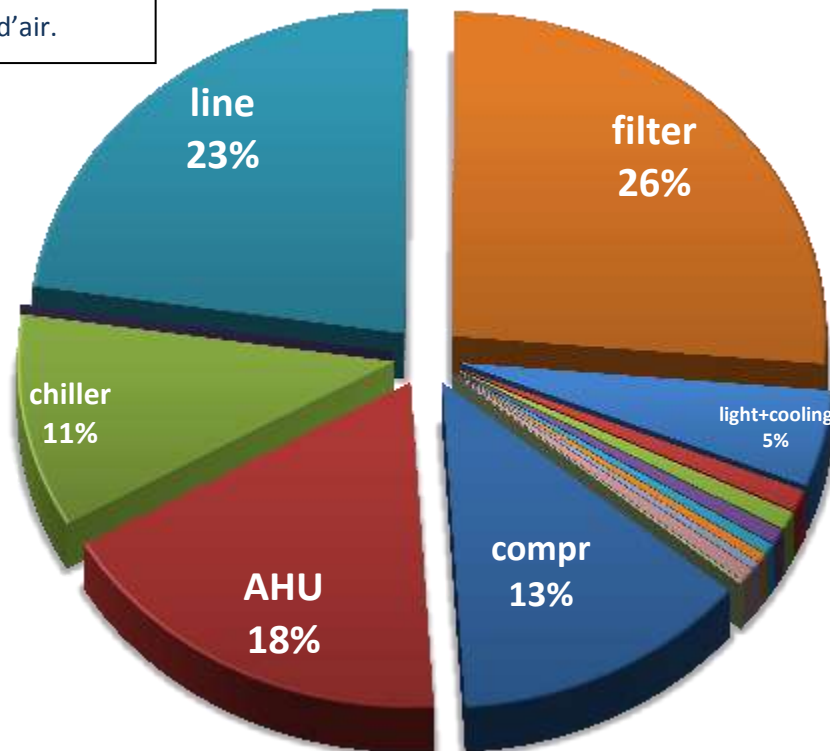


**Consumption pie (One line)**



- **Chiller** : GEG : groupe générateur d'eau froide.
- **AHU** : CTA : centrale de traitement d'air
- **Line** : ligne de production
- **Filter** : moteurs reliés à la chambre de filtrage d'air.

**Consumption pie (two lines)**



**Figure 2 .4 : distribution de la consommation pour les départs de l'usine**







Comme constaté sur le diagramme de consommation, les unités les plus importantes sont :

- **Le système de climatisation (HVAC) 29%**
- **La ligne de production 23%**
- **Les moteurs du filtre 26%**
- **Les compresseurs d'air comprimé 13%**
- **L'éclairage 5%.**

Suite à ce diagnostic, les équipements sur lesquels on choisira d'intervenir sont :

- **Le système de climatisation (HVAC) 29%**
- **Les moteurs du filtre 26%**
- **Les compresseurs d'air comprimé 13%**
- **L'éclairage 5%.**

On éliminera la ligne de production car c'est là un équipement très délicat qui concerne le process de production direct.

Suite à la collecte de ces données, l'action qu'il sied d'entreprendre, c'est d'intervenir en fond sur chaque équipement afin de comprendre son process de fonctionnement, l'impact sur la consommation énergétique, et voir comment réduire cette consommation sans porter aucune altération aux standards et procédés de production, encore moins à la qualité du produit.

Pour ce faire, nous utiliserons l'approche PDCA qui consiste en une stratification de toutes actions en quatre parties majeures qui sont :

- **P : plan, où une compréhension et un diagnostic détaillé est requis, avant de procéder à la planification d'un plan d'action pour appliquer les modifications**
- **D : do, où l'on procède aux tests des actions**
- **C : Check, où la comparaison avec ce que nous avons planifié est établie afin de voir si oui ou non cela correspond.**
- **A : act, une fois toutes les parties validées ; la dernière étape consiste à standardiser l'action et à l'exécuter constamment (ou selon le programme pré établi).**

Dans ce qui suit, nous consacrerons chaque chapitre à l'optimisation d'un élément consommateur en exploitant la PDCA analysis.





## Chapitre III:

# Optimisation du système de climatisation : H.V.A.C

(Heating Ventilation Air Conditioning)



## I. Description du fonctionnement actuel

La HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) est le système de climatisation de l'enceinte de production de l'unité baby care. Le schéma ci-dessous représente les différents éléments constitutants :

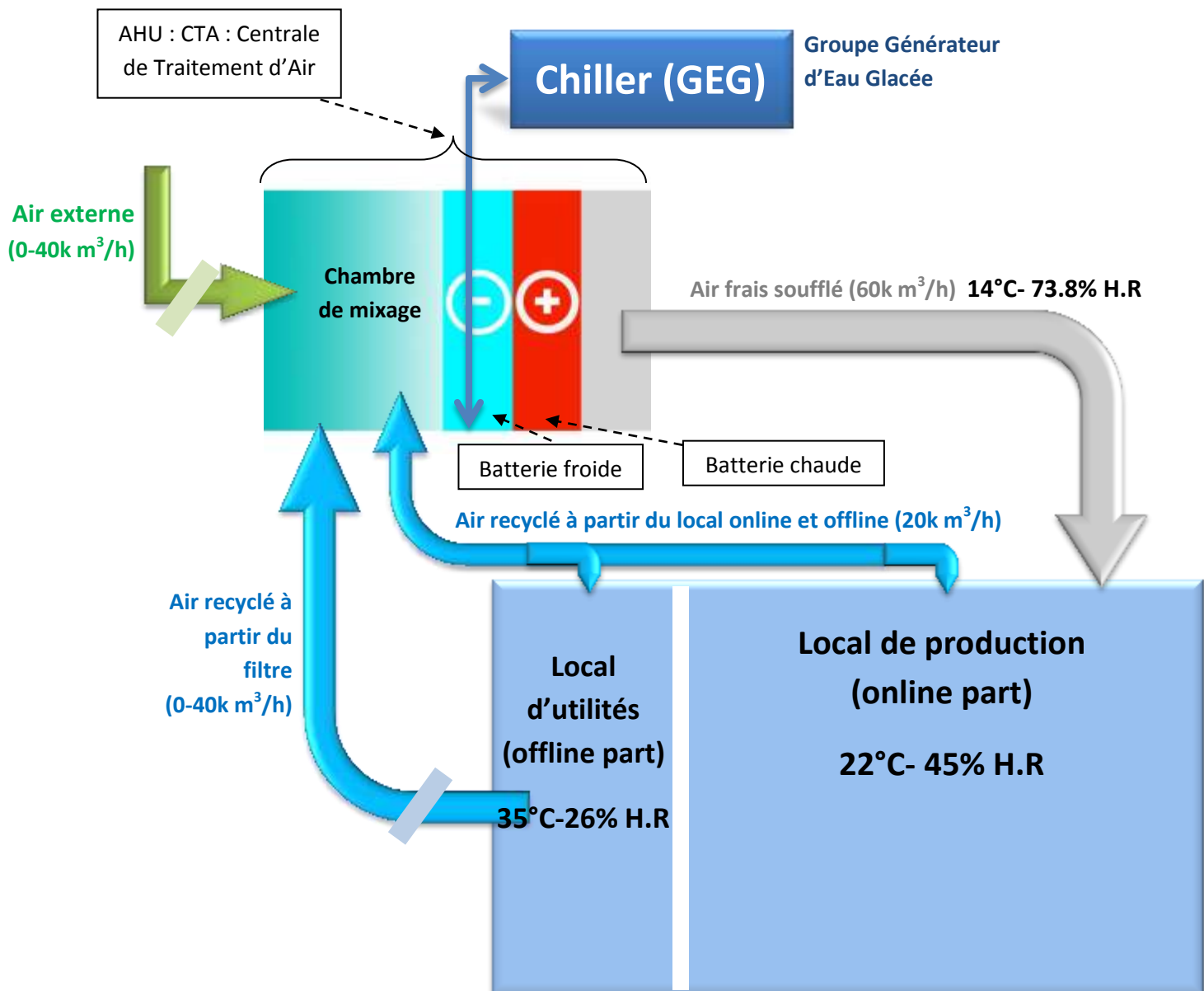


Figure 3.1 : système de fonctionnement de la HVAC



Le système de climatisation, fonctionne comme suit : dans le local de production, le point consigne est fixé sur 22°C et 45% d'Humidité Relative. Selon les apports calorifiques des machines de production, pour avoir les caractéristiques précitées, il faut souffler de l'air frais à 14°C et 73% d'Humidité Relative.

La difficulté réside donc dans l'obtention de l'air soufflé exactement dans ces points consignés.

Pour ce faire, la CTA (Centrale de traitement d'Air) aspire de l'air à partir de l'air externe, et également à partir d'une boucle de recyclage dont le débit est fixe (voir la figure 3.1). Il est à signaler aussi que, selon les conditions de l'air externe, elle peut aspirer de l'air à partir du filtre de l'offline. Une fois ces sources d'air aspirées, l'ensemble est mélangé ou mixé dans une chambre de mélange en vue d'homogénéiser la température et l'humidité. Ensuite, l'air est refroidi dans la batterie froide (voir figure 3.1) constitué d'un échangeur où circule de l'eau froide à 5°C générée par le chiller (Groupe Générateur d'Eau Glacé). Lors de cet échange, la température de l'air diminue et l'humidité augmente (le détail de ces valeurs sera donné dans la suite). Après le passage par dans la batterie froide, l'air passe ensuite à travers la batterie chaude où sont installées des résistances chauffantes de quatre étages et où l'air est réchauffé pour atteindre les points consignés demandés de soufflage avant d'être finalement injecté dans le local. Il est à noter que l'air est mis en mouvement grâce à un ventilateur placé après la batterie chaude qui pompe 60 000 m<sup>3</sup>/h.

Dans le diagramme qui suit, le diagramme psychrométrique de l'air humide, nous pouvons étudier le comportement de l'air humide dans ses différents échanges thermiques.

Les abscisses représentent la température de l'air. Les courbes en couleur rouge représentent l'humidité relative. Pour calculer la puissance thermique consommée dans les batteries afin de ramener l'air d'un point (T<sub>1</sub>, HR<sub>1</sub>) vers un autre point (T<sub>2</sub>, HR<sub>2</sub>), il faut suivre le cheminement de l'air à travers le diagramme tout en recueillant la valeur de l'enthalpie de la source du vecteur jusqu'à la fin de ce dernier.

Dans l'exemple qui suit sera calculée la consommation électrique pour ramener de l'air de (19°C, 85% H.R) au point consigne de soufflage (14°C, 73% H.R).

Lors du passage de l'air par la batterie froide, c'est le GEG (Générateur d'Eau Glacé) qui se charge de refroidir l'eau, et donc, sa consommation électrique sera proportionnelle à la chaleur « soutirée » à l'air chaud.

L'enthalpie sera calculée comme suit :

Du point 1 au point X : le GEG soutire la chaleur :

$$H_1 - H_x = 50 - 27 = 23 \text{ KJ/Kg}$$

Or l'air présentant une masse volumique de 1,20 Kg/m<sup>3</sup>, nous obtenons donc :

$$23 * 1,2 = 27,6 \text{ KJ /m}^3$$



Etant donné que le débit d'air soufflé est de  $60\,000\text{ m}^3/\text{h}$ , nous avons alors pendant une heure de fonctionnement :

$60\,000 * 27,6 = 1\,656\,000\text{ KJ/h} = 460\text{ KWh/h}$  : l'énergie thermique consommée par le GEG par heure.

Or, en considérant le coefficient de performance du GEG, donné par le constructeur, et qui représente l'énergie thermique générée (ou soutirée) par rapport à l'énergie électrique consommée pour ce travail, nous obtenons:

$$\text{COP} = 4,2 = \text{NRJ}_{\text{thermique}} / \text{NRJ}_{\text{électrique}} \quad \text{d'où : } \text{NRJ}_{\text{électrique}} = \text{NRJ}_{\text{thermique}} / 4,2 = \mathbf{109\text{ Kw}}$$

Ceci étant donc pour le GEG : du point 1 vers le point X. maintenant, pour le postchauffage réalisé à l'aide des batteries positives, la consommation électrique de chaque étage de résistance est de :  $27,5\text{ Kw}$ .

Nous procéderons par la même métho pour connaître la puissance calorifique apportée par les étages. Ceci étant, le coefficient de performance n'est pas donné par le constructeur pour les résistances. Le fonctionnement des étages de ces dernières est asservi au point consigne de soufflage. Lorsque l'air soufflé est trop froid, les étages nécessaires sont activés jusqu'à parvenir au point consigne voulu. Ensuite bien sur, si l'air soufflé est trop chaud, excédant le point consigne, des étages sont désactivés.

### **I.1. Condition d'aspiration de l'air à partir du filtre (recyclage de l'air utilisé dans la production)**

Comme précité, la Centrale de traitement d'air aspire de l'air de deux source : soit l'air externe et la boucle de recyclage, soit l'air du filtre et la boucle de recyclage.

La condition pour que la CTA aspire l'air de l'extérieur ou du filtre est donné par l'humidité et la température externe :

Si l'humidité ou la température de l'air externe est supérieure à 50%,

alors la CTA aspire l'air du filtre,

sinon, elle continue d'aspirer l'air externe.

Il est à signaler que actuellement deux CTA sont installées, chacune composé d'un moteur de  $30\text{ Kw}$  qui souffle l'air dans le local, et de quatre étages de résistance de  $27,5\text{ Kw}$  par étage.

# Psychrometric Chart

SI (metric) units  
 Barometric Pressure 101.325 kPa (Sea level)  
 based on data from  
 Carrier Corporation Cat. No. 794-001, dated 1975

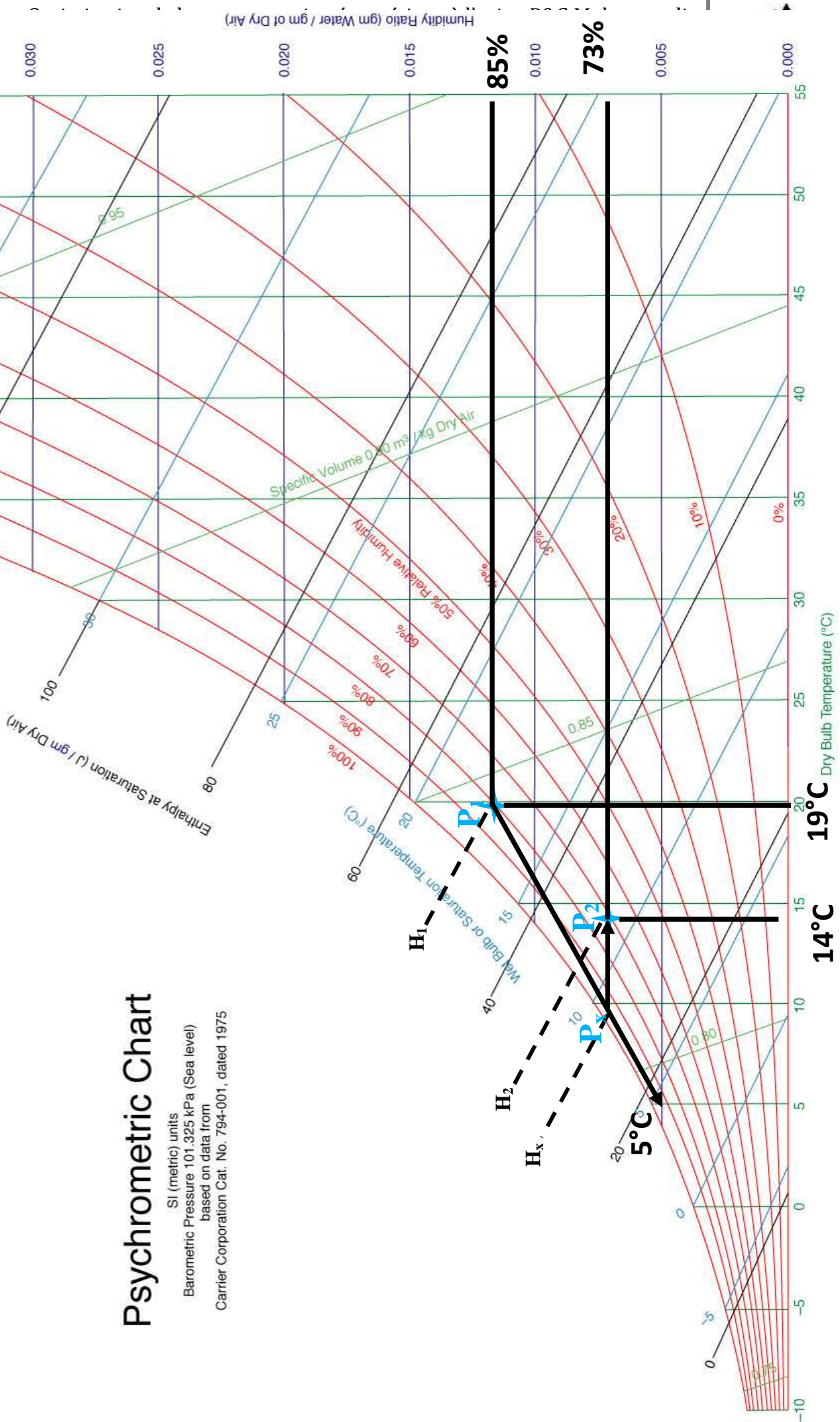
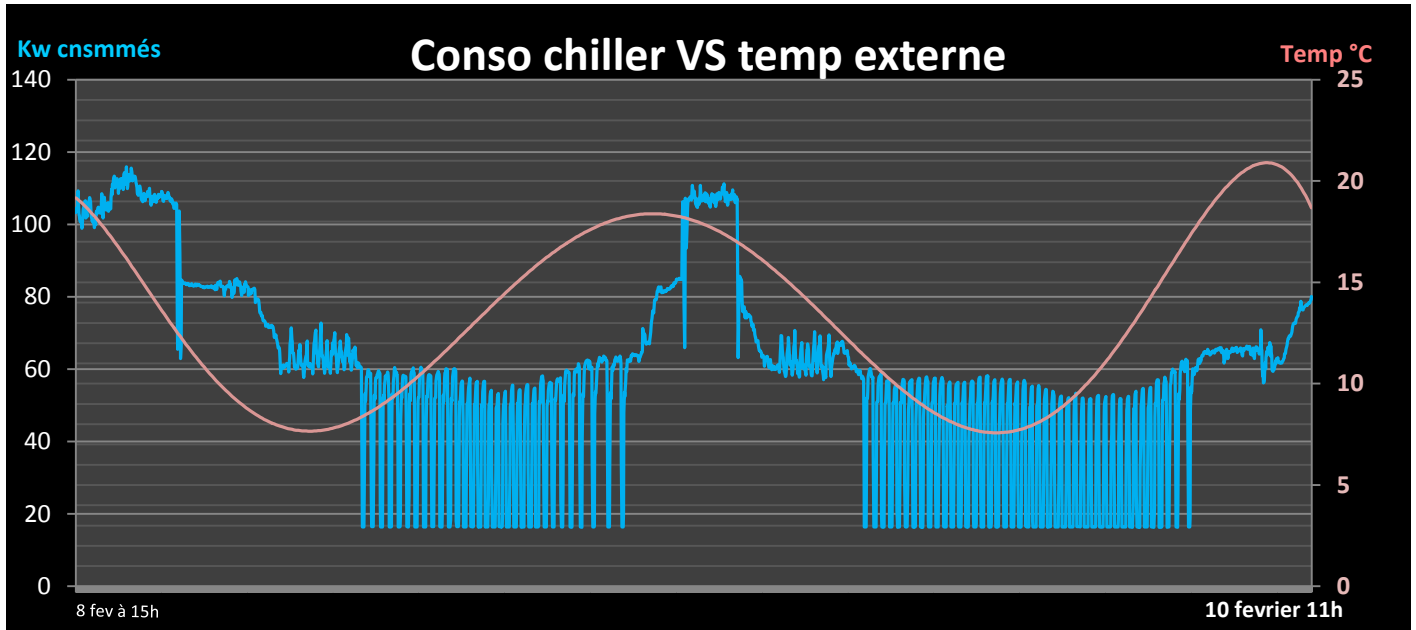


Figure 3 .2 : Fonctionnement actuel reporté sur le diagramme psychrométrique de l'air humide

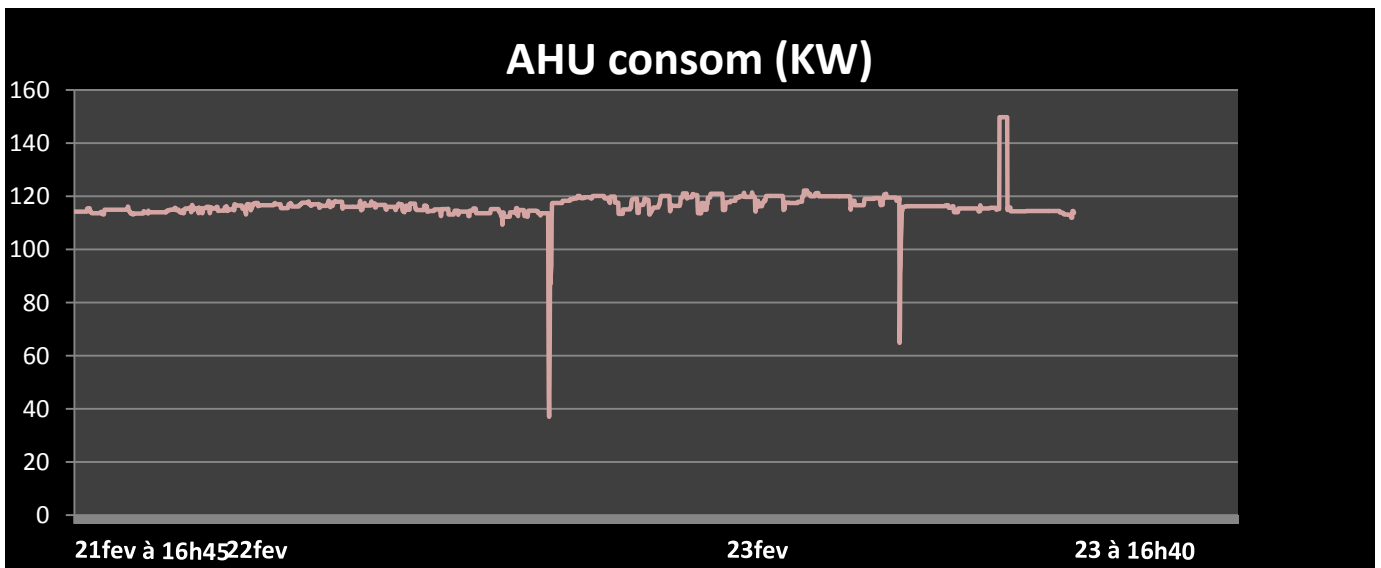


**I.2. Diagramme d'analyseur de la consommation énergétique du GEG et de la CTA :**



**Figure 3.3 : consommation énergétique de GEG face à la variation de la température journalière**

Comme on peut le constater sur le diagramme ci-dessus, la consommation énergétique du GEG (en bleue) est en phase avec l'évolution de la température tout au long de la journée (en rouge). Avec un certain retard, lors de l'augmentation de la température externe, le GEG consomme plus, et vice versa.



**Figure 3.4 : consommation énergétique de la CTA en saison froide (fin de l'hiver)**





Ici, la consommation de la CTA, et des étages de la batterie positive est constante. Le moteur du ventilateur consomme à peu près 30 Kw (donnée du constructeur), et trois étages de résistances sont activées (27,5 Kw pour chacune).

On remarquera que les conditions externes n'influencent pas beaucoup le fonctionnement des étages. Ceci étant un axe sur lequel on interviendra pour optimiser la consommation de cette dernière.

### I.3. Actions d'optimisation

#### I.3.1 Action N°1 :

La première action consiste à remplacer la chaleur générée par les résistances électriques par l'air chaud issu du filtre. En installant des paliers d'ouverture des registres (portes d'accès de l'air) de l'air du filtre à la place du système actuel tout ou rien dépendant d'une condition sur l'humidité et la température, nous pouvons asservir leur ouverture pour réaliser le post chauffage de l'air avant soufflage afin qu'il soit exactement dans le point consigne voulu. Ce sera exactement le même fonctionnement qu'avec les résistances chauffantes, sauf qu'au lieu d'avoir des étages de résistance, nous aurons des étages d'ouverture des registres.

Avec dix paliers d'ouverture des registres, nous aurons une précision d'asservissement du point de soufflage suffisant, où chaque palier apportera 40 000 m<sup>3</sup>/h d'un air de 35 °C et 26% d'Humidité Relative.

Une feuille de calcul fut élaborée, et qui donne les différents débits d'aspiration pour avoir une température et humidité optimales proche ou égales au point consigne. (voir fichier excel « ergo saving » dans le CD joint au rapport).

Par ce fait, nous réaliserons une importante économie calculée comme suit :

$$\text{Saving} = S = (((115-30)/2) + ((220-30)/2)) * 365 * 24 * 0,8 = \mathbf{928\ 560\ Dh}$$

0,8= moyenne du prix du Kwh pour chaque tranche par 24h (en Dh).

24= 24h de la journée.

365= 365 jours de l'année

115= 115Kw consommée par les deux résistances chaudes des deux CTA en saison chaude.

220= 220Kw consommée par les deux résistances chaudes des deux CTA en saison froide.

30= 30kw du moteur ventilateur qui souffle l'air dans le local.

La réduction par rapport à la consommation propre des CTA est de 928 560/1 173 840= **79%**



Soit une réduction de la consommation totale de **14,2%**.

### I.3.2 Action N°2 :

La deuxième action consiste à exploiter les intervalles de température et d'humidité acceptés par le service qualité. Et qui sont **(20-26 °C)** et **(40%-55% HR)**. Le débit de la boucle de recyclage étant constant, l'astuce est de voir « l'image » de cet intervalle dans l'air externe. Le calcul de cette image est comme suit :

#### Etat actuel :

Selon le dimensionnement initial du fournisseur, souffler de l'air à 14°C permet d'avoir 22°C dans le local, idem pour l'humidité où souffler de l'air humide à 73,8% nous permet d'avoir 45% d'humidité relative dans le local de production. D'où notre conclusion sur les apports calorifiques de la ligne en « température » et « humidité » :

$$(14+X)/2=22 \rightarrow X=30^{\circ}\text{C}$$

$$(73,8\%+X)/2=45\% \rightarrow X=16,2\%$$

Les bornes d'intervalle donné par le service qualité sont : 20-26 °C pour la température, et 40-55% pour l'humidité relative. Pour calculer les bornes d'intervalle de soufflage (« l'image » de chaque intervalle), le calcul se fait comme suit :

$$\left. \begin{array}{l} (30+X)/2=20 \rightarrow X=10 \\ (30+X)/2=26 \rightarrow X=22 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Limites supérieures et inférieures} \\ \text{pour la température de soufflage.} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} (16,2\%+X)/2=40\% \rightarrow X=63,8\% \\ (16,2\%+X)/2=55\% \rightarrow X=93,8\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Limites supérieures et inférieures} \\ \text{pour l'humidité de soufflage.} \end{array}$$

Maintenant, pour calculer l'image de ces intervalles dans l'air externe, il sied de considérer la boucle de recyclage dont le débit est fixé à 20 000 m<sup>3</sup>/h.

Ce qui nous donne :

$$\left. \begin{array}{l} ((X*40K)+(26*20K))/60K=10 \rightarrow X=1,7^{\circ}\text{C} \\ ((X*40K)+(26*20K))/60K=22 \rightarrow X=20^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Limites supérieures et inférieures pour} \\ \text{la température de l'air externe.} \end{array}$$

$$((X*40K)+(40\%*20K))/60K=63,8\% \rightarrow X=75,7\%$$

$((X*40K)+(40\%*20K))/60K=93,8\% \rightarrow X=120,7\% > 100\%$  (trop de pluie)  $\rightarrow$  nous considérerons donc comme limite supérieure de température : 100%

$$\left. \begin{array}{l} \text{D'où : } X=75,7\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Limites supérieures et inférieures pour} \\ \text{l'humidité de l'air externe.} \end{array}$$





X=100%

Avec 100% dans l'air externe, nous corrigerons la limite supérieure de l'humidité de soufflage :

$$((100\% * 40K) + (40\% * 20K)) / 60K = 80\%.$$

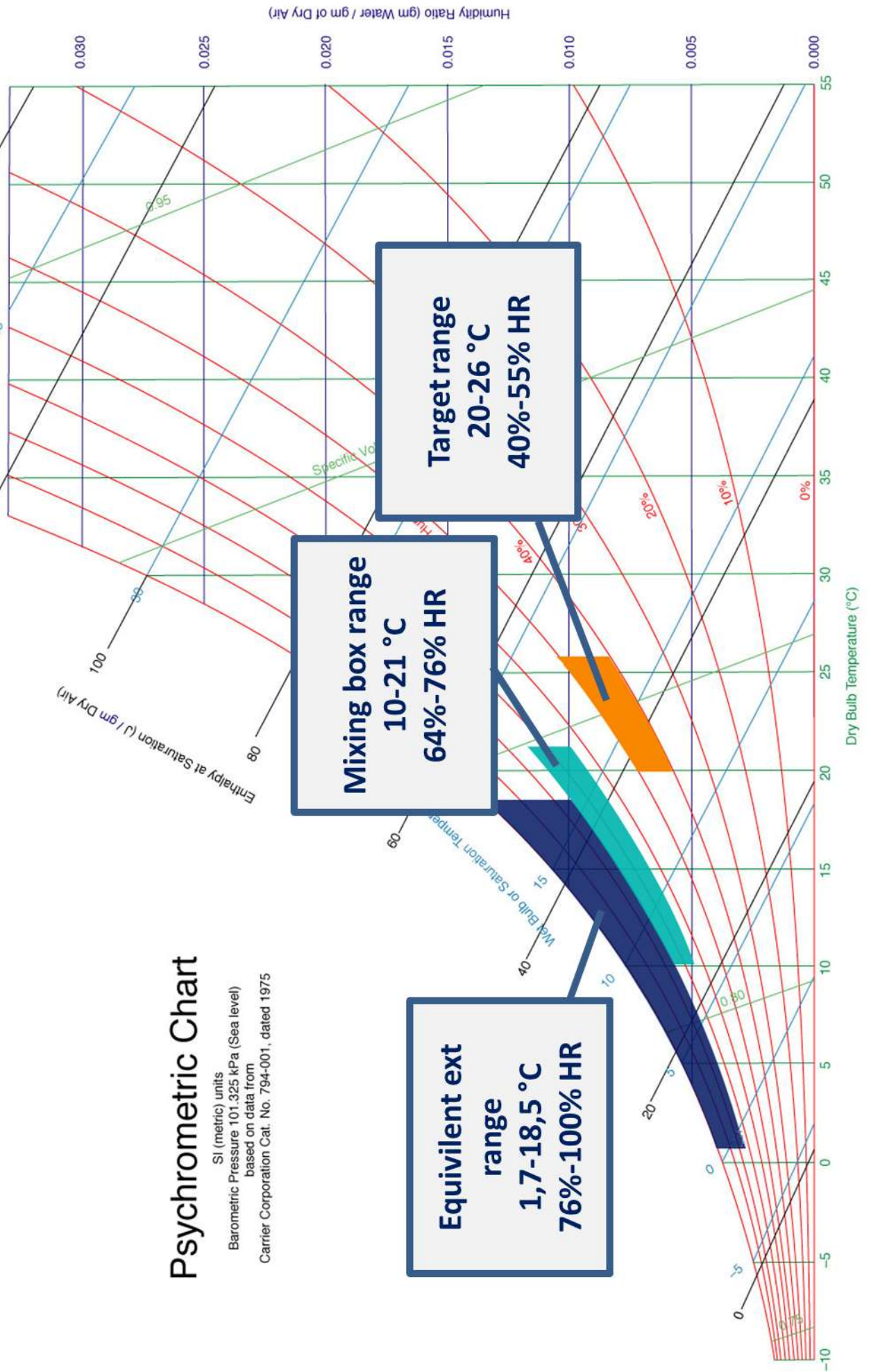
Etant donné que le système est en boucle fermé (la boucle de recyclage étant la boucle de retour), nous diminuerons les valeurs des limites de 5%, et particulièrement celles de l'humidité supérieure de soufflage pour éviter une divergence rapide du système, ou sortie de l'intervalle température et humidité du local interne.

Avec la feuille de calcul Excel utilisé pour l'action 1, nous pourrions « jouer » avec différentes valeurs de l'air externe pour jauger les limites supérieures et inférieures dans le local de production.

Le résultat de ces intervalles est reporté sur le diagramme psychrométrique de l'air humide sur la page qui suit :



Figure 3 .5 : diagramme de l'air humide avec les différent sintervalles reportés





L'astuce de cette optimisation réside dans le fait que tant que les conditions de l'air externe sont dans cet intervalle, nous n'avons besoin ni de réchauffer, ni de refroidir à l'aide d'aucune batterie. Ce qui revient à quasiment se passer de leur fonctionnement durant cette période.

En vue de calculer l'économie exacte suite à cette action, il sied de voir d'abord tout au long de l'année, le comportement de la température et l'humidité externe. En se reportant à l'historique de météo de la ville de Mohammadia. Les relevés se présentent comme suit : Pour chaque saison, la température et l'humidité sont relevés, puis, en moyennant ces valeurs pour chaque heure tout au long de la journée, nous établissons une journée typique pour chaque saison.

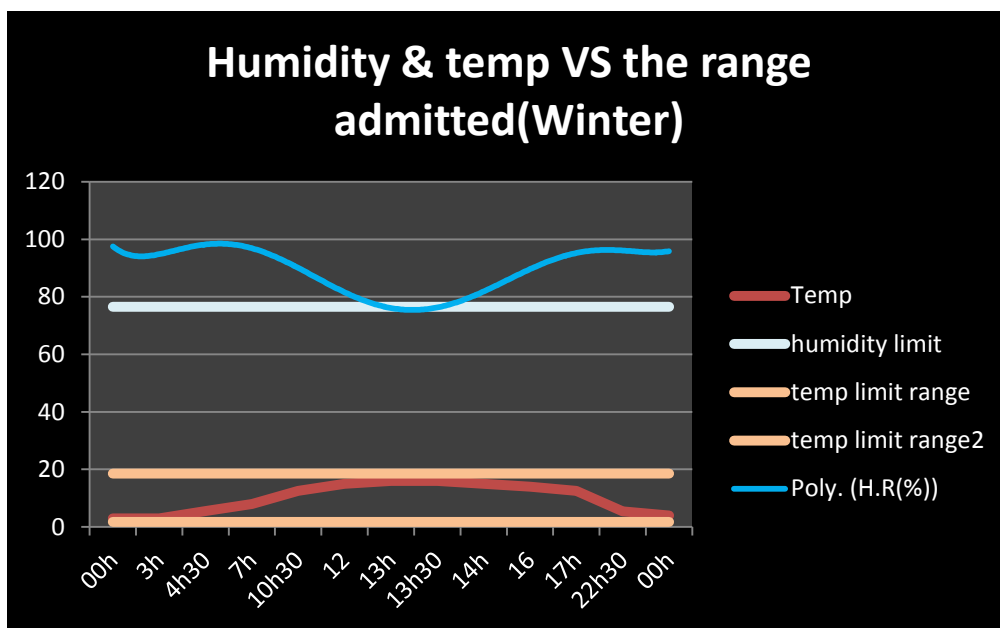


Figure 3.6 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'hiver

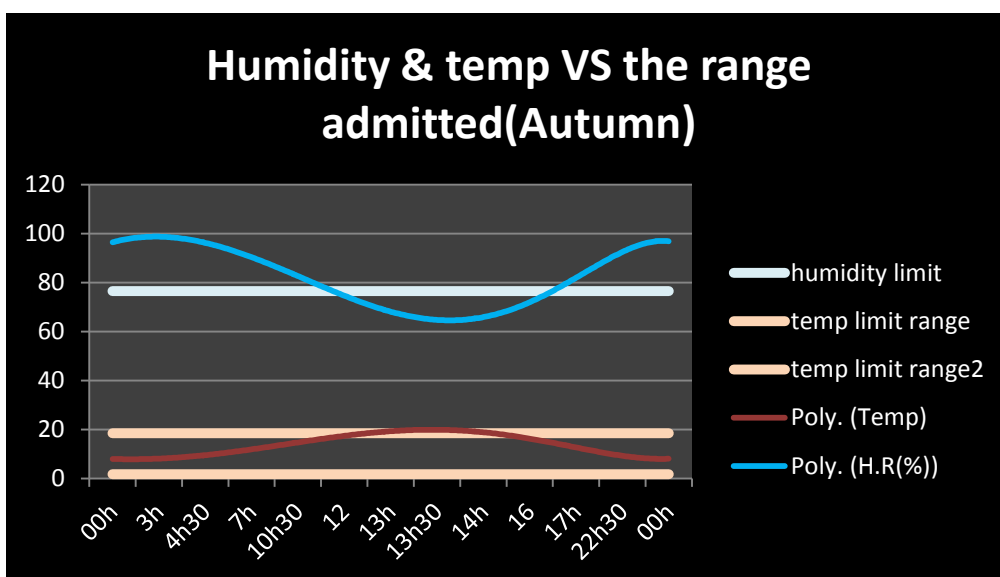


Figure 3.7 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'automne

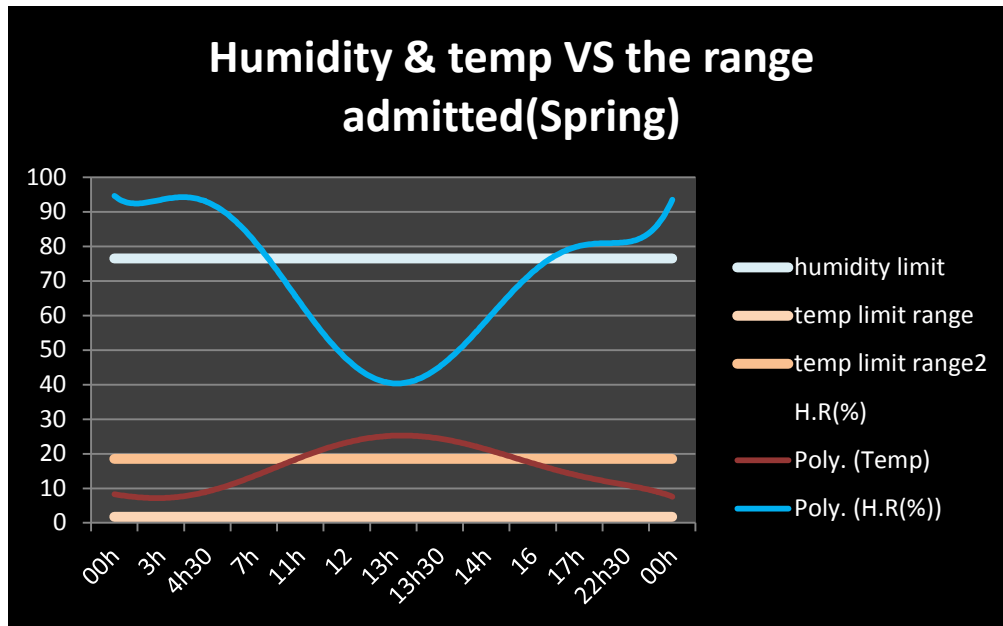


Figure 3.8 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée de printemps

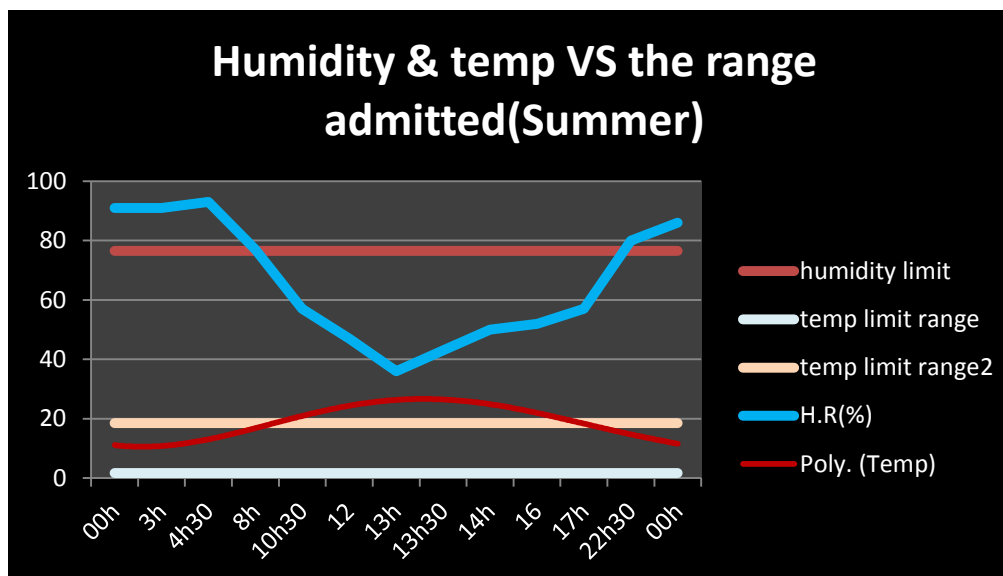


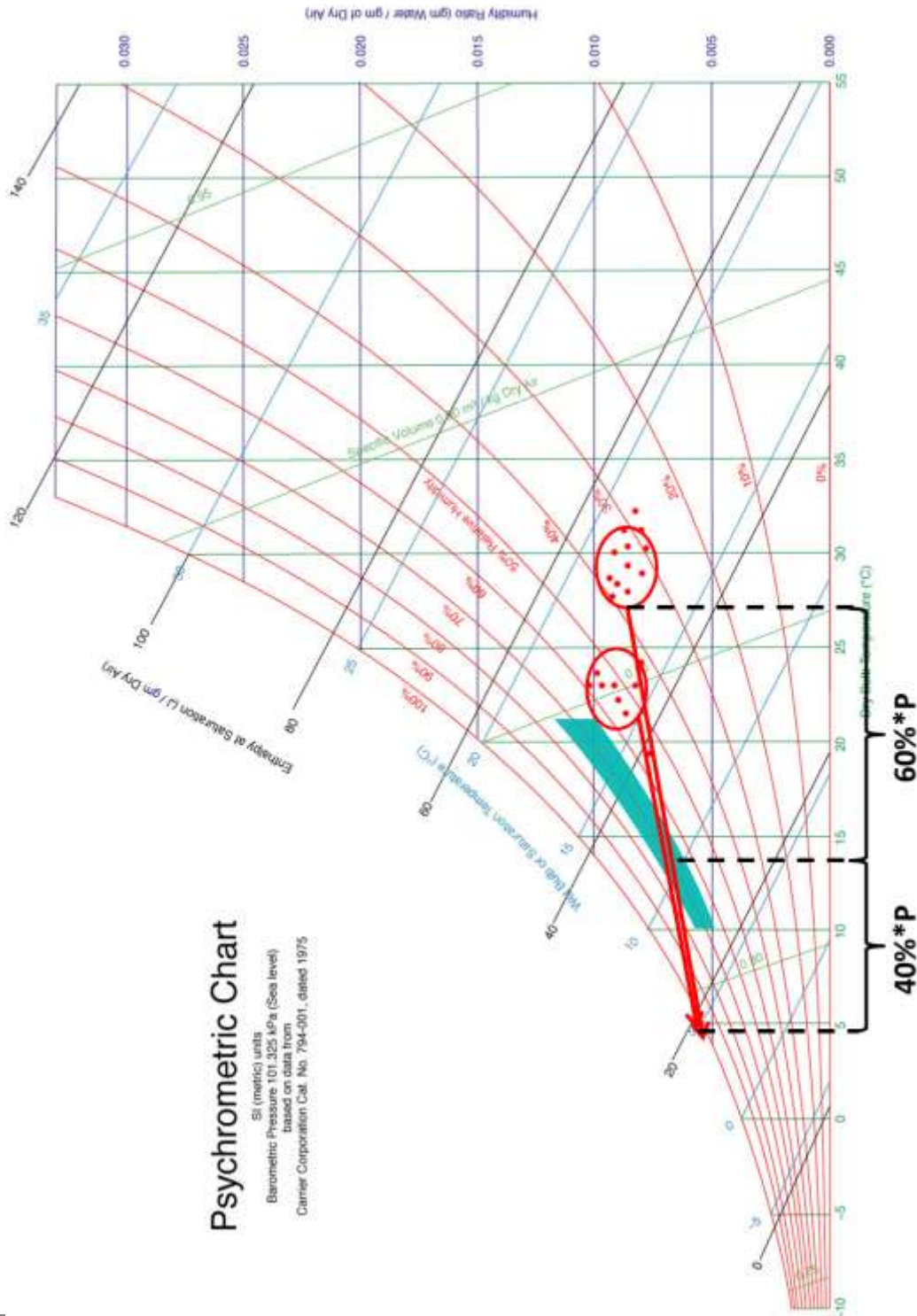
Figure 3.9 : évolution moyenne de la température et l'humidité pendant une journée d'été

De par ces relevés, nous établissons le pourcentage de temps où les conditions externe sont incluses dans l'intervalle voulu dont voici le résultat :

- **Hiver : 98%**
- **Printemps : 68%**
- **Eté : 45%**
- **Automne : 75%**



Ce qui fait que, en moyenne, tout au long de l'année, nous sommes à **72%** du temps dans l'intervalle, et donc idéalement nous économiserons **72%** de la consommation annuelle du GEG et des batteries chaudes de la CTA. Ceci n'est pas seulement tout. En observant les points qui sont hors de la zone « verte », il n'est désormais plus besoin de les ramener jusqu'au point (5°C, 100% HR) de l'eau glacée du GEG, et donc nous n'avons plus besoin d'un échange thermique aussi important avec l'eau froide, ce qui nous mène en conclusion à une consommation électrique diminuée de 40%. Graphiquement, nous pouvons observer cette optimisation de par la longueur du vecteur sur le diagramme psychrométrique :





En considérant cette optimisation, le nouveau taux d'économie devient  
 $\{(100\%-72\%)*40\} + 72\% = \mathbf{83,2\%}$ .

$$\text{Saving} = S = ((80/2) + (200/2)) * 365 * 24 * 0,8 * 83,2\% = \mathbf{816\ 291\ Dh}$$

0,8= moyenne du prix du Kwh pour chaque tranche par 24h (en Dh).

24= 24h de la journée.

365= 365 jours de l'année

80= 80Kw consommée par le GEG en saison froide.

200= 200Kw consommée par le GEG en saison chaude.

Pour le saving au niveau des batteries chaudes :

$$\text{Saving} = S = (((115-30)/2) + ((220-30)/2)) * 365 * 24 * 0,8 * 72\% = \mathbf{801\ 715\ Dh\ 693\ 791\ Dh}$$

0,8= moyenne du prix du Kwh pour chaque tranche par 24h (en Dh).

24= 24h de la journée.

365= 365 jours de l'année

115= 115Kw consommée par les deux résistances chaudes des deux CTA en saison chaude.

220= 220Kw consommée par les deux résistances chaudes des deux CTA en saison froide.

30= 30kw du moteur ventilateur qui souffle l'air dans le local

Ce qui nous fait que pour ces actions une économie totale de

$$\mathbf{801\ 715 + 816\ 291 = 1\ 510\ 082\ dh}$$

$$\mathbf{\text{Cad une réduction de : } 1\ 510\ 082 / (1\ 173\ 840 + 981\ 120) = 70\%}$$

Soit une réduction de la consommation totale de l'usine de  $70\% * 29\% = \mathbf{20,3\%}$

**Si l'on combine cette action à la précédente, on aura :**

$$\mathbf{816\ 291 + 928\ 560 = 1\ 744\ 851\ Dh}$$

**Soit une réduction de**

$$\mathbf{1\ 744\ 851 / (1\ 173\ 840 + 981\ 120) = 81\%}$$

Et réduction de la consommation totale de l'usine de  $81\% * 29\% = \mathbf{23,4\%}$





### I.3.3 Action N°3 :

La troisième action consiste à tout simplement augmenter la température de l'eau glacé générée par le GEG de 5°C à 9°C ceci engendrera un saving au niveau du GEG, qui, donné par le constructeur (voir annexes), sera **7,4%**.

Chiffrée, l'économie par an sera de :

$$\text{Saving}=S= ((80/2)+(200/2))*365*24*0,8*7,4\%= \mathbf{72602,88 \text{ Dh}}$$

0,8= moyenne du prix du Kwh pour chaque tranche par 24h (en Dh).

24= 24h de la journée.

365= 365 jours de l'année

80= 80Kw consommée par le GEG en saison froide.

200= 200Kw consommée par le GEG en saison chaude.

Si nous cumulons cette optimisation aux autres, le résultat est comme suit :

$$\{(100\%-81\%)*7,4\% \} +81\%= \mathbf{82,4\%}$$

Le nouveau taux d'économie est de **1,4%**. Cad

$$\text{Saving}=S= ((80/2)+(200/2))*365*24*0,8*1,3\%= \mathbf{13 \ 735 \text{ Dh}}$$

**Soit une réduction de la consommation totale de 23.9 %**

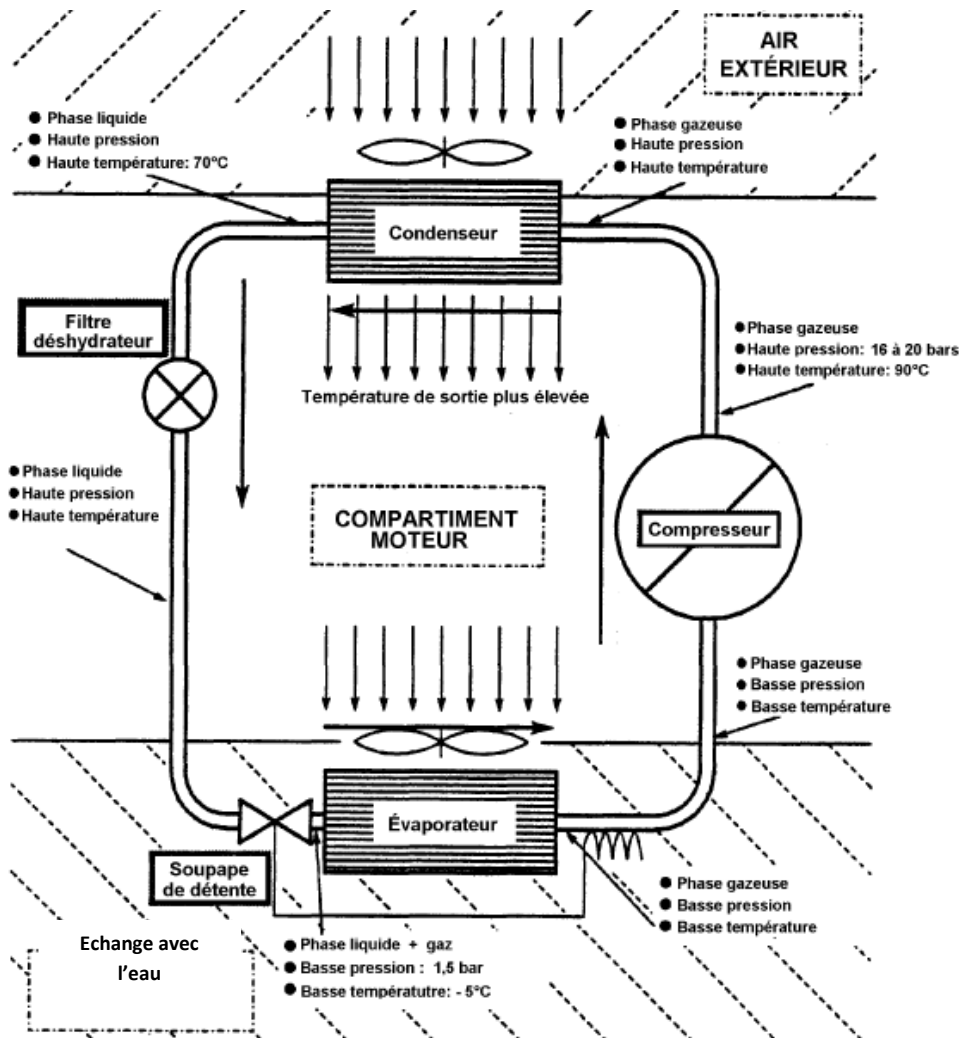
### I.3.4 Action N°4 :

Le système interne du GEG est comme les climatiseurs domestiques à quelque différence près qui sont la taille et la capacité de refroidissement.





Le système interne de refroidissement se présente comme suit:



Comme nous pouvons le voir sur le schéma ci-dessus, le GEG est composé de :

- un évaporateur : échangeur qui refroidit l'eau chaude issue de la batterie chaude de la CTA.
- Un compresseur qui comprime le gaz chaud (liquide frigorigère évaporé) R134 A.
- Un condenseur qui liquéfie le gaz comprimé
- Un filtre déshydrateur
- Une soupape de détente qui provoque une détente importante, et donc le refroidissement brusque du liquide à haute pression.

Le condenseur est composé d'un échangeur, et d'un ventilateur qui provoquent l'échange thermique entre l'air externe et le gaz comprimé afin de le liquéfier à haute pression. L'efficacité de cet échange dépend donc de l'échangeur, et de la température externe.

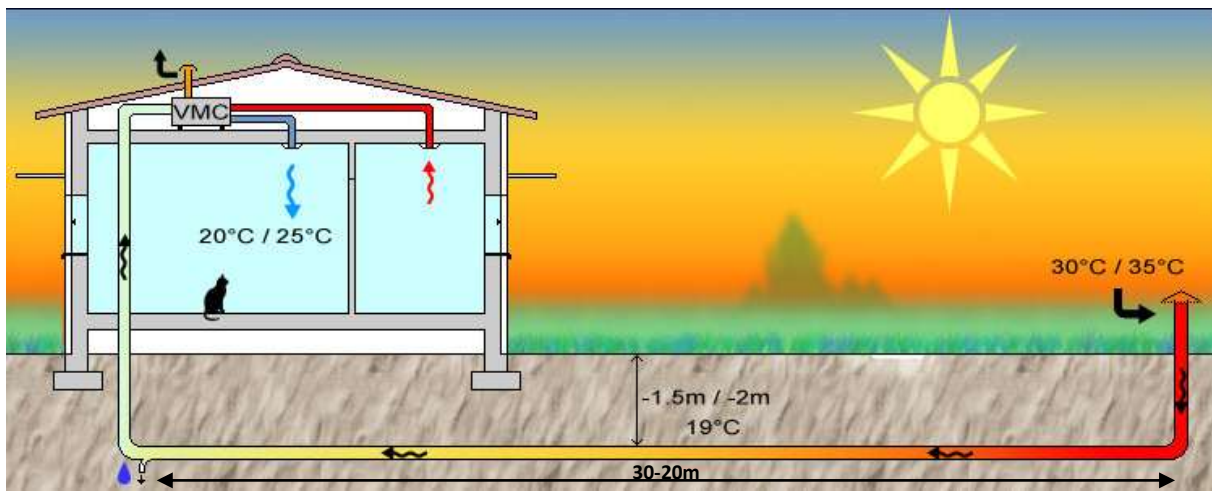




Donnée par le constructeur, la consommation électrique du GEG diminue en fonction de la température de l'air injecté au niveau du condenseur. Pour 10°C de moins, la puissance appelée est réduite de **14%**.

Le problème réside donc dans comment injecter de l'air plus frais dans le condenseur.

Pour ce faire, la solution proposée est d'utiliser une pompe géothermique qui, en période chaude, pompera l'air externe, puis, à travers l'échange thermique qui sévit dans le sol, l'air sera refroidi avant d'être finalement aspiré par le ventilateur du condenseur. Le principe est illustré sur la figure qui suit.



Ici, au lieu de souffler l'air frais dans le local, on le soufflera dans la bouche du ventilateur du condenseur, et c'est le ventilateur toujours qui joue le rôle de la VMC.

Cumulée avec les actions précédentes, le saving total est de :

$$\{(100\% - 84,5\%) * 14\%\} + 84\% = \mathbf{86,7\%}.$$

Cette action requiert un investissement de l'ordre de **50 000 Dh**.

Ce que nous recouvrerons est 2,2% de la consommation du GEG, si l'action est réalisée avec les autres, sinon ce sera 14% que l'on recouvrera si l'action est réalisée toute seule. On éliminera ce dernier cas de figure car il est de loin préférable d'appliquer les autres actions qui ne nécessitent presque aucun investissement et dont le bénéfice est très important.

En considérant la consommation du GEG qui est de 80 Kw par saison froide, 200 Kw par saison chaude, et les 2,2% de saving de sa consommation, l'économie se chiffrera en une année par :

$$\text{Saving} = S = ((80/2) + (200/2)) * 365 * 24 * 0,8 * 2,2\% = \mathbf{21584,64 \text{ Dh}}$$

Cad que la consommation totale sera réduite de  $2,2\% * 11\% = \mathbf{0,24\%}$

0,8 = moyenne du prix du Kwh pour chaque tranche par 24h (en Dh).



24= 24h de la journée.

365= 365 jours de l'année

80= 80Kw consommée par le GEG en saison froide.

200= 200Kw consommée par le GEG en saison chaude.

Ce qui veut dire que nous aurons recouvert notre investissement après :

$50\,000/21584 = 2,3$  années.

Cela dit, selon les conditions internes de P&G, les critères d'éligibilité de tout projet de saving d'énergie sont très contraignants, où il faut recouvrer l'investissement au cours de la même année, et avoir des gains en plus. Ce qui fait que, à moins que le projet soit gratuit ou de cout d'investissement très bas, il est très difficile de concéder un investissement dans ce sens.

Action	Saving	Total 1	Total
Remplacement des batteries chaudes par l'air du filtre étagé	<b>928 560</b>	<b>928 560</b>	<b>1 775 687</b>
Utiliser l'intervalle de temp. et humid.	<b>1 510 082</b>	<b>1 523 817</b>	
Augmentation de la température d'eau glacée 5-9°C	<b>13 735</b>		



---

## Chapitre IV :

# Optimisation des compresseurs d'air



## IV.1. Présentation du parc

L'air comprimé est un élément nécessaire très utilisé dans le process de production de la ligne. Souvent pour mettre en mouvement des vérins, pour souffler de l'air comprimé pour le nettoyage ou encore pour créer du Vacuum (vide ou dépression) en utilisant des vérins toujours, l'alimentation en air comprimé est assurée par des compresseurs d'air situé dans la zone offline (voir schéma figure 1.3).

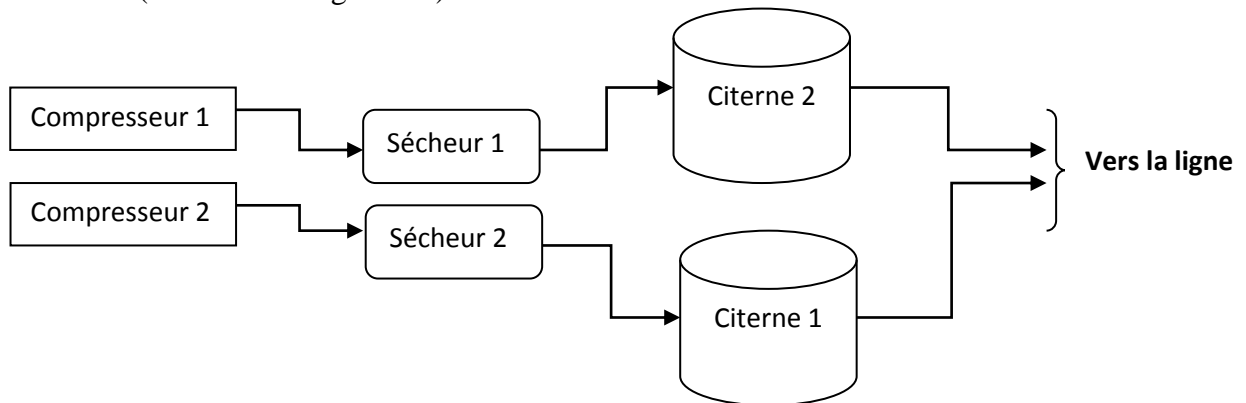
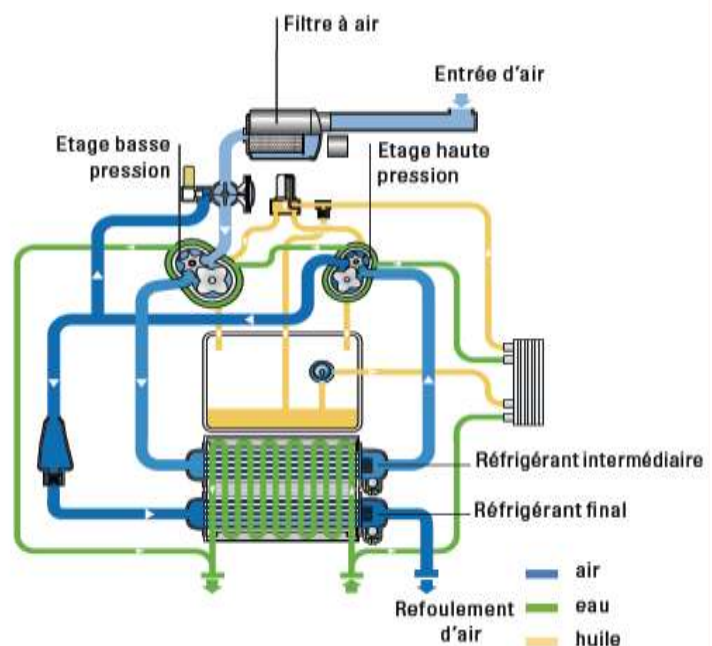


Figure 4 .1 : plan de la centrale d'air comprimé

La centrale d'air comprimé fonctionne comme suit :

Les compresseurs aspirent l'air externe, puis, de par les moteurs électriques qui sont connectés aux vices sans fins, ces dernières entrent en rotation pour comprimer l'air dans un premier étage basse pression. Ensuite, l'air est canalisé dans un refroidisseur où l'échange se fait avec l'air externe. Ensuite, l'air comprimé est dirigé vers un autre étage haute pression avant d'être finalement soufflé vers les sécheurs où il sera refroidi à 7-9 °C et au même temps déshumidifié. Enfin cet air est injecté dans les citernes 1 et 2 qui agissent comme tampon en vue d'alimenter la ligne de production en air comprimé à pression variant entre 7,5 et 6,5 bars.

Figure 4 .2 : Schéma éclaté du compresseur en fonctionnement : ATLAS copco ZT110





En vue de garder la pression des citernes dans cet intervalle de pression, les compresseurs sont programmés pour marcher à vide et en charge, cad : lorsque la pression dans les citernes atteint 6,5 bars, les compresseurs soufflent l'air comprimé dans ces dernières jusqu'à ce que la pression y atteigne 7,5 bars (phase fonctionnement en charge). Une fois cette valeur atteinte, les compresseurs soufflent l'air comprimé vers l'extérieur, et non vers les citernes (phase de fonctionnement à vide). Ceci permet une économie énergétique au niveau des moteurs qui tournent « à vide » car le couple résistant devient quasi nul (la force de pression disparaît). Une fois que la ligne de production consomme de l'air comprimé, la pression dans les citernes recommence à baisser, jusqu'à atteindre 6,5 bars, et les compresseurs recommencent à souffler de nouveau dans les citernes.

Le cycle de charge et décharge se présente comme suit :

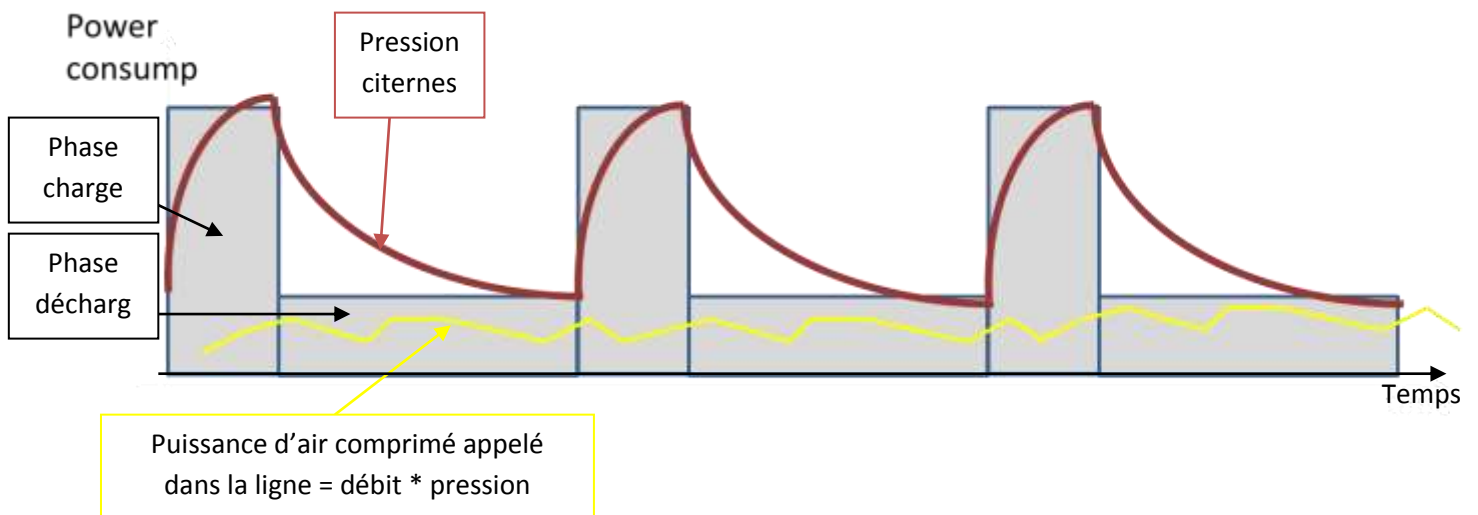


Figure 4 .3 : cycle de charge et décharge des compresseurs

### IV.2.1. Action d'optimisation

#### IV.2. 1. Action N°1

Comme nous pouvons le constater sur la figure 4.3, la puissance utile qui est consommée est celle que nous retrouvons pendant la phase de charge, là où les citernes sont remplies. La phase de décharge, ou de fonctionnement à vide, est considérée comme une simple perte, mais qui reste nécessaire puisque nous ne pouvons ni arrêter ni réduire la vitesse de rotation des moteurs.

Le principe du Variateur de vitesse (VSD) consiste à éliminer ces fonctionnements à vide, et « étaler » le fonctionnement en charge uniformément sur tout le temps.



Nous économiserons par ce fait exactement l'énergie consommée à vide, avec un impact direct sur la qualité d'alimentation en air comprimé qui en sera améliorée à travers une pression desservie moins fluctuante et plus constante. Ce dernier paramètre est difficile à quantifier, c'est pour cela que nous nous contenterons de la détermination de la valeur exacte du temps de fonctionnement à vide, ainsi que la consommation existante à ce moment. figure 4.4

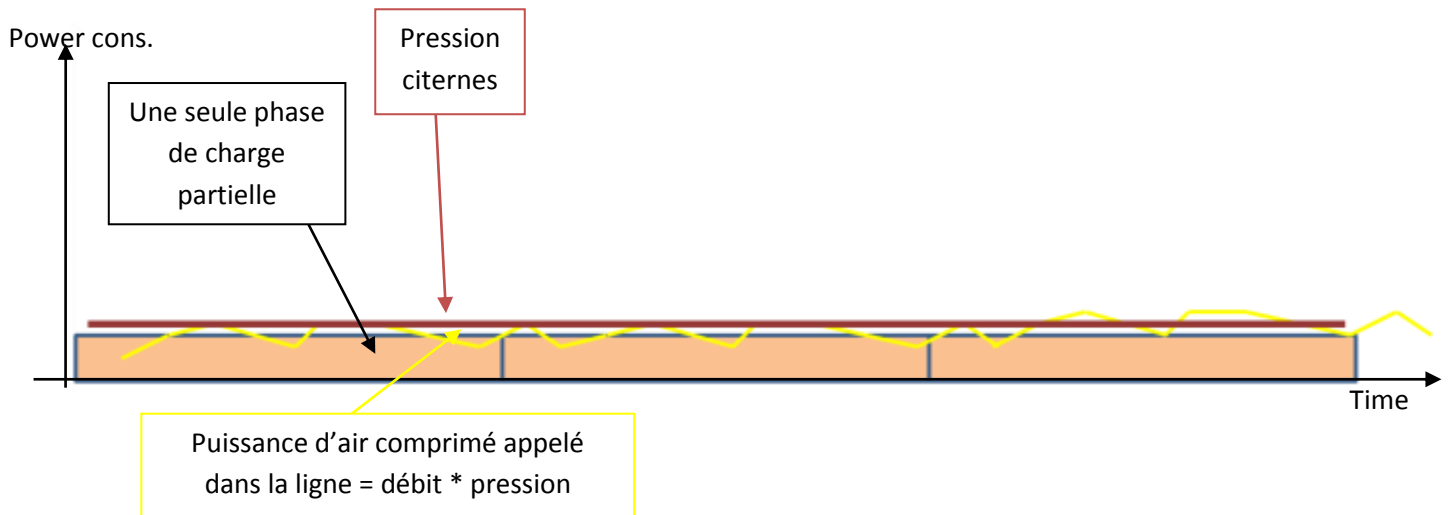
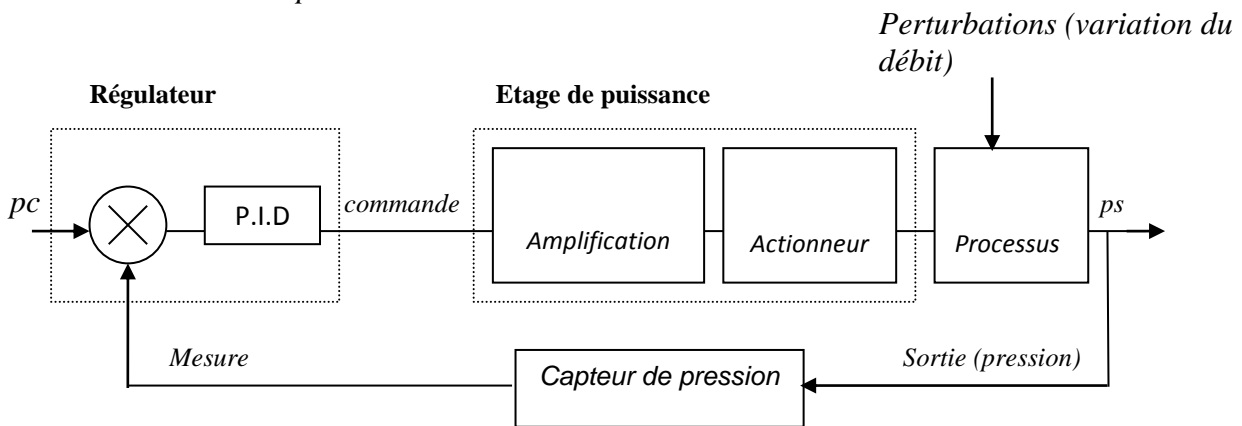


Figure 4 .4 : Fonctionnement avec VSD

Consigne de pression =  $p_c = 7,5\text{bars}$

Pression en sortie =  $p_s$



Le système de régulation ainsi que le type de commande utilisée pour le variateur de vitesse est une information confidentielle chez le fournisseur ATLAS COPCO.

La figure ci-dessus est une proposition personnelle des éléments de la chaîne d'asservissement.

Nous choisirons un PID car c'est le correcteur qui permet de corriger la déviation de la consigne tout en ayant le meilleur compromis entre le retour rapide, stable et précis vers la



consigne. Le PID, recevra les informations échantillonnées de la sortie, puis effectuera les calculs de la fonction de transfert à travers un microcontrôleur avant de générer le signal de commande qui servira pour commander la fréquence délivrée par variateur de vitesse.

Concernant l'installation du VSD, il est à noter que dans le cadre du projet de la deuxième ligne de production, P&G compte se procurer un troisième compresseur ZT 132 afin de consolider son parc, et de réduire le risque de toute rupture d'alimentation en air comprimé. Pour l'installation du VSD, la meilleure option réside dans le fait de l'installer sur ce troisième car l'installer sur les deux premiers demandera des frais d'installation extrêmement onéreux, et une efficacité amoindrie car initialement, ils ne sont pas dimensionnés pour un tel fonctionnement.

Aussi, nous établirons la séquence optimale de combinaison du fonctionnement des compresseurs en vue de distribuer le temps de travail de chacun et donc ne pas trop solliciter un compresseur au détriment d'un autre.

NC	New comp	Scénario de combinaison des comp	
OC1	Old cmp1	OC1	NC
OC2	Old cmp2	OC2	NC
		OC1	OC2
		OC2	NC
		OC1	NC
		OC2	OC1

Pour chaque phase, le compresseur à gauche est le compresseur master (principal) qui marchera constamment ; dans la même phase, le compresseur à droite est un appoint qui marchera en charge et à vide afin de compléter le besoin en air comprimé pour les deux lignes de production.

Les phases 1 et 1s seront traitées de la même façon lors des calculs, de même pour les phases 2 et 2s.

Le débit dont les deux lignes de production ont besoin est : 344 L/s.

Le débit des anciens compresseurs (ZT 110) est : 260 L/s.

Le débit du nouveau compresseur est de : 306 L/s.

La pression de fonctionnement moyenne est de 7 bars, (intervalle admissible : 6,5-7,5 bar).

La puissance lors de la phase en charge des anciens compresseurs ZT 110 : 105 Kw.

La puissance lors de la phase à vide des anciens compresseurs ZT 110 : 34,5 Kw.



La puissance lors de la phase en charge du nouveau compresseur ZT 132 : 122,5 Kw.

La puissance lors de la phase à vide du nouveau compresseur ZT 132 : 30,1 Kw.

Le temps de charge en runtime pour les anciens compresseurs (phase OC+OC) : 32%

Le temps de décharge en runtime pour les anciens compresseurs (phase OC+OC) : 68%

Le temps de charge en runtime pour un ancien compresseur et un nouveau (phase NC+OC) : 27%

Le temps de décharge en runtime pour un ancien compresseur et un nouveau (phase NC+OC) : 73%

Le temps de charge en downtime moyen pour toute les phases (OC+OC et OC+NC) : 18%

Le temps de décharge en downtime moyen pour toute les phases (OC+OC et OC+NC) : 82%.

Le calcul de l'énergie économisée pendant une année de runtime se fait comme suit :

Phase 1 et 1s :

$$\text{Puissance} = 105 + (((344 - 260) / 306) * 122,4) + (30,1 * 0,73) = \mathbf{160.6 \text{ Kw}}$$

LE prix de l'énergie électrique consommée dans cette phase tout au long d'une année est de :

$$\text{Energ(cout)}_{1\&1s} = P * 24 * 0,8 * 365 = \mathbf{1\ 124\ 679 \text{ Dh}}$$

0,8: prix moyen du Kwh sur les trois tranches horaire

24 : 24 heures par jour

Phase 2 et 2s :

$$P = 105 + (0,32 * 105) + (0,68 * 34,5) = 162,277 \text{ Kw}$$

$$\text{Energ(cout)}_{2\&2s} = P * 24 * 0,8 * 365 = \mathbf{1\ 136\ 614 \text{ Dh.}}$$

Etant donné que la phase OC+ NC survient 66% su temps, et la phase NC+ NC survient 33% du temps de fonctionnement total, le cout énergétique exacte est de :

$$\{ (\text{Energ(cout)}_{1\&1s}) * 66\% \} + \{ (\text{Energ(cout)}_{2\&2s}) * 33\% \} = \mathbf{1\ 128\ 657 \text{ Dh}}$$

Une fois le VSD installé sur le nouveau compresseur, la nouvelle consommation de ce dernier sera juste ce qu'il faut pour l'appoint. Il n'y aura aucun fonctionnement à vide. Le calcul de la nouvelle puissance est comme suit :





Phase 1 et 1s

$$P=105+(((344- 260)/ 306)* 122,4)= \mathbf{138,6 \text{ kw}}$$

$$\text{Energ(cout)}_{1\&1s}= P*24*0,8*365=\mathbf{970 \text{ 776,6 Dh}}$$

Phase 2 et 2S

$$P=105+(0,32*105)+(0,68*34,5)= \mathbf{162,277 \text{ Kw}}$$

$$\text{Energ(cout)}_{2\&2s}= P*24*0,8*365= \mathbf{1 \text{ 136 \text{ 614 Dh.}}}$$

Etant donné que la phase OC+ NC survient 66% du temps, et la phase NC+ NC survient 33% du temps de fonctionnement total, le cout énergétique exacte est de :

$$\{(\text{Energ(cout)}_{1\&1s})*66\% \} + \{(\text{Energ(cout)}_{2\&2s})*33\% \} = \mathbf{1 \text{ 015 \text{ 795 Dh}}}$$

Ce qui nous fait un saving exacte de

$$S=\text{saving}=1 \text{ 128 \text{ 657}} - 1 \text{ 015 \text{ 795}} = \mathbf{112 \text{ 862 Dh}}$$

Il est à noter que tout ce calcul a été effectué pour un état de runtime 100%, cad que la ligne est en production à 100% du temps.

Par contre, il est des périodes de downtime, cad, des périodes où la ligne est en arrêt de production pour une raison qui peut être planifiée ou imprévue. Le taux des downtimes s'élève à 15%. Celui des runtimes à 85%.

Lors des downtimes, le besoin des lignes de production est différent. Le temps de charge devient moins important.

Le calcul pour la nouveau saving que nous aurons pendant les downtimes est comme suit :

$$S=\text{saving}=(\mathbf{34,5*82/100})*24*365*0,8=\mathbf{199 \text{ 107dh}}$$

En considérant les runtimes de 85%, et les downtimes de 15%, notre saving final est de :

$$(\mathbf{199 \text{ 107*15\%}})+(\mathbf{112 \text{ 862*85\%}})=\mathbf{125 \text{ 798 Dh}}$$

La différence de rpix entre un compresseur équipé d'un VSD, et un compresseur qui ne l'est pas est de 305 000 Dh.

Si nous considérons cette même somme en tant qu'investissement pour le VSD, cela alors le recouvrement se fera après :

$$\mathbf{305 \text{ 000}/125 \text{ 800}= 2,4 \text{ années.}}$$

Le détail de ces calculs fut effectué sur la feuille excel « air comprimé » ci jointe au rapport.

Mais encore, la valeur actualisée net et le temps de recouvrement sont bien en de ça des conditions minimales que doit remplir un projet de l'énergie saving pour être validé.



Ce qui nous fait une réduction de  $125798 / 1128657 = 11\%$

Cad **1,5%** de la consommation totale de l'usine.

#### IV.2. 2. Action N°2

L'action est très simple, et consiste à éliminer les fuites au niveau des canalisations de desserte de l'air comprimé. Pour ce faire, il fallût bien sur mesurer exactement les pertes pour voir si perte il y a, et à combien elles s'élèvent.

L'astuce utilisée à cet effet est de chronométrer les temps de fonctionnement en charge et en décharge des compresseurs lors d'un arrêt total de production (shut down) et multiplier cela par le débit nominal du compresseur pour connaître la valeur du débit de fuite.

A cet effet, nous avons

- Temps de charge : 22,8 s
- Temps de décharge : 160 s
- Débit nominal du compresseur : 260 L/s

$$\text{Débit}_{\text{fuite}} = (T_{\text{charge}} * \text{Debit}_{\text{nominal}}) / (T_{\text{charge}} + T_{\text{décharge}}) = \mathbf{32,4L/s}$$

$$\text{Débit}_{\text{fuite}} / \text{Debit}_{\text{nominal}} = \mathbf{12\%}$$

Cad qu'en réalité 12% de ce que nous consommons est gaspillé purement au niveau des fuites. Nous pouvons donc considérer que sur 24h de production,  $12\% * 24h$  est gaspillée.

Sur une journée de production de 24h ; 1,8 heures sont des arrêts de production programmé. Ce qui constitue **7,5%** de 24heures.

Normalement, s'il n'y avait pas de fuites, il n'y aurait aucune consommation au niveau des compresseurs pendant ces 7,5%. Ce qui nous fait par superposition  $7,5\% + 12\% = \mathbf{19,5\%}$  de taux d'économie.

Financièrement parlant, cette optimisation se chiffrera par : (le cou de consommation totale pour une année étant déjà calculé dans l'action précédente)

$$S = \text{saving} = 1\,128\,657 * 19\% = \mathbf{214\,444\,Dh}$$

Ce qui nous fait une réduction de consommation de la facture totale de  $19,5\% * 13\% = \mathbf{2,5\%}$



### IV.2. 3. Action N°3

Lors de la compression de l'air, en supposant qu'il ne subit aucun échauffement, ce dernier suit une courbe isotherme de compression (trajectoire B-C sur la figure 4.5). L'énergie alors consommée se calcule comme suit :

Energie =  $\Delta$ Puissance \* temps de fonctionnement.

$\Delta$ Puissance =  $\Delta$ Pression \* vitesse.

$$= (P_{\text{entrée}} - P_{\text{sortie}}) * \text{débit} / S_{\text{section}}$$

$$= (P_{\text{entrée}} - P_{\text{sortie}}) * \text{Volume} / (\text{temps} * S_{\text{section}})$$

Ainsi, sur le diagramme  $P=f(V)$  nous pouvons voir l'énergie consommée comme étant la surface entre la trajectoire de compression et les points P1 P0 et B.

Ceci étant dit, pendant la compression, l'air subit un réchauffement, et donc passe d'une isotherme à une autre. Le volume augmente suite à la dilation et l'énergie consommée devient plus importante. Pour minimiser cet effet le maximum possible, lors de la conception du compresseur, ce dernier fut réalisé avec deux étage de compression. la compression se fait alors en deux phases, la première de basse pression, une phase intermédiaire de refroidissement à travers un circuit de refroidissement, ensuite un étage de haute pression. Par ce fait, nous économisons beaucoup au niveau de l'énergie consommée comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous.

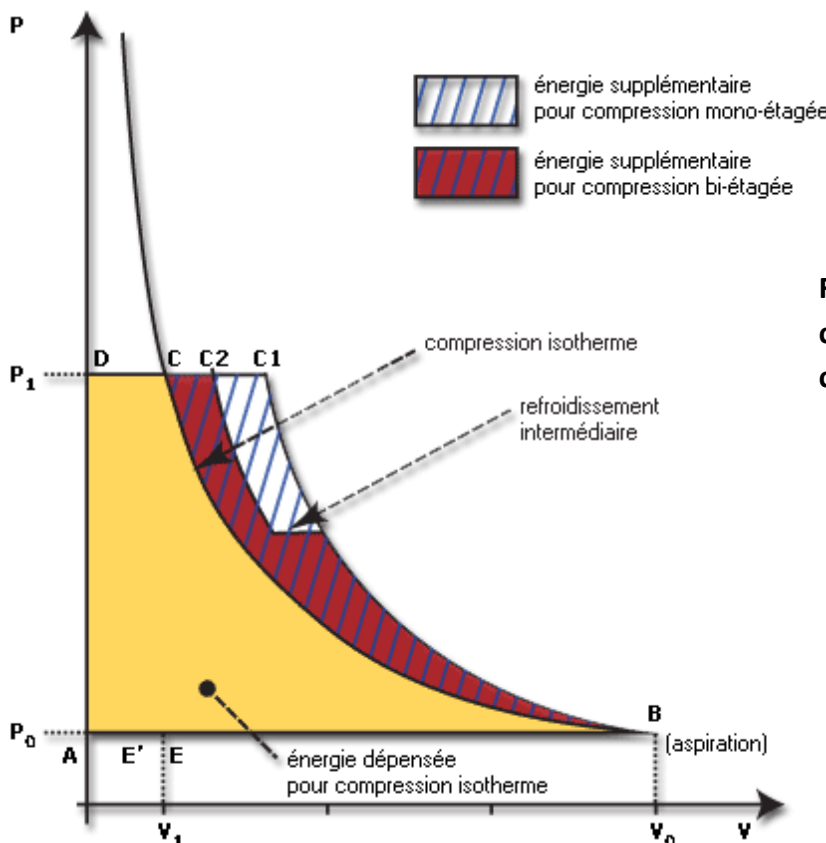


Figure 4.5 : isothermes de compression et étage de compression



L'astuce utilisée pour cette action d'optimisation est d'injecter de l'air plus frais à l'aspiration et dans le circuit de refroidissement. L'air frais sera issu de la pompe géothermique utilisée pour l'optimisation du condenseur du GEG. Elle n'aura donc effet que pendant la saison chaude.

Concernant la note de calcul pour chaque étage et la pression qui y est atteinte, nous essaierons de contourner cette donnée car on ne pût l'avoir de par le fournisseur.

Nous utiliserons la formule qui suit :

$$W_{C1} = W_{C2} * (1 + [0,00341 * (T_1 - T_2)])$$

$W_{Ci}$  = puissance électrique avant et après.

$T_i$  = température d'aspiration avant et après

Pour  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$(1 + [0,00341 * (T_1 - T_2)]) = 1,03.$$

Puisqu'il ne s'agit que d'une réduction qui se produira pendant la saison chaude ; idéalement, cette économie sera divisé en deux.

$$\text{Cad } 1,015 \rightarrow S = \text{saving} = 1\ 128\ 657 * 1,5\% = \mathbf{16\ 929\ Dh}$$

La nouvelle réduction de consommation est de 1,5%. Ce qui est extrêmement minime ; et même ajouté au gain du condenseur du GEG, le projet n'est toujours pas rentable aux yeux des services finances.

Action	Economie	Réduction de la facture totale	Economie totale
<b>Installation du VSD</b>	<b>125 800</b>	<b>1,5%</b>	<b>357 173 Dh</b>
<b>Connexion à la pompe géothermique</b>	<b>16 929</b>	<b>negligeable</b>	
<b>Elimination des fuites</b>	<b>214 444</b>	<b>2,5%</b>	



## Chapitre V :

# Optimisation des Moteurs du filtre et de l'éclairage.



## V.présentation du fonctionnement

Ce que nous appelons exactement par filtre, par abus de langage au sein de l'usine, c'est l'ensemble des moteurs ventilateurs qui sont tous connecté à une chambre ou sont transposés plusieurs sac filtre qui filtrent l'air qui passe à travers.

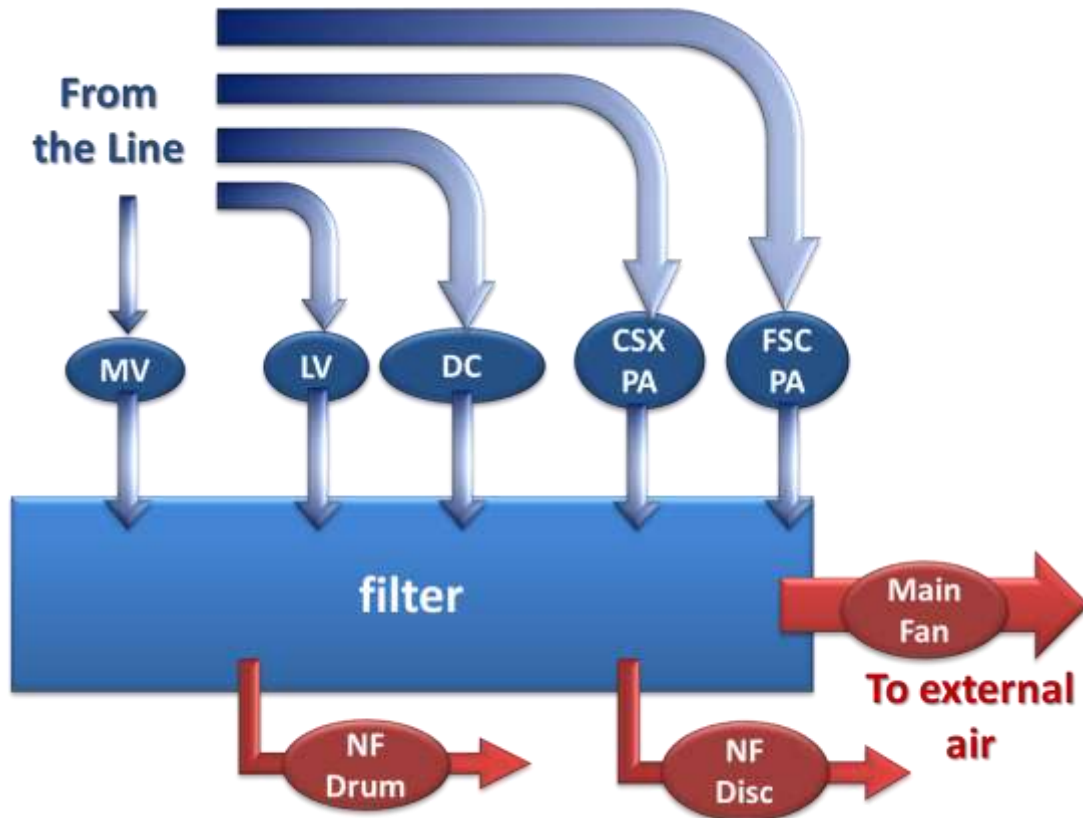
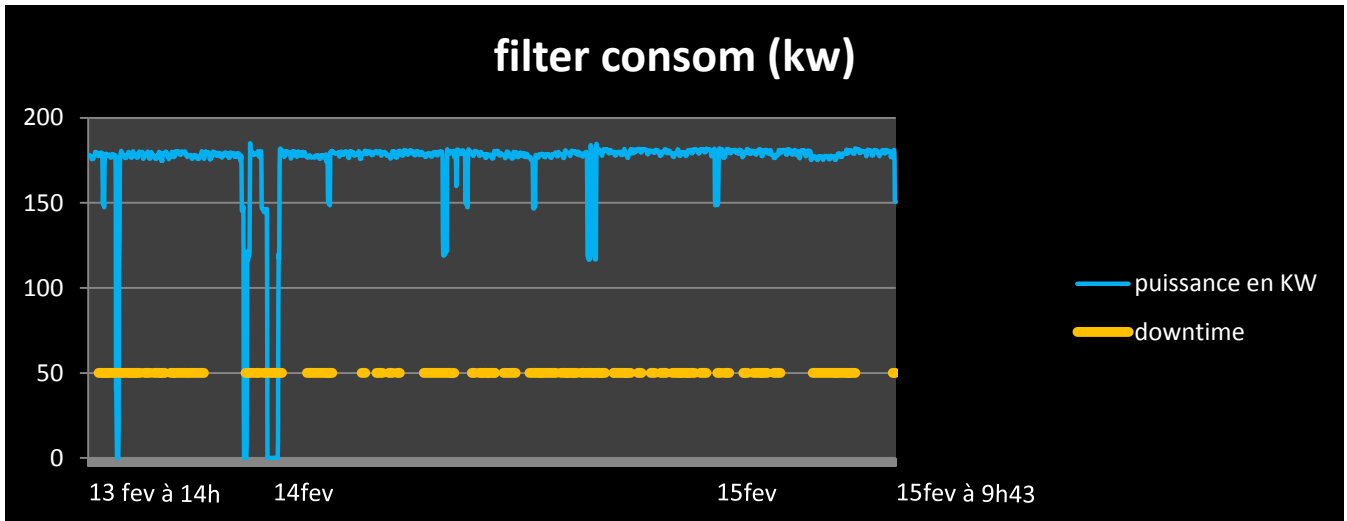


Figure 5.1 schéma de fonctionnement du filtre

Sur la figure ci-dessus, nous pouvons observer le fonctionnement du filtre. En bleu, les moteurs qui sont montés directement sur les ventilateurs aspirent de l'air de la ligne de production pour y créer du vide ou du vacuum utilisé dans le process de production. Ce même air est ensuite injecté dans la chambre du filtre désormais en surpression. Afin de maintenir cette surpression à une valeur acceptable, il est un ventilateur principal, appelé le main fan qui soutire de l'air en l'évacuant vers l'extérieur. Les NF disc et Drum sont des moteurs qui aspirent les particules à partir du filtre pour les condenser ensuite et les compacter.

Il en résulte que la consommation du filtre réside principalement dans les moteurs qui lui sont connectés.

Il est à noter que ce système est extrêmement délicat car les moteurs sont réglés à des vitesses précises (à l'aide de variateurs de vitesse), en vue de faire fonctionner le process qui demande des valeurs de vacuum très précises.



### V.1. action d'optimisation

Dans ce sens, la seule action d'optimisation faisable éligible et rentable que nous pouvons appliquer est que, en période downtime, d'arrêt de production, planifié ou pas, nous passons en un mode que nous appellerons « mode standby » qui consiste à réduire la vitesse des moteurs à 66% de leur valeur nominale. Ceci engendrera une réduction de consommation des moteurs de 80% car nous avons  $P_{\text{puissance}} = K * V^3$ . et donc  $P/5 = K * ((V / (\text{sqrt}^{1/3} 5)) * 3$ .

Fan	actual power cons(Kw)	Saving(%) expected	new consumption(Kw) expectated	new rate cons (%) expected	average new consumption (%) expected
DC	18	80	3,6	20	11,6
MV	21,2	80	4,24	20	
LV	29,5	80	5,9	20	
FSC	23,6	100	0	0	66,7
CSX	25,8	100	0	0	
AUX	5	100	0	0	
Scarf	4,5	0	4,5	100	11,2
HV (online drive side)	0,1	0	0,1	100	
Main fan	34	80	6,8	11	
NF Drum	9,2	0	9,2	11	11,2
NF Disc	8,9	0	8,9	11	
Total	179,8		43,24		

Sur le tableau ci-dessus, nous pouvons observer les différentes valeurs que prend la puissance de consommation des moteurs, avant, et après l'optimisation.

Le calcul étant fait sur le fichier de calcul excel « offline optimi », nous obtenons:



$$S = \text{saving} = (179,8 - 43,24) * 2,25 * 365 * 0,8 = \mathbf{89\ 719\ Dh}$$

179,8 : puissance actuelle (voir tableau ci-dessus)

43,24 : nouvelle puissance consommée.

2,25 : heures par jour où le mode standby sera actif.

Pour deux lignes de production, nous aurons deux filtres et donc  $2 * 89\ 719 = \mathbf{179\ 438\ Dh}$

La réduction totale est de 7,1% de sa propre consommation et  $7,1 * 26\% = \mathbf{1,8\%}$  de la consommation totale

## V.2. Eclairage

Avant de procéder à quelque optimisation, il faut d'abord déterminer les champs des luminaires sur lesquels nous interviendrons. A cet effet, les luminaires principalement utilisés sont localisés sur la ligne de production. Sur la figure ci-dessous, le résultat des mesures des lux (unité d'éclairage) qui quantifie le niveau d'éclairage sur les équipements, et où le niveau minimal est de 500 lux.

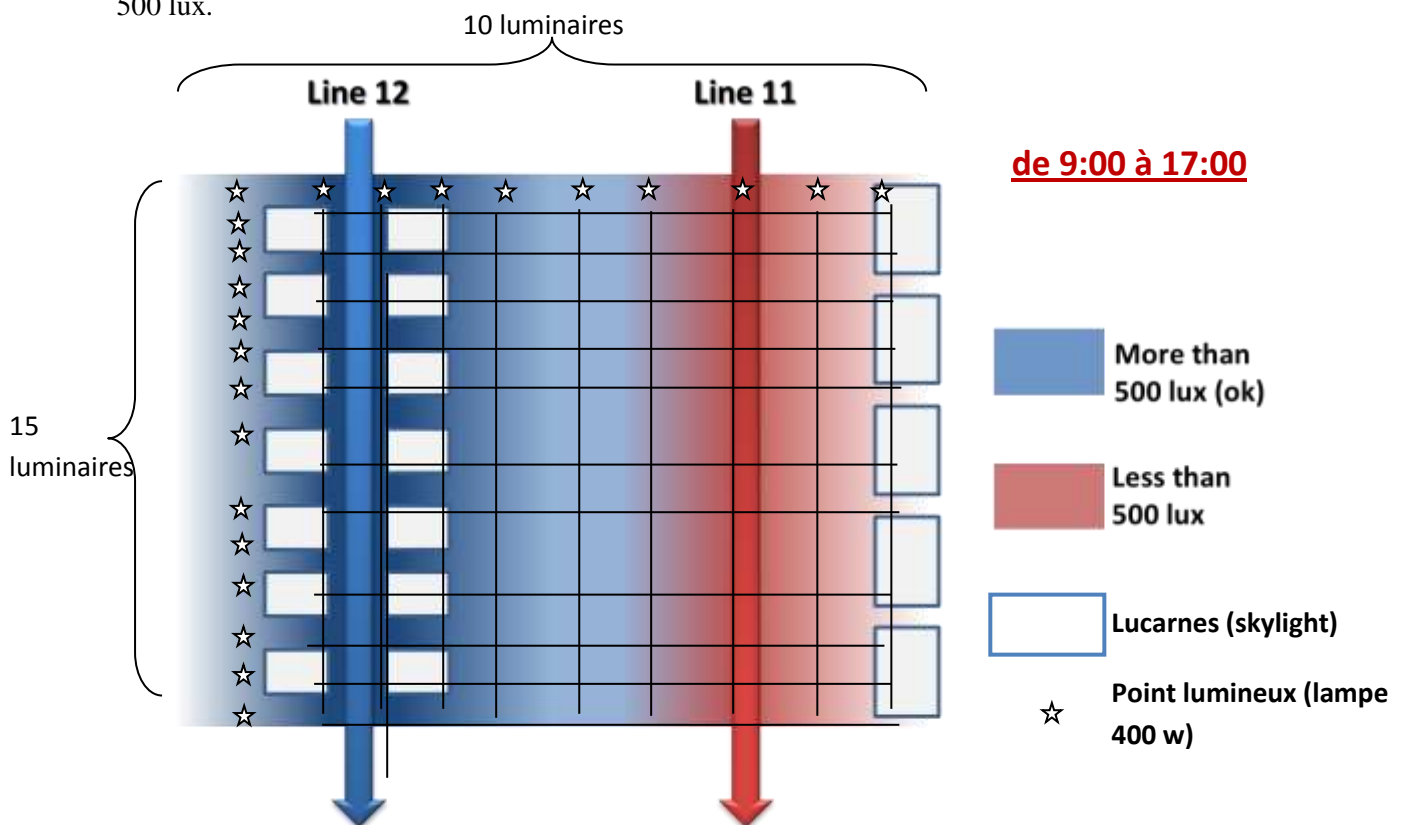


Figure 5.2 : luminaires de la zone de production

Ce résultat reste valide de 9:00 à 17:00 sur une moyenne comprenant toutes les positions du soleil





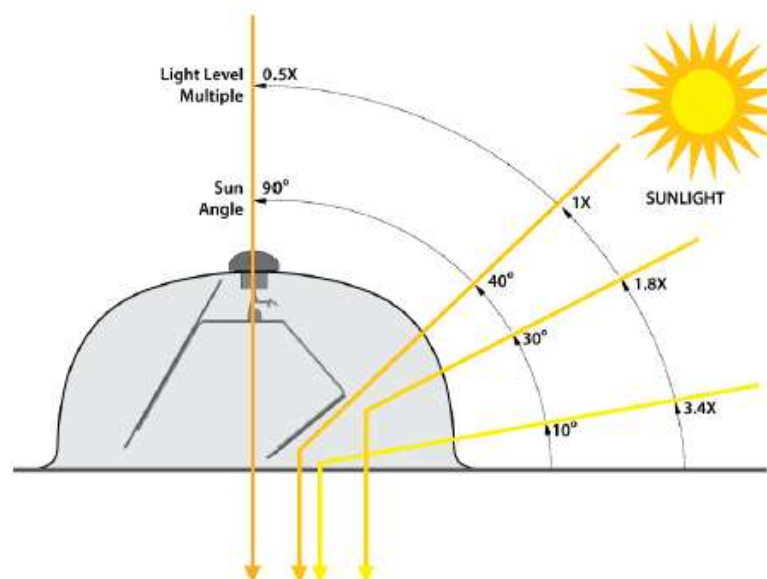
Pendant l'année en considérant un climat clair. Ce qui implique que, idéalement, tant que le ciel est dégagé, nous n'avons pas besoin d'allumer les lampes dans la zone où les lux dépassent 500.

Il est à signaler que la zone de gauche (ligne de production 12) est en bleu car les lucarnes ou skylight en temps ensoleillé sont suffisant pour l'éclairage.

Ceci étant d'une part, d'autre part, il est une autre zone appelé la JOA bay, où les luminaires sont constamment allumés sans aucune utilité. Eclairant une grande surface où en réalité nous n'avons besoin d'éclairer qu'un passage, et seulement quand il y a quelqu'un.

C'est donc pour ce faire que nous avons vu opportun pour la zone de production d'installer soit un timer qui contrôlerait les heures d'extinction et de déclenchement des lumières selon le créneau moyen donné plus haut ; soit installer des miroirs intelligents qui selon l'incidence et l'intensité de l'éclairage solaire commande l'éclairage par les lampes. Leur prix coute environ 1000 Dh, alors que le timer n'est pas plus cher que 300 Dh. Cela dit, avec les économies que nous réaliserons, le prix des miroirs intelligents sera très vite amorti.

Pour avoir un peu plus de détails sur ces derniers, il est à noter qu'il s'agit d'une nouvelle technologie, une gamme de cellules qui contiennent des miroirs intelligents avec des systèmes alimentés par des batteries photovoltaïques qui assurent leur fonctionnement.



Cette technologie a plusieurs avantages, à savoir :

- le coût de maintenance très faible vu la bonne qualité du matériel utilisé
- l'uniformité de l'éclairage à l'intérieur de l'atelier durant toute la journée
- la haute qualité de la lumière conformément aux normes prescrites, ce qui améliore les conditions de travail et par suite la productivité



- pas de chaleur dégagée ce qui agit positivement sur les ateliers climatisés
- aucune consommation énergétique supplémentaire du moment que les cellules fonctionnent grâce à des batteries photovoltaïques alimentées directement sur les cellules.
- Conditions de sécurité bien assurées respectant les exigences strictes de P&G.

Pour la zone JOA, le mieux serait d'installer un détecteur de mouvement qui détecterait le déplacement d'individu et commandera les luminaires à l'allumage. Son prix est aux alentours de 300 Dh.

Pour le calcul du saving nous ne considérerons que la partie zone de production, le nombre de passage de déclenchement des lumières avec le détecteur de mouvement étant difficile à quantifier.

94 lampes de 400 W chacune, avec 8 heures de repos par jours et un prix de 0,8 dans la tranche des heures pleines.

Le Saving sera de :

$$S=94*400*8*365*0,8/1000=87\ 833\ \text{Dh.}$$

La réduction de la facture totale sera de **1,1%**.



---

## Chapitre VI

# Nouvelle situation et économie totale escomptée.



## VI. réduction totale de la consommation énergétique :



Action	Taux de réduction	Réduction (Dh)	Taux total de saving	Consommation actuelle(Dh)	Consommation prévue(Dh)	Economie totale(Dh)
Eclairage	1,1%.	87 833	31%	8069068	5567657	<b>2 501 411</b>
Moteurs du filtre	1,8%	179438				
Fuites d'air comprimé	2,5%	214 444				
Installation VSD	1,5%	1 128 657				
Augmenter la température de l'eau glacée du GEG	1,3%	13 735				
Utiliser des paliers d'ouverture de 10% à la place de l'ouverture TOR actuelle.	1,2%	928 560				
Exploiter les intervalles de temp et humid pour minimiser le temps de fonctionnement du GEG et des batteries chaudes	21,7%	1 744 851				

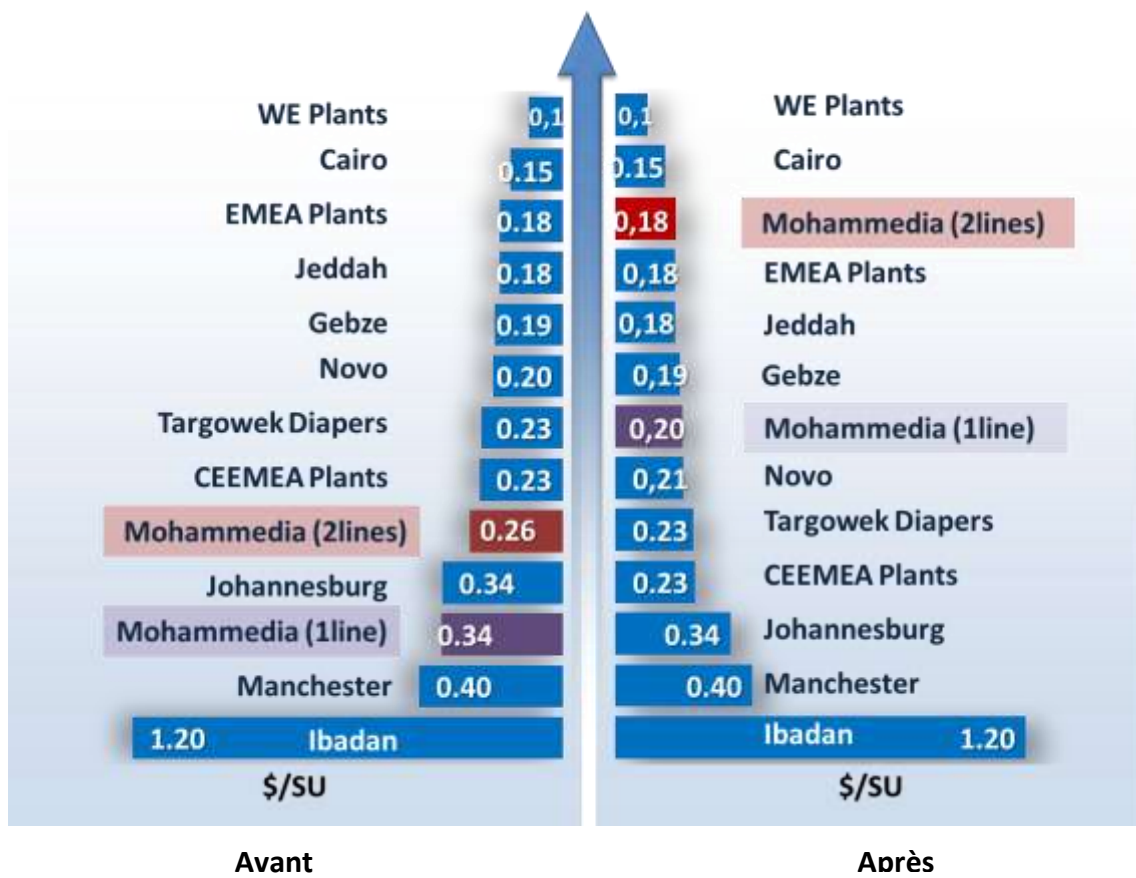
Le tableau ci-dessus résume l'ensemble des actions proposées pour la réduction du coût énergétique de production. Il est de ce fait clair que le plus gros potentiel de réduction réside

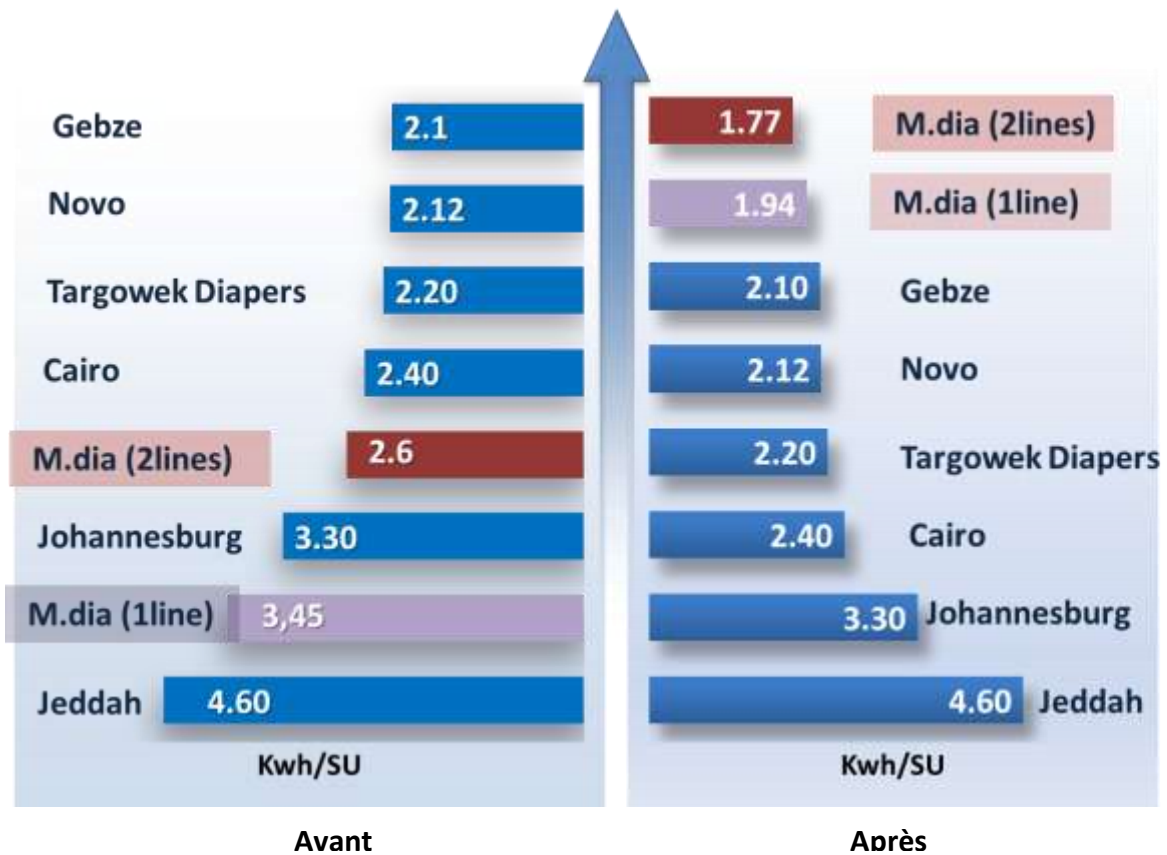


dans le système de climatisation, et plus particulièrement au niveau de l'action d'exploitation des intervalles de température et humidité externes.

Si ces actions sont mise en place, l'impact direct se fera grandement ressentir au niveau du « podium » du coût énergétique à l'échelle régional.

Les diagrammes qui suivent montre ce fait :





Suite à l'application des actions, le site de Mohammadia, pourra aspirer à la première place, soit le benchmark en terme du coût énergétique de production par couches produites.



---

## Chapitre VII

# Dimensionnement de panneaux PV pour une alimentation partielle.



## I. Définition du besoin :

Concernant les équipements à alimenter avec le champ photovoltaïque, notre choix se portera sur l'éclairage. Eléments vital, et de base pour la production à l'usine.

Comme vu dans le chapitre V, et étant donné que la production se fait 24h/24, le besoin en énergie pour l'éclairage est constant. Ceci étant, le prix est très variable d'une tranche horaire à une autre (voir tableaux ci-dessous).

	H.creuses	H.pleines	H.Pointes
<b>From Apr to Sept</b>	23h-7h	7h-18h	18h-23h
<b>From Oct to March</b>	22h-7h	7h-17h	17h-22h

tranche horaire	Prix
Heures Creuses en KWH	0,4946
Heures Pleines en KWH	0,7582
Heures Pointes en KWH	1,1527

Pour ce faire, et pour rentabiliser au maximum notre projet, on choisira d'utiliser l'énergie photovoltaïque pendant les heures de pointe et qui sont de 18h à 23h (heures où les batteries devront assurer l'autonomie).

L'objectif de cette installation est donc comme suit :

- Assurer une autonomie d'une tranche d'heure de pointe par jour (avec une marge de plus).
- Le surplus d'énergie sera consommé pendant les heures pleines.

Il sied donc de calculer le besoin journalier en énergie électrique pour l'éclairage :

$$\text{Besoin} = B = 94 \times 400 \times 24 = 902400 \text{ Wh/jr}$$

On choisira une tension nominale de 48 V.

$$B = 902400 \text{ Wh.} / 48\text{V} = \mathbf{18800 \text{ Ah/jr}}$$

## II. Détermination du courant maximal de puissance et de la puissance crête.

### II.1 Courant maximal de puissance







**I.** Perte par salissure du panneau, la neige, le sable, ou encore par un vitrage placé devant, qui modifie son courant de charge (la tension n'étant pas affectée).

Ensuite, il y a les chutes de tension entre la sortie du panneau, et l'entrée de la batterie :

**II.** aux bornes des diodes série

**III.** aux bornes du régulateur série, s'il est utilisé, car il comporte des interrupteurs électroniques en ligne.

**IV.** Aux bornes des câbles, selon leur longueur, leur section et l'ampérage transporté.

Une autre perte affecte directement la tension du panneau, il s'agit de :

**V.** la baisse de la tension lorsque la température s'élève, la puissance crête étant, elle, donnée à 25°C.

Quant à la batterie, elle joue aussi un rôle puisqu'elle ne restitue pas l'énergie à 100%, on doit donc considérer :

**VI.** l'efficacité énergétique de la batterie : rapport entre l'énergie restituée, et l'énergie fournie.

- **Réduction des pertes**

Certaines pertes peuvent être réduites, et négligées par des moyens simples. Pour la salissure (**I**), on la nettoiera régulièrement

Pour les pertes dans les câbles (**IV**), on les limitera en optimisant les câblages.

La perte en température (**V**) n'affectera pas beaucoup le fonctionnement puisque Mohammadia est une ville d'une température assez proche de 20°C en moyenne.

On évitera complètement la perte par désaccord de tension, en installant un régulateur MPPT, qui est prédéfini pour réaliser cette fonction.

La technologie des modules va être importante pour lutter contre les pertes (**V**). Les panneaux au silicium amorphe réagissent mieux aux faibles éclairagements que ceux au silicium cristallin. Leur tension varie également beaucoup moins avec la température.

On simplifiera l'ensemble en disant que pour les modules photovoltaïques devant alimenter un système 12V nominal, il faudra avoir une tension au point de puissance maximal au moins égale à 17-18V pour l'utilisation en pays chauds, et 15-16V en pays tempérés.



Les pertes en courant inévitables sont introduites dans les calculs énergétiques sous forme d'un coefficient  $C_p$  appelé ici : coefficient de pertes en courant.

- **Evaluation du coefficient  $C_p$**

Pour les salissures, on prendra généralement  $C_p$  compris entre 0,9 et 0,95. Cela va dépendre si les panneaux sont nettoyés régulièrement, placés à l'horizontale, derrière un vitrage...

Pour les batteries de plomb utilisées en photovoltaïque, on va prendre une efficacité de 0,9.

Pour le régulateur MPPT et l'onduleur, on prendra un rendement de 0,9.

Soit en moyenne un  **$C_p$  de 0,75.**

**Le courant maximal de puissance est donc :**

$$18800/(4,5*0,75)= 5570 \text{ A.m}^2.\text{jr/Kw.}$$

### **III. Détermination du nombre de modules photovoltaïques**

Etant donné qu'il s'agit là d'une étude très évaluative pour voir la faisabilité d'une installation PV, on choisira sur la base de donnée des modules PV de RETSCREEN le panneau

ALEO SOLAR POLY SI qui es du silicium poly cristallin de rendement 13,1% et de puissance crête 180 Wc et de tension max 24V.

Et on aura comme valeur minimale de la puissance photovoltaïque du système :

$$24V*5570= 133\ 689 \text{ Wc}$$

**Le nombre de panneaux est de :**

$$133\ 689/180= 742,7 \rightarrow 743 \text{ panneaux}$$

**inclinés de 45° vers le sud. (méthode de calcul standard est la latitude + 10° environ )**

$$\text{Soit pour la surface : } 1,5m*0,8m* 743= 891 \text{ m}^2$$

Etant donné qu'on installera un régulateur MPPT, et pour être dans la plage de tension où il maximisera le rendement, il faut considérer cette dernière afin de déterminer



combien de panneaux seront mis en série. ( Dans notre cas, le MPPT choisi est : SB 4000TL / SB 5000TL de la marque SMA, sa plage de tension est de : 125-440 V).

Et donc le calcul de combien de panneau par chaîne :

$$\text{Nombre max de modules} = E(\text{Umppt max}/(\text{Umpp} * 1,15)) = 12.$$

Vérifions qu'avec 12 modules, la tension atteinte n'excède pas la tension max du MPPT.

$$\text{On a } 24 * 12 = 288\text{V} < \text{Umax} = 550\text{V}$$

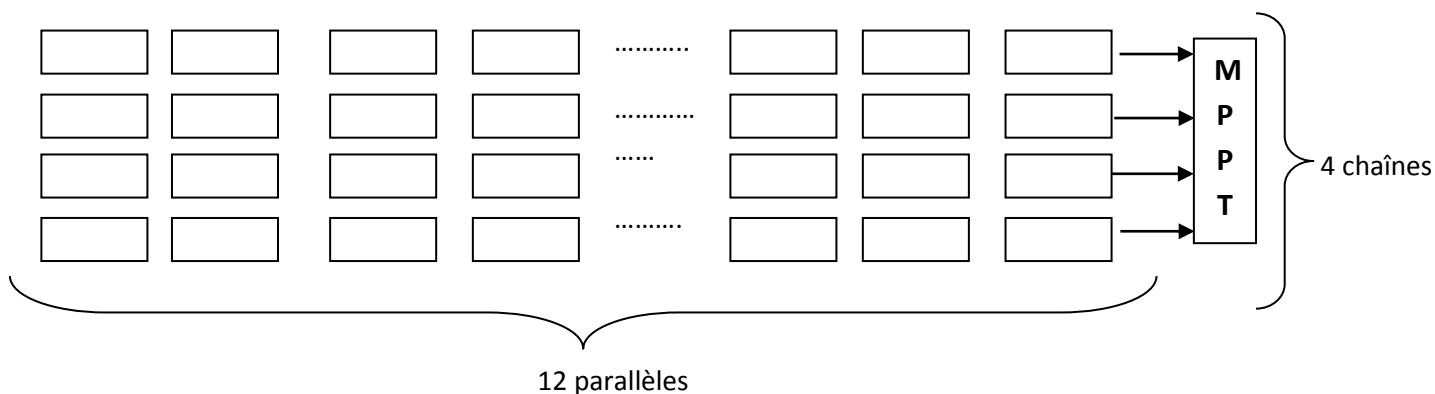
Reste bien sur combien de série il y aura pour chaque chaîne.

Dans ce cas, c'est le régulateur MPPT qui définira cela car chaque chaîne sera connecté à un MPPT qui trackera le point de puissance maximal, et étant donné que le régulateur a une intensité maximale à ne pas dépasser, c'est cette dernière qui définira le nombre de « couple parallèle » par chaîne.

Dans notre cas, pour le dimensionnement du MPPT, on prendra comme courant pour les modules PV, le courant de court circuit qui est de 5,5 A. Le courant max de l'onduleur que nous avons choisi : SB 4000TL / SB 5000TL de la marque SMA est de  $2 * 15 \text{ A} = 30 \text{ A}$ .

D'où le nombre de chaîne parallèle que installés :

$$30 / (1,25 * 5,5) = 4,36 \text{ cad, } 4 \text{ chaîne parallèles.}$$



Puisqu'on a 743 modules et pour chaque MPPT 48 modules. Le nombre total de MPPT dont on aura besoin est de 16.

#### IV. Dimensionnement des batteries :

Comme spécifié plus haut, l'autonomie souhaitée pour les batteries est de 5 heures (heures de pointes où il fait nuit). Le reste de la journée, après charge totale des batteries, sera alimenté par l'énergie photovoltaïque, si suffisamment disponible elle est. Dans le cas échéant, l'alimentation shiftera sur le réseau Lydec.



Nous aurons donc une autonomie de :

$$C = (5h * 18800 \text{ Ah/jr}) / 24h = \mathbf{3\ 917 \text{ Ah/jr}}$$

Ceci n'est pas la capacité nominale. Pour calculer cette dernière, il faut tenir compte de la profondeur de décharge autorisée, et de la température.

Une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil sinon on risque de l'endommager.

Une batterie pleine à 70% est à une profondeur de décharge de 30% (PD = 0,3).

En pratique, en absence de problème de basses températures, et pour un usage normal, on appliquera un coefficient PD = 0.7 à 0.8 selon les modèles de batteries : plutôt 0.7 pour les batteries qui supportent un faible nombre de cycles et plutôt 0.8 pour les batteries à fort nombre de cycles. Si la batterie doit cycliser davantage, on pourra diminuer PD pour disposer d'une durée de vie supérieure. Au contraire, si la batterie a très peu de probabilité de se décharger on pourra prendre PD = 0.9 et même 1.

- **Effet de la température**

Si l'application est amenée à fonctionner à basse température, ce sera la principale cause de réduction de capacité, car les réactions de charge et de décharge de l'accumulateur sont ralenties par le froid.

Pour déterminer la réduction de capacité qui en résulte, on aura besoin de courbes de décharge à différentes températures fournies par le constructeur de la batterie. En fonction de la température minimale que le système peut accepter, on va déterminer sur ces courbes le coefficient réducteur de capacité par la température RT. Dans notre cas on choisira RT=0,9.

Ce qui nous donne, in fine, la capacité de la batterie C20 (pour une décharge de 20h à 25°C normalisée)

$$C_{20} = C / [PD * RT] = C / (0,8 * 0,9) = \mathbf{5\ 439 \text{ Ah.}}$$

Après, le choix du nombre des batteries et de la capacité de chacune dépendra du courant de charge et de la tension de chacune. Le plus important est que le total soit de **5 439 Ah**.

## **V. Sortie alternative onduleur :**

Selon la fiche technique toujours, la sortie de l'onduleur est 220 V. or nous avons besoin de 380 V. dans ce sens, on peut soit placer un transformateur, soit utiliser un onduleur qui débite dès le début 380V.

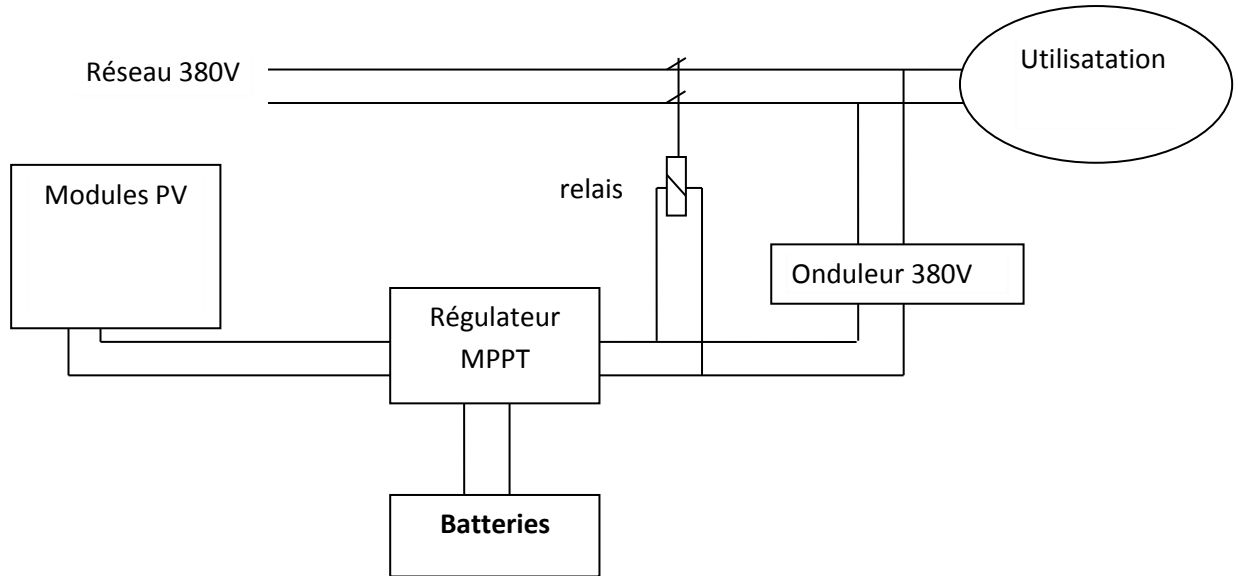


Figure 7.2 :Schéma générale de l'installation PV

## VI. Analyse financière

L'étude financière sera faite sur le logiciel RETSCRREN ; (le fichier est également joint au CD).

Les résultats sont tels que :

Taux de rentabilité interne = 8,4%

Retour sur les capitaux propre 11,4 années

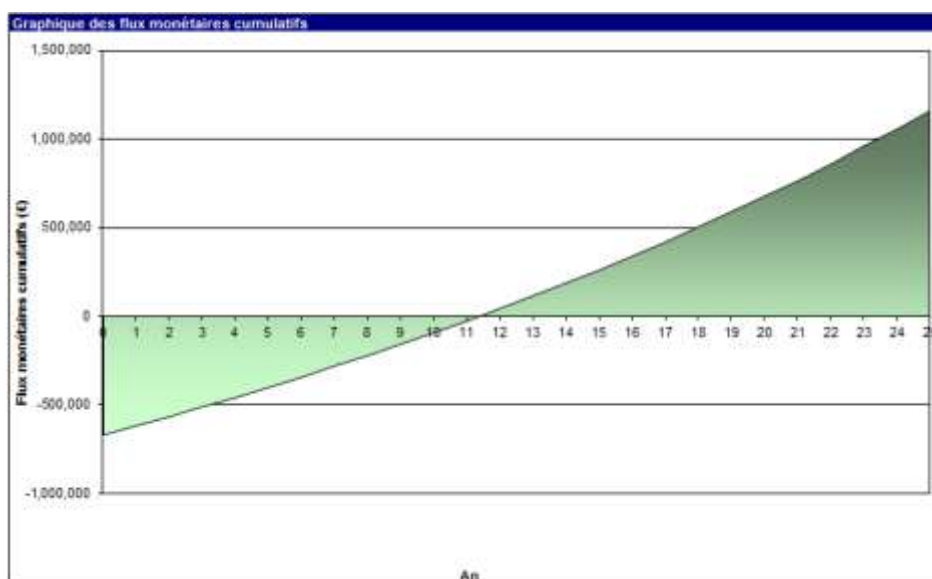


Figure 7.3: flux monétaires cumulatifs





## Conclusion

Réduire le coût. Etre compétitif, performant et toujours leader. Tels sont les mots d'ordre chez Procter & Gamble, et c'est dans ce sens que l'établissement de ce projet d'optimisation prend toute son ampleur via des actions dont la quasi-totalité est gratuite, ne nécessitant aucun investissement. En intervenant sur la HVAC, nous avons pu exploiter le potentiel climatique de la ville de Mohammadia. Au niveau des compresseurs d'air nous avons localisé les pertes, fuites et fonctionnement à vide, et nous avons œuvré pour les éliminer. Pour les moteurs connectés au filtre, les installations actuelles étant déjà très performante et de dernière génération, aller plus loin dans l'optimisation énergétique aurait été extrêmement coûteux, c'est pour ce fait qu'on a limité l'ensemble de nos actions pour tous les équipements au plus pratiques et concrètement réalisables.

Combinées, ces procédés de « saving » constituent une excellente opportunité de réduction du coût, et mieux encore, d'asseoir une place leader en terme de consommation énergétique à travers la région en affichant le taux le plus bas de KWh par unité produite.

Ceci étant, il est encore des voix d'optimisation et de réduction de la consommation énergétique un peu trop poussées, mais qui restent intéressantes telle la réduction du taux d'harmonique (les VSD du filtre en génèrent une importante quantité), ou encore l'installation de sources d'énergie renouvelable.

Enfin, il reste que le domaine d'optimisation et de réduction de la consommation énergétique est très vaste, avec des atouts et des actions innombrables. Le point contraignant par rapport à cela est bien évidemment le coût initial d'investissement. Toutefois, et avec la conjoncture actuel et la flambée des prix que connaissent les sources classiques d'énergie, l'utilisation de ces outils d'optimisation actuellement coûteux, ne saurait tarder pour, plus que rentable, devenir incontournable.





## Bibliographie

- [http://sites-final.uclouvain.be/ele/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/Dimensionnement/DefinitionModules/definition\\_1.htm](http://sites-final.uclouvain.be/ele/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/Dimensionnement/DefinitionModules/definition_1.htm)[http://photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-2011/cours\\_photovoltaique.php](http://photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-2011/cours_photovoltaique.php)
- <http://maroc.meteosun.com/meteo/graphiques/MO/mohammedia-MOXX0006>
- <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=16081>
- <http://www.bfe.admin.ch/druckluft/04447/04707/index.html?lang=fr>
- [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_11106.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11106.htm)
- <http://oee.nrcan.gc.ca/node/767>
- série de la gestion de l'énergie 14, à l'intention des industries, commerce et institution
- <http://fr.leonardo-energy.org/wp-content/uploads/2008/01/variableurs-de-vitesse.pdf>
- [http://www.geii.iut-nimes.fr/cg/Cours/Prop\\_Gen\\_Var\\_Vitesse.pdf](http://www.geii.iut-nimes.fr/cg/Cours/Prop_Gen_Var_Vitesse.pdf)
- [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10871.htm#vitessefrequence](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10871.htm#vitessefrequence)
- [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10871.htm#calage](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10871.htm#calage)



## Annexes :

### I.1. PRESENTATION DE L'ENTITE

Procter & Gamble (P&G) a été créée en 1837 à Cincinnati aux Etats-Unis de l'union de deux émigrants européens, l'Anglais William Procter, fabricant de bougies, et le savonnier Irlandais James Gamble. La société a connu dès le début un réel succès sur le marché américain malgré une conjoncture économique peu favorable.

A partir de 1911, on assiste à une diversification de leur marché de base (le savon et les bougies) avec le lancement de plusieurs produits d'alimentation générale et de produits à base de papier.

Dès 1915, face à une demande croissante pour ses produits sur le marché américain, la société se diversifie géographiquement et fait construire ses premiers sites de production à l'extérieur de Cincinnati.

Déjà à cette époque la société se distingue par une approche novatrice du marché des consommateurs. En effet, la part importante des recettes et du budget annuel consacré au département de recherche et développement permet la conception et la mise sur le marché de produits répondant précisément aux besoins des consommateurs.

Le lancement des premiers dentifrices contenant du fluor ainsi que les premières couches culottes pour enfants sont deux exemples très connus de produits développés par Procter & Gamble afin de satisfaire un besoin exprimé par le marché.

De même, les méthodes employées par l'entreprise pour la promotion de ses nouveaux produits font d'elle un des pionniers dans la culture du marketing consommateur. En effet, la compagnie a excellé dans l'innovation marketing et communication, comme peuvent en témoigner les si populaires miniséries, communément appelées « soap-operas » lancées par P&G.

En 1945, Procter & Gamble (qui représente à ce moment là près de 350 millions de \$ de CA) fait les premiers pas qui la transformeront en une société opérationnelle au niveau mondial, en faisant l'acquisition de Thomas Hedley & Co., Ltd., en Angleterre.

Le portefeuille de Procter & Gamble s'est continuellement élargi grâce aux acquisitions de grandes marques internationales comme Gillette et Duracell. L'entreprise, qui au fil des années a continué à diversifier ses produits et ses marchés de consommateurs, gère aujourd'hui plus de 300 produits et marques différentes dans plus de 160 pays, emploie



environ 100000 personnes dans le monde dans 80 implantations industrielles et commerciales, dessert un marché qui se chiffre à près de 5 milliards de consommateurs et jouit d'une place parfaitement établie parmi les plus grandes marques internationales.

P&G Worldwide est divisé en 5 régions comme nous le montre la figure 1-1 :

- P&G North America
- P&G Latin America
- P&G Western Europe
- P&G Central & Eastern Europe, Middle East, And Africa
- P&G Asia

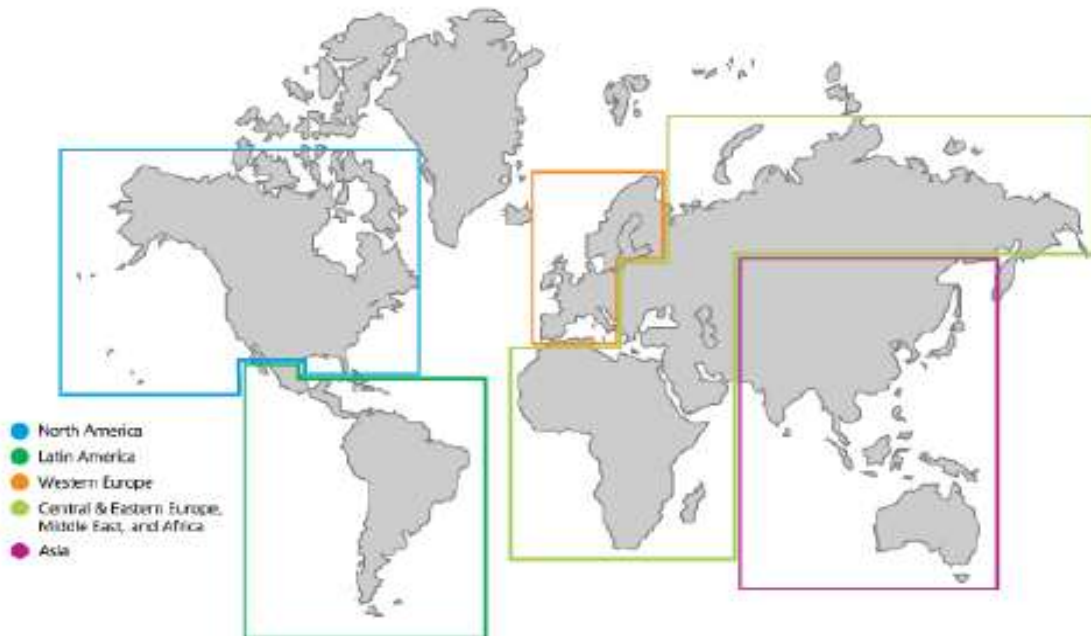
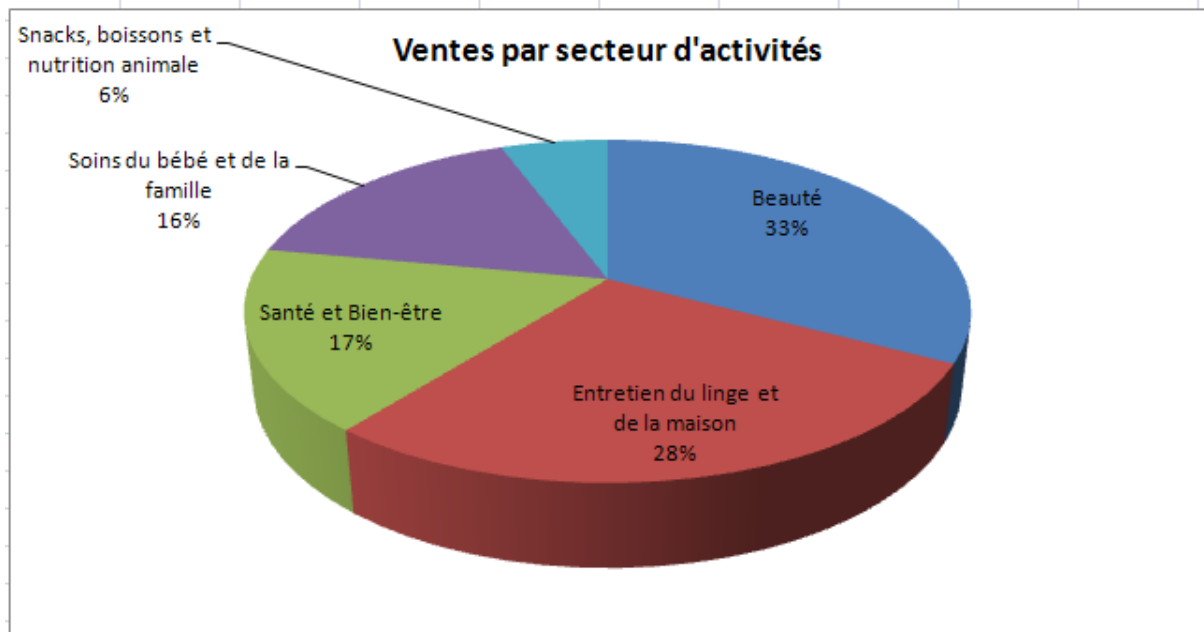


Figure 1.1 : région de P&G worldwide

⇒ **Ventes par secteur d'activités (en milliards de dollars)**

- Beauté : 27,8
- Entretien du linge et de la maison : 23,8
- Santé et Bien-être: 14,58
- Soins du bébé et de la famille : 13,9
- Snacks, boissons et nutrition animale : 4,85



⇒ **Slogan:** “touching lives, improving life”

⇒ **Site web:** [www.pg.com](http://www.pg.com)

⇒ **Classement :** 25ème des grandes sociétés américaines par revenu, 81ème dans le monde (2006)

### I.1.a. Raison d’être, valeurs et principes

P&G respecte les individus indépendamment de leur race, couleur, religion, sexe, âge, origine sociale, citoyenneté ou incapacité, et favorise activement la diversité aussi bien dans son organisation que dans ses opérations commerciales. Pour guider les comportements et les actions de tout nouveau venu, voici les règles à respecter à P&G et qu’on appelle les **PVP** :

#### **Purposes, Values and Principles.**

##### **Raison d’être :**

P&G veut fournir aux consommateurs du monde entier des produits de haute qualité et d'un excellent rapport qualité/prix, qui améliorent leur vie quotidienne.

##### **Valeurs fondamentales de P&G :**

P&G, c’est d’abord et avant tout son personnel et les valeurs fondamentales qui l’animent.



## **Le personnel de Procter & Gamble**

P&G veut attirer et recruter les personnes les plus qualifiées partout dans le monde. Elle construit son organisation sur la promotion interne, les individus étant traités en fonction de leur seule performance. Ses actions sont fondées sur la conviction que son personnel est et sera toujours son capital le plus important.

### **Leadership**

Chaque membre du personnel est pleinement responsable dans son domaine et se sent profondément investi de la mission d'obtenir des résultats de premier ordre. P&G a une vision claire du but à atteindre et se concentre sur la réalisation d'objectifs ambitieux et de stratégies gagnantes. Elle améliore sans relâche sa capacité à mettre en oeuvre ses stratégies et à éliminer les blocages organisationnels.

### **Engagement personnel**

Chaque membre du personnel assume la responsabilité personnelle d'agir en fonction des besoins des affaires, d'améliorer les façons de travailler et d'aider les autres à développer leur efficacité. Chacun agit comme s'il était propriétaire de la Société, gérant le patrimoine de l'entreprise comme si c'était le sien et avec pour finalité son succès à long terme.

### **Intégrité**

P&G s'efforce toujours de faire ce qui est bien. Chacun est honnête et direct avec les autres et agit conformément à la lettre et à l'esprit de la loi. Les valeurs et les principes de P&G animent toutes ses actions et ses décisions. Ses propositions sont justifiées par des données de faits et défendues avec honnêteté intellectuelle, en évaluant les risques de manière réaliste.

### **Passion de la réussite**

P&G est résolue à être la meilleure dans les domaines qui comptent le plus. Elle n'est pas satisfaite du statu quo et a un ardent désir d'amélioration et de réussite sur ses marchés.

### **Confiance**

Chacun respecte ses collègues, les clients, les consommateurs : il les traite comme il souhaiterait lui-même être traité. P&G a confiance dans les compétences et les bonnes intentions d'autrui, et est convaincue que l'on travaille toujours mieux dans un contexte d'estime réciproque.

### **Principes de l'entreprise :**

#### **Chaque employé est respecté en tant qu'individu**



P&G croit en la capacité et la volonté de chaque personne à donner le meilleur d'elle-même.

Elle valorise les différences, encourage et permet à chacun de réaliser des objectifs ambitieux avec des standards élevés de qualité. En plus, l'honnêteté est le principe d'évaluation de la performance individuelle.

### **Les intérêts de la société et les intérêts de l'individu sont indissociables**

Chez P&G, agir dans l'intérêt de l'entreprise de manière intègre est la clef de la réussite commune de la Société et des individus.

### **Le travail est centré sur ce qui est stratégiquement important**

Le personnel opère sur la base d'objectifs et de stratégies clairement articulés et agréés, travaille et ne demande à travailler que sur des projets qui apportent une réelle valeur ajoutée. Chaque fois que cela est possible, le travail est simplifié, standardisé et rationalisé.

### **L'innovation est la clef de voûte de la réussite**

Pour mieux réussir sur ses marchés, P&G améliore au continu ses méthodes de travail et encourage l'apport de ses employés en matière d'innovation.

### **P&G est tournée vers l'extérieur**

P&G a pour objectif permanent, la connaissance parfaite des consommateurs et de leurs besoins. Elle crée et met sur le marché des produits, des emballages et des concepts publicitaires qui permettent à ses marques de devenir leaders. Elle développe des relations étroites et mutuellement bénéfiques avec ses clients et ses fournisseurs et s'honore d'être une entreprise citoyenne.

### **Le savoir-faire personnel est respecté**

Au sein de P&G, il est de la responsabilité de chacun de travailler à son propre développement et à celui d'autrui, visant une maîtrise technique exceptionnelle et une excellence dans l'exécution.

### **P&G cherche à être la meilleure**

P&G s'efforce d'être la meilleure dans tous les secteurs d'importance stratégique pour la société. Elle se compare avec rigueur à ce qu'il y a de mieux tant en interne qu'en externe et profite de ses échecs comme de ses réussites.



### L'importance du travail en équipe est capitale

Fonctions, secteurs, catégories, régions géographiques travaillent ensemble en confiance.

D'excellentes relations sont bâties avec tous les partenaires qui contribuent à la réalisation de sa "Raison d'Être", qu'ils soient clients, fournisseurs, chercheurs ou pouvoirs publics.

#### I.1.b. Structure organisationnelle de P&G Worldwide

Pour comprendre le fonctionnement de P&G Worldwide, il est utile de connaître ses structures. Ainsi, P&G regroupe ses activités en :

- Gammes de produits appelées **GBU** (Global Business Units) : ce sont les unités responsables du développement des différentes marques et produits de l'entreprise.
- Zones géographiques **MDO** ou (Market Development Organizations) : unités chargées de gérer l'activité commerciale et marketing au niveau de chaque zone géographique.
- (Global Business Services) **GBS** : représentent tous les services de support à l'intérieur de l'entreprise.

De plus, P&G adopte une structure organisationnelle commune à toutes ses filiales de par le monde : ce sont les « Corporate Functions ». Ces quatre piliers, constituent le coeur de la structure organisationnelle de Procter & Gamble.

Ainsi, la structure actuelle de P&G North West Africa se présente sous forme de départements, illustrés sur la figure 1-2 :

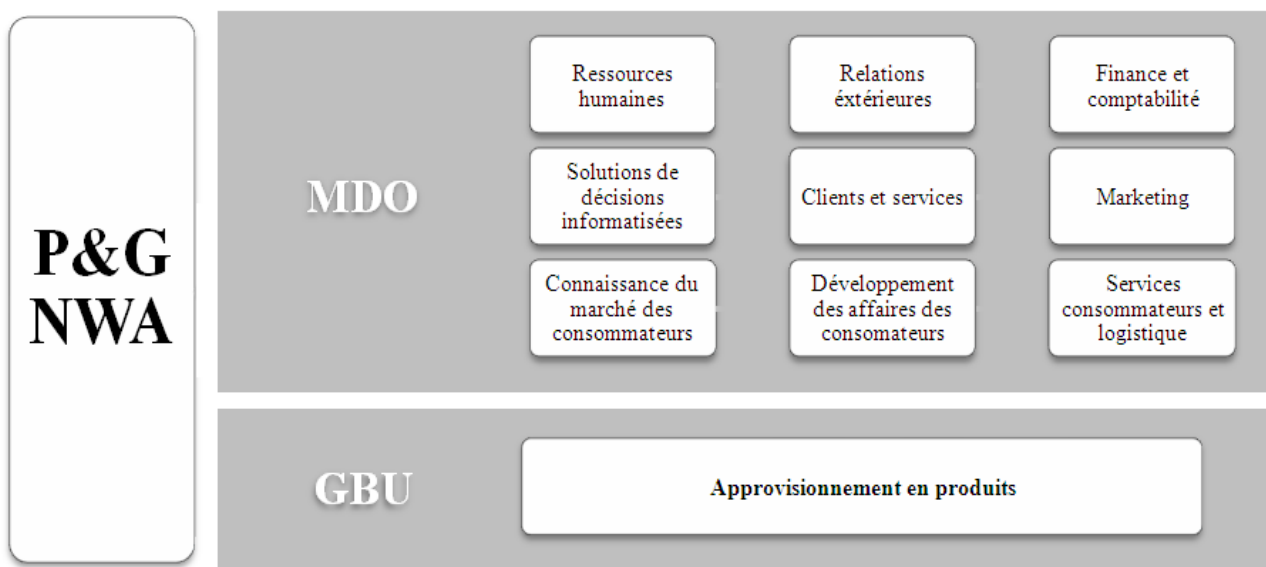


Figure 1-2 : Organisation de P&G NWA (Source : Intranet P&G)



### I.1.c. Produits de P&G Worldwide

Depuis 165 ans, P&G a peu à peu élargi ses domaines de compétence. Aujourd'hui, la multinationale se concentre sur cinq grandes gammes de produits :

Produits Hygiène à base de papier	
Couches Bébé	Pampers, Luvs, Dotot, Prima
Protection Féminine	Always, Whisper, Tampax, Care, Linidor Evax, Orkid, Ausonia
Divers	Chamin, Bounty, Tempo, Puffs, Codi
Produits de Lavage et d'Entretien	
Détergents	Tide, Ariel, Bold, Bonus, Cheer, Dash, Daz, Dreft, Era, Vizir, Salvo
Eau de Javel	Ace, La Neoblanc
Liquide Vaisselle	Cascade, Dawn, Fairy, Ivory Dish, Joy, Yes
Adoucissant	Bounce, Downy, Leonor, Azurit
Nettoyant de surface	Flash, Mr Propre, Viakal ; Swiffer, Febreze
Cosmétiques	
Produits de beauté	Olay, Cover Girl, Ellen Betrix, Max Factor, Play, SKII, Cosmetics
Parfums/ Déodorants	Giorgio Beverly Hills, Hugo Boss, Herve Leger, Laura Biagiotti Roma, Mossimo, Old Spice, Secret, Sure
Shampoings	Pantene, PertPlus, Physique, Principle, Head & Shoulders, Rejoice, Vidal Sassoon, Wash & Go, Clairol Herbal Essences
Savon	Camay, Clerasil, Safeguard, Zest, ivory Personal care,
Produits Pharmaceutiques	
Filtration de l'Eau	PUR
Bucco-dentaire	Action 500, Blendax, Crest, Fixodent, Pepto-Bismol, Vicks (VapoRub, 44, DayQuil, sinex) , scope, Kukident
Médicaments	Actonel, Asacol Tablets, Cacit, Dantrium IV, Didrokit, Didronel, Digozine, Ditropan, Dutide H, Macrobid, Monocid, Stedcor, Ultradol, Zebeta, Ziac, Metamucil
Produits Alimentaires	
Boissons	Sunny Delight
Snacks	Pringles
Divers	Huile alimentaire, aliments pour animaux (lams)





## II. PROCTER & GAMBLE MAROC

### II.1. HISTOIRE

Depuis des décennies, P&G est présente au Maghreb et au Moyen-Orient avec 10 sites de production et plus de 4,000 employés. Le Maroc figure dans la région parmi les premières implantations.

C'est en 1958 que Procter & Gamble s'installe au Maroc, à travers sa filiale IMM (Industries Marocaines Modernes). La multinationale démarre avec sa marque la plus célèbre: Tide.

Aujourd'hui, P&G est présent à travers les quatre gammes des principaux produits, qui font l'activité du groupe de par le monde. Une large gamme est ainsi produite et commercialisée dans le domaine des détergents et produits de nettoyage domestique (Tide, Ariel, Ace, Mr Propre), des produits d'hygiène (Pampers, Always) et cosmétiques. De nouvelles marques ont été introduites telles qu'Ariel liquide, Ace Délicat ou encore Pringles, première incursion d'IMM dans l'agroalimentaire sur le marché marocain.

La première usine, située à Casablanca, a été construite en 1960. L'usine de Mohammedia a été installée en 1993 pour qu'il y soit consacré la production des nettoyeurs liquides et eau de Javel. C'est dans cette même usine que le groupe a investi en 1998 dans la première ligne de couches bébé Pampers et en 2000 dans la deuxième ligne de fabrication de ce même produit.

En 2003, afin de répondre à des besoins logistiques, la construction d'un centre de stockage et de distribution pour le Maroc a été lancée. L'effectif de la compagnie s'élève à 723 personnes avec un taux d'encadrement de l'ordre de 18%. La masse salariale représente quelque 220 millions de DH avec 5% dédiés à la formation. Côté investissement, le groupe américain a injecté quelque 300 millions de dollars en avoirs ou en fonds propres depuis son arrivée en 1958.

### II.2. CADRE ACTUEL

Le groupe est présent au Maroc au travers de ses deux sociétés opérationnelles:

- **Industries Marocaines Modernes (IMM)**, située à Casablanca, détenue à 99.9% par P&G.
- **PROCTER & GAMBLE Maroc (PGM)**, située à Mohammedia et détenue à 100% par P&G.



### Les Usines :

P&G a deux unités de production au Maroc :

- **Usine IMM** : 56,000 m<sup>2</sup>, fabrication de détergents Tide, Ariel, Bonux.
- **Usine PGM** : 72,000 m<sup>2</sup>, fabrication de ACE, Mr Propre, Always, Pampers.

### Environnement concurrentiel de P&G Maroc

Les produits P&G sont doublement concurrencés au Maroc. D'une part, face à des produits qui appartiennent aux filiales de grands groupes mondiaux implantés au Maroc à savoir Unilever Maghreb (Sunsilk, Rama, Lipton), Colgate-Palmolive (principalement du shampoing du dentifrice et du liquide pour la vaisselle) et à des entreprises marocaines (Groupe PGC, ONA Group...), ou encore des concurrents informels (contrefaçon, contrebande...)

### Les produits de P&G Maroc :

P&G commercialise 15 marques au Maroc et est le leader avec Pampers et Always puisqu'elle occupe plus de 85% de part de marché. Cela ne peut que l'inciter à renforcer sa présence sur le marché local par de nouveaux investissements. D'ailleurs en 2001, M. Pepper le PDG de P&G à l'époque, lors d'une visite au Maroc a signé un accord d'investissement avec le gouvernement marocain pour un montant de \$ 38 millions. Ces investissements permettent à l'entreprise d'occuper la place de leader incontestable sur le marché devant ses quelques concurrents mondiaux et nationaux.







Evaporator Leaving Water Temperature (°C)	Model and Size	Entering Condenser Air Temperature (°C)											
		30			35			40			45		
		Cooling Capacity (kW)	Power Input (kW)	COP	Cooling Capacity (kW)	Power Input (kW)	COP	Cooling Capacity (kW)	Power Input (kW)	COP	Cooling Capacity (kW)	Power Input (kW)	COP
5	140 STD	492.9	142.0	3.17	461.3	153.8	2.76	429.0	166.8	2.38	395.9	181.0	2.04
	155 STD	539.4	157.0	3.13	504.9	169.5	2.74	469.7	183.3	2.37	433.9	198.6	2.03
	170 STD	586.8	172.2	3.10	550.3	185.5	2.72	512.6	200.3	2.36	474.0	216.7	2.03
	185 STD	649.8	188.0	3.15	610.0	202.4	2.76	569.2	218.5	2.41	527.8	236.2	2.08
	200 STD	713.8	204.0	3.18	671.2	219.5	2.80	627.3	236.8	2.45	581.9	255.9	2.11
	250 STD	854.7	243.7	3.20	804.1	263.5	2.80	751.4	285.3	2.44	697.2	309.2	2.10
	275 STD	957.1	275.4	3.16	900.1	296.5	2.79	841.0	320.0	2.43	780.2	345.9	2.10
	300 STD	1083.3	307.7	3.21	1020.0	330.8	2.83	954.6	356.6	2.47	887.1	385.0	2.14
	350 STD	1187.7	346.3	3.12	1115.3	373.0	2.74	1040.4	402.6	2.39	963.7	435.3	2.06
	375 STD	1306.2	377.2	3.15	1229.2	406.0	2.78	1149.4	438.0	2.42	1066.8	473.4	2.10
400 STD	1434.5	409.9	3.19	1350.8	440.7	2.81	1264.0	474.9	2.46	1174.3	512.7	2.13	
7	140 STD	526.4	147.4	3.27	492.9	159.3	2.85	458.8	172.5	2.47	424.0	186.9	2.12
	155 STD	575.2	163.2	3.22	539.0	175.8	2.82	502.1	189.9	2.45	464.1	205.3	2.11
	170 STD	625.1	179.2	3.19	586.5	192.6	2.80	546.7	207.6	2.44	506.0	224.1	2.11
	185 STD	692.0	195.6	3.23	650.1	210.2	2.84	606.9	226.5	2.48	562.9	244.5	2.15
	200 STD	760.2	212.4	3.27	715.2	228.2	2.88	668.4	245.7	2.52	620.6	265.2	2.18
	250 STD	908.5	252.9	3.29	855.4	272.9	2.89	800.2	295.1	2.52	743.3	319.5	2.17
	275 STD	1017.2	286.3	3.25	957.1	307.7	2.86	894.8	331.6	2.50	830.8	357.8	2.17
	300 STD	1151.1	320.0	3.29	1084.7	343.7	2.90	1015.8	369.9	2.54	944.4	398.9	2.21
	350 STD	1262.6	360.0	3.21	1186.6	387.0	2.82	1107.9	417.0	2.46	1027.0	450.1	2.13
	375 STD	1387.8	392.1	3.23	1306.9	421.4	2.85	1222.9	454.0	2.50	1136.0	489.9	2.16
400 STD	1524.9	426.4	3.27	1436.6	457.8	2.89	1345.6	492.7	2.53	1251.0	531.2	2.20	
9	140 STD	560.5	153.1	3.36	525.3	165.1	2.94	489.4	178.5	2.55	452.9	193.1	2.20
	155 STD	612.1	169.7	3.31	573.8	182.4	2.91	534.8	196.6	2.53	495.1	212.2	2.18
	170 STD	664.5	186.4	3.27	623.4	199.9	2.88	581.6	215.0	2.51	538.7	231.7	2.17
	185 STD	735.2	203.5	3.31	690.9	218.4	2.92	645.5	234.9	2.55	598.8	253.1	2.21
	200 STD	807.6	221.1	3.35	760.2	237.1	2.96	710.9	255.0	2.59	660.3	274.8	2.25
	250 STD	963.4	262.3	3.37	907.8	282.7	2.97	849.8	305.3	2.59	790.4	330.0	2.24
	275 STD	1078.0	297.5	3.32	1015.1	319.3	2.94	950.0	343.5	2.57	882.5	370.0	2.23
	300 STD	1220.4	332.9	3.36	1150.8	357.0	2.98	1078.4	383.8	2.61	1003.5	413.3	2.27
	350 STD	1338.9	374.1	3.28	1259.1	401.5	2.90	1176.5	431.8	2.53	1091.7	465.2	2.19
	375 STD	1470.7	407.5	3.31	1386.0	437.4	2.93	1298.1	470.5	2.56	1207.0	506.9	2.23
400 STD	1617.0	443.6	3.34	1524.5	475.6	2.96	1428.6	511.2	2.60	1329.4	550.5	2.26	

**Notes :**

1. Ratings based on sea level altitude and evaporator fouling factor of 0.0176 m<sup>2</sup>°K/kW
2. Consult Trane representative for performance at temperatures outside of the ranges shown
3. kW input = compressor power input only.
4. COP = Coefficient of Performance (kW/kW). The considered power input includes compressors, condenser fans and control power.
5. Ratings are based on an evaporator temperature drop of 5°C.
6. Interpolation between points is permissible. Extrapolation is not permitted.
7. Operation above 40°C = with High Ambient Option.




**SI Units - Data in accordance with ARI 550/590-98. Information about ARI: [www.ari.org](http://www.ari.org)**
**Table P-9 - ARI Part-Load Performance for RTAC Standard Efficiency Units (SI Units)**

Unit	% Load	(kW) cooling	RI (kW)	COP (kW/kW)	IPLV (kW/kW)
140	100	492.9	172.8	2.85	3.93
	75	369.7	115.8	3.19	
	50	246.5	54.3	4.54	
	25	123.2	28.5	4.32	
155	100	539.0	191.2	2.82	3.91
	75	404.4	127.1	3.18	
	50	269.5	60.6	4.45	
	25	134.7	29.6	4.54	
170	100	586.5	209.3	2.90	3.85
	75	439.6	137.7	3.19	
	50	293.2	66.7	4.40	
	25	146.6	35.1	4.18	
185	100	650.1	228.9	2.94	3.99
	75	487.5	148.1	3.29	
	50	325.1	71.4	4.55	
	25	162.5	37.0	4.39	
200	100	715.2	248.7	2.88	3.83
	75	536.4	173.7	3.09	
	50	357.6	79.8	4.48	
	25	178.8	43.7	4.09	
250	100	855.4	296.4	2.89	4.34
	75	641.3	171.6	3.74	
	50	427.6	91.4	4.68	
	25	213.8	40.3	5.31	
275	100	957.0	334.6	2.86	4.20
	75	717.6	193.7	3.70	
	50	478.5	105.8	4.52	
	25	239.2	49.4	4.85	
300	100	1084.7	373.7	2.90	4.02
	75	813.4	216.6	3.78	
	50	542.3	136.3	3.98	
	25	271.2	52.3	5.19	
350	100	1196.7	420.6	2.82	4.15
	75	899.8	243.6	3.65	
	50	593.3	134.9	4.40	
	25	296.7	58.4	5.08	
375	100	1306.9	458.3	2.85	4.23
	75	980.0	265.8	3.89	
	50	653.5	144.8	4.51	
	25	326.8	63.3	5.16	
400	100	1436.6	497.9	2.89	4.23
	75	1077.5	298.8	3.73	
	50	718.5	161.0	4.46	
	25	359.3	69.0	5.21	

**Notes:**

1. IPLV values are rated in accordance with ARI Standard 550/590-98.
2. COP and IPLV values include compressors, condenser fans and control kW.

**Table P-10 - ARI Part-Load Performance for RTAC High Efficiency Units (SI Units)**

Unit	% Load	(kW) cooling	PL (kW)	COP (kW/kW)	IPLV (kW/kW)
120	100	423.3	139.7	3.03	4.10
	75	317.3	92.9	3.41	
	50	211.7	45.3	4.87	
	25	105.8	23.7	4.46	
130	100	468.0	154.2	3.04	4.16
	75	350.9	101.2	3.47	
	50	234.0	50.0	4.68	
	25	117.0	25.0	4.88	
140	100	514.7	169.0	3.05	4.04
	75	386.1	116.5	3.31	
	50	257.4	55.1	4.67	
	25	129.7	30.0	4.29	
155	100	559.4	185.7	3.01	4.01
	75	419.7	127.8	3.28	
	50	279.7	61.1	4.58	
	25	139.9	30.9	4.53	
170	100	605.1	204.0	2.97	3.95
	75	453.6	137.7	3.29	
	50	302.6	66.9	4.52	
	25	151.3	36.2	4.17	
185	100	672.3	223.5	3.01	4.08
	75	504.2	148.5	3.39	
	50	336.1	72.2	4.66	
	25	168.1	38.1	4.41	
200	100	740.8	242.9	3.05	3.94
	75	555.7	173.5	3.20	
	50	370.4	80.4	4.60	
	25	185.2	44.9	4.13	
250	100	889.6	294.4	3.02	4.39
	75	667.1	174.0	3.83	
	50	444.8	93.0	4.79	
	25	222.4	44.5	4.99	
275	100	995.7	326.0	3.05	4.36
	75	748.8	192.8	3.87	
	50	498.0	107.6	4.83	
	25	248.9	48.3	5.16	
300	100	1122.0	363.9	3.08	4.13
	75	841.2	215.6	3.90	
	50	560.9	140.0	4.01	
	25	280.5	51.0	5.50	
350	100	1228.8	410.5	2.99	4.25
	75	921.7	244.2	3.77	
	50	614.5	135.4	4.54	
	25	307.3	62.7	4.90	
375	100	1361.4	449.5	3.03	4.32
	75	1021.0	267.7	3.81	
	50	680.8	146.6	4.64	
	25	340.4	68.3	4.99	
400	100	1493.6	488.5	3.06	4.32
	75	1120.2	290.8	3.85	
	50	746.9	162.9	4.59	
	25	373.5	74.1	5.04	

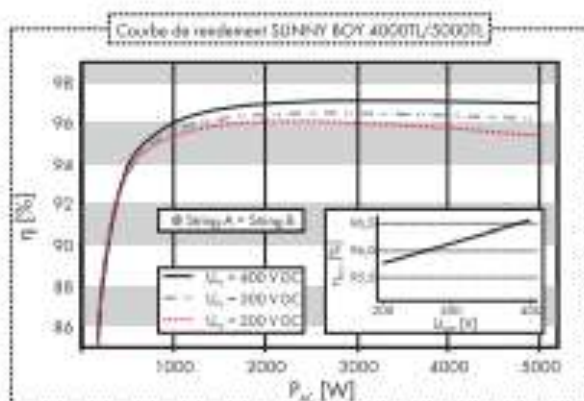
**Notes:**

1. IPLV values are rated in accordance with ARI Standard 550/590-98.
2. COP and IPLV values include compressors, condenser fans and control kW.



## Caractéristiques techniques SUNNY BOY 4000TL / 5000TL

	SB 4000TL-20	SB 5000TL-20
<b>Entrée (DC)</b>		
Puissance DC max.	4200 W	5300 W
Tension DC max.	550 V	550 V
Plage de tension photovoltaïque, MPPT	125 V - 640 V	125 V - 640 V
Plage recommandée à puissance nominale	175 V - 640 V	175 V - 640 V
Courant d'entrée max.	2 x 15 A	2 x 15 A
Nombre de MPPT traçants	2	2
Nombre max. d'entrées (en parallèle)	2 x 2	2 x 2
<b>Sortie (AC)</b>		
Puissance nominale AC	4000 W	4600 W
Puissance AC max.	4000 W	5000 W
Courant de sortie max.	22 A	22 A
Tension nominale AC / plage	220 V - 240 V / 180 V - 280 V	220 V - 240 V / 180 V - 280 V
Fréquence du réseau AC / plage	50 Hz, 60 Hz / $\pm 5$ Hz	50 Hz, 60 Hz / $\pm 5$ Hz
Facteur de puissance (cos $\phi$ )	1	1
Raccordement AC	Monophasé	Monophasé
<b>Rendement</b>		
Rendement max. / Euro-eta	97,0 % / 96,4 %	97,0 % / 96,5 %
<b>Dispositifs de protection</b>		
Protection inversion de polarité DC	●	●
Interrupteur sectionneur DC intégré ESS	●	●
Résistance aux courts-circuits AC	●	●
Surveillance de défaut à la terre	●	●
Surveillance du réseau (SMA Grid Guard)	●	●
Unité de surveillance du courant de défaut intégrée, sensible à tous les courants	●	●
<b>Caractéristiques générales</b>		
Dimensions (L / H / P) en mm	470 / 645 / 180	470 / 645 / 180
Poids	25 kg	25 kg
Plage de température de fonctionnement	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Émission de bruits (typique)	$\leq 29$ dB(A)	$\leq 29$ dB(A)
Autoconsommation : nuit	< 0,5 W	< 0,5 W
Topologie	sans transformateur	sans transformateur
Système de refroidissement	OptiCool	OptiCool
Lieu de montage : intérieur / extérieur (électronique IP65, zone de raccordement IP54)	●/●	●/●
<b>Équipements</b>		
Raccordement DC : MC3 / MC4 / Tyco	○/●/○	○/●/○
Raccordement AC : borne à ressort	●	●
Écran graphique	●	●
Interfaces : Bluetooth / RS485	●/○	●/○
Garantie : 5 ans / 10 ans / 15 ans / 20 ans / 25 ans	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificats et homologations	www.SMA-France.com	www.SMA-France.com
● Équipement de série ○ Option	Données en conditions nominales - version : décembre 2009	



### Accessoire



Interface RS485  
Data-20CB-10



**[www.Mcours.com](http://www.Mcours.com)**  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)