

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

## Sommaire

Remerciements.

Liste des figures.

Introduction.

### Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil :

1. Historique
2. Missions de l'ONE
3. objectifs de l'ONE
4. stratégie de l'ONE
5. Activité de l'ONE
6. Organigramme de l'ONE

### Chapitre 2 : CENTRALE TURBINE A GAZ MOHAMMEDIA (3X100 MW)

1. Description de la centrale
2. Caractéristiques techniques de la turbine à gaz
3. Compartiments de la centrale
  - 3.1- Poste traitement d'eau
  - 3.2- Poste traitement fuel
  - 3.3- Turbine
  - 3.4- Alternateur
  - 3.5- Transformateur
  - 3.6- Auxiliaire électrique
  - 3.7- Chaudières
  - 3.8- Skids
  - 3.9- Groupe anti-incendie

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

**Chapitre 3: analyse et optimisation du coût du KWh de la centrale TAG Mohammedia 3\*100 MW**

1. Introduction
2. Calcul du coût de traitement d'eau
3. calcul du coût de traitement du fuel
4. calcul et analyse du coût de KWh
5. Optimisation du coût du KWh

**Conclusion**

**Annexes**

**Bibliographie & Web graphie**

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

## REMERCIEMENTS

Au terme de cette durée de stage d'observation, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont collaboré à la réussite de ce modeste travail :

Tous mes remerciements à La direction générale de l'**Office National de l'Electricité** qui m'a offert cette opportunité de stage.

Je voudrais tout particulièrement formuler mes profonds remerciements et gratitude à l'égard de Monsieur **Salah Edinne CHAHIR**, qui est à la fois mon encadrant et le chef de la centrale thermique de Mohammedia 2, pour son soutien, sa disponibilité, pour son suivi de toutes mes démarches du début jusqu'à la fin, pour les conseils judicieux qu'il m'a donné et la motivation qu'il m'a transmise.

Je tiens également à remercier Mr: **AYASSI, CHAARI, Zouhri, ....** et surtout **Mr SAADAoui**, qui a toujours veillé à ce que je sois suffisamment encadré tout au long de mon stage, et qui n'a pas hésité à m'aider et à me fournir le maximum d'informations. Je n'arriverais jamais à le remercier assez pour tous ses encouragements et surtout pour les bonnes suggestions dont il m'a fait part.

Enfin, j'ai l'honneur de présenter ma gratitude salutations envers tous les agents de la turbine à gaz Mohammedia 2, Qui ont toujours montré une grande volonté et une grande disponibilité à m'aider dans la réussite de ma formation ! Par conséquent, je tiens vivement à leur exprimer l'expression de mes sincères remerciements et mes profonds respects.

## *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

### *Liste des figures*

- Figure 1 : La carte d'identité de l'ONE
- Figure 2 : puissance produite par l'ONEE 2013
- Figure 3 : Organigramme de l'ONE
- Figure 4 : centrale TAG Mohammedia
- Figure 5 : Réservoir d'eau brute
- Figure 6 : Réservoir d'eau déminéralisée
- Figure 7 : Les filtres multimédia
- Figure 8: Schéma descriptif de phénomène d'osmose inverse
- Figure 9 : premier passage osmose inverse
- Figure 10 : deuxième passage osmose inverse
- Figure 11 : Les Caractéristiques de l'eau déminéralisée
- Figure 12 : Station de traitement d'eau
- Figure 13 : Une citerne de fuel brute
- Figure 14 : Une citerne de gasoil
- Figure 15 : citerne de fuel certifié
- Figure16 : Citerne de fuel traité
- Figure 17 : poste traitement fuel
- Figure 18 : Qualité du Fuel avant et après traitement
- Figure 19 : Synoptique décrivant le principe d'une turbine à gaz
- Figure 20 : Synoptique décrivant le principe d'une turbine à gaz
- Figure 21 : Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz
- Figure 22 : synoptique de fonctionnement d'une turbine à gaz à compresseur axial
- Figure 23 : salle de commande

## *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

Figure 24 : Le compartiment des auxiliaires

Figure 25 : Le moteur de lancement

Figure 26 : Le convertisseur de couple

Figure 27 : Les roues dentées du réducteur

Figure 28 : le vireur

Figure 29 : Le compresseur axial

Figure 30 : Les chambres de combustion

Figure 31 : Principe de fonctionnement de l'alternateur

Figure 32 : Bobinage et circuit d'induit de l'alternateur

Figure 33 : Transformateur principale

Figure 34 : Transformateur de soutirage

Figure 35 : les deux chaudières d'eau surchauffée de la central TAG2

Figure 36 : Réservoirs fuel et gasoil de la chaudière (25m<sup>3</sup> chacune)

Figure 37 : les aditifs à l'eau

## *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

# INTRODUCTION :

L'électricité constitue une source très importante de l'énergie au Maroc, elle est fortement utilisée dans tous domaines. En effet, l'augmentation de la demande en Energie pose de sérieux problèmes à l'échelle globale.

Dans ce cadre, il a fallu inventer et construire des usines (centrales) capables de produire de l'électricité en grande quantité de manière efficace et continue, d'où ces nouvelles technologies se révèlent un levier puissant de croissance et d'expansion.

Et pour satisfaire le propre besoin marocain, l'ONE produit une électricité de qualité, au meilleur coût, et en mobilisant de nouveaux investissements et technologies les plus performantes.

Ces investissements couvrent principalement les projets stratégiques dont l'objectif est de renforcer la capacité de production d'énergie électrique ainsi que la sécurité et la fiabilité du réseau nationale de transport (très Haute tension et Haute tension) en développant notamment les interconnexions avec les pays voisins.

Parmi ces projets, une centrale à trois turbines à gaz à Mohammedia d'une capacité de  $3 \times 100$  MW pour pouvoir fournir à ces clients l'énergie nécessaire. En effet, les turbines à gaz jouent un rôle très important pour le secours du réseau électrique, leurs utilisations sont liées aux avantages de leur rapidité de démarrage. Elles représentent l'un des principaux moyens de production d'énergie électrique le plus efficace en période de pointe et d'urgence.

Le présent travail inscrit dans le cadre d'un stage technique, s'intéressera à étudier tous les compartiments de la turbine à gaz et particulièrement le compartiment turbine.

Ce stage a pour but de comprendre les conditions du travail et le système général de production et de mettre en pratique toutes les notions théoriques et les connaissances préalablement acquises d'une part, et de se familiariser avec le domaine de travail afin d'acquérir des notions et des techniques nouvelles en prenant contact avec les agents expérimentés d'autre part.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

# I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE :

## 1) Historique :

Juste après l'indépendance du Maroc, l'Etat a pris en main le secteur électrique afin de l'organiser, le soutenir et garantir le service public. L'ONEE comme étant un établissement semi-public à un caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

L'histoire de l'énergie électrique du Maroc remonte à plusieurs décennies. Au fil du temps, plusieurs sociétés et compagnies se sont succédé afin de répondre aux besoins d'énergie électrique, parmi elles :

- La chérifienne de l'énergie qui fournissait de l'énergie électrique à l'époque du protectorat.
- La société Marocaine de distribution d'Eau et d'Electricité de Casablanca (1914-1922).
- En 1923 approuvé par le DAHIR du 18/7/1923, le gouvernement de protectorat a accordé la concession d'une organisation de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique aux syndicats d'étude et de recherche hydraulique au Maroc.
- La SEEM (société Energie Electrique du Maroc) qui s'occupait depuis 1924 de la production, le transport et la distribution d'électricité jusqu'à la création en 1963 de l'ONEE

La création en 5 août 1963 de l'ONEE est donc la substitution de la SEEM et la preuve que Le Royaume du Maroc a toutes les capacités et tous les moyens nécessaires pour relever les nombreux défis qui lui lançait son indépendance.

Ainsi, la nationalisation de ce secteur très capital, qui est l'énergie électrique, vise avant tout la maîtrise de la production, de transport et de la distribution de l'énergie électrique puis à assurer un service continu de très haute qualité à tout le peuple Marocain.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Figure (1) : La carte d'identité de L'ONEE :

|                    |                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|
| Date de création   | 1963                                                         |
| Forme juridique    | Etablissement semi-public                                    |
| Siège social       | 65, rue Ottoman Ben Affan Casablanca - Maroc                 |
| Directeur général  | Ali Fassi-Fihri                                              |
| Activité(s)        | Production, transport et distribution d'électricité          |
| Nombre d'effectifs | 9 000                                                        |
| Nombre des clients | Plus de 4 millions                                           |
| E-mail             | <a href="mailto:offelec@onee.org.ma">offelec@onee.org.ma</a> |
| Chiffre d'affaires | 19,930 milliards (2011)                                      |
| Site Web           | <a href="http://www.onee.org.ma">www.onee.org.ma</a>         |
| Téléphone          | 05-22-66-80-80                                               |
| Fax                | 05-22-22-00-38                                               |
| Boite Postale      | 13498/20000 Casablanca                                       |

## 2) Les missions principales de l'ONEE :

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

- Répondre aux besoins du pays en électricité dans les meilleures conditions de coût et de qualité de service.
- Gérer et développer le réseau de transport de l'électricité.
- Ouvrir pour la promotion et le développement des énergies renouvelables.
- Planifier, intensifier et généraliser l'extension de l'électrification rurale
- Gérer, d'une manière générale, la demande globale d'énergie électrique du Royaume dans les meilleurs conditions de coût et de qualité de services

### 3) Les principaux objectifs de l'ONEE :

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

- Satisfaire dans les meilleures conditions techniques et économiques la progression de la demande en énergie sans cesse croissante.
- Baisser les tarifs moyens et haute tension pour atteindre des prix de l'énergie électrique compatibles avec les marchés concurrentiels du Maroc.
- Assurer au meilleur coût directement ou indirectement la couverture financière des programmes d'investissements indispensables au développement de l'énergie du pays.

### 4) La stratégie de l'ONEE :

Pour satisfaire la demande d'énergie électrique au moindre coût et avec une meilleure qualité de service, l'ONEE a mis en œuvre une stratégie visant à renforcer son rôle de vecteur important de développement :

- La recherche du KWh le moins cher.
- La diversification des sources d'approvisionnement.
- La mise en valeur des ressources nationales.
- L'intégration régionale.

### 5) Les domaines d'activités de l'ONEE :

Avec **8 796** collaborateurs et plus de **4,9 millions** de clients, l'ONEE exerce des activités centrées sur les métiers de l'électricité : Production, Transport et Distribution.

- **Production de l'énergie électrique:**

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Le parc de production de l'ONEE est constitué de centrales électriques ayant une puissance totale installée à fin 2013 de 7342,2 MW. Ses ouvrages de production depuis début septembre 2000, sont constitués de 24 usines hydroélectriques totalisant une puissance installée de 1175 MW et de 5 centrales thermiques vapeur totalisant 2505 MW, 7 centrales à turbines à gaz et plusieurs centrales diesel totalisant 786 MW et un parc éolien de 50 MW, soit une puissance installée globale de 4516 MW.

| Centrales                            | Puissance installée en MW |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Usines hydrauliques                  | 1 306                     |
| Station Pompage et turbine d'Afourer | <b>464</b>                |
| centrales thermiques vapeur          | 2 795                     |
| Charbon (y compris JLEC)             | 2 195                     |
| Fioul                                | 600                       |
| Centrales turbines à gaz             | 1230                      |
| Cycle combiné                        | 850                       |
| Thermique diesel                     | 202                       |
| Total Thermique                      | 5 077                     |
| Eolien                               | <b>495,2</b>              |
| Total ONEE                           | 7342,2                    |

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Figure (2) : puissance produite par l'ONEE 2013

La production est assurée par des moyens de production exploités directement par l'ONE ou par des ouvrages confiés à des producteurs concessionnaires. Les principaux défis de l'ONE sont:

- ♣ Assurer l'approvisionnement du pays en énergie électrique.
- ♣ Réduire le poids des importations d'énergie primaire sur la balance commerciale.
- ♣ Un nouveau dispatching national pour assurer une meilleure gestion technico-économique des moyens de production et de transport.
- ♣ Favoriser l'implication du secteur privé dans l'investissement pour l'électricité.
- ♣ Mobiliser les énergies renouvelables en tant qu'énergie nationales.
- ♣ La mise en place de la télégestion des centrales.

### • Transport de l'énergie électrique:

L'électricité n'étant pas stockable, il est donc nécessaire de gérer en continu le flux de cette énergie entre les lieux de production et les points de livraison à la clientèle.

Et pour assurer le transport d'énergie électrique et la sécurité d'alimentation de la clientèle, l'ONEE développe et renforce son réseau de transport qui couvre aujourd'hui la quasi-totalité du territoire national et est constitué de ligne de 400kV, 225kV, 150kV et 60kV.

- ♣ Longueur des lignes :

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|        | Longueurs en km |
|--------|-----------------|
| THT/HT | 22 995 km       |

♣ Puissances installées dans les postes (MVA) :

|        | Nombre de Transfos | Puissance installée (MVA) |
|--------|--------------------|---------------------------|
| THT/HT | 136                | 18 000                    |
| THT/MT | 5                  | 350                       |
| HT/MT  | 338                | 6 657                     |
| Total  | 479                | 25 007                    |

### • La distribution de l'énergie électrique:

L'ONE œuvre d'une manière permanent pour l'amélioration de la qualité de service tan sur le plan technique que commercial. Depuis sa création, elle s'est fixée pour objectif d'étendre son réseau à toutes les agglomérations et procéder à la ramification des réseaux de distribution de façon à couvrir l'ensemble des Régions du Royaume. L'ONE c'est :

- Le premier distributeur d'électricité au Maroc avec une part de marché de 55%,
- 10 directions régionales sur tout le territoire,
- Plus de 4,9 millions de clients dans tout le monde rural et plusieurs agglomérations urbaines. Le reste de la clientèle étant gérée par des Régies de distribution publiques ou des Distributeurs privés qui sont eux-mêmes clients Grands Comptes de la Branche Electricité.

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

- Un réseau commercial de 25 Directions Provinciales et 192 Agences de Service dont 66 Agences de service provinciales.
- Une amélioration continue de la qualité de services : externalisation des points d'encaissement, promotion du prépaiement, mise en place de " SIRIUS ", progiciel intégré de gestion commerciale, télé-conduite régionale...

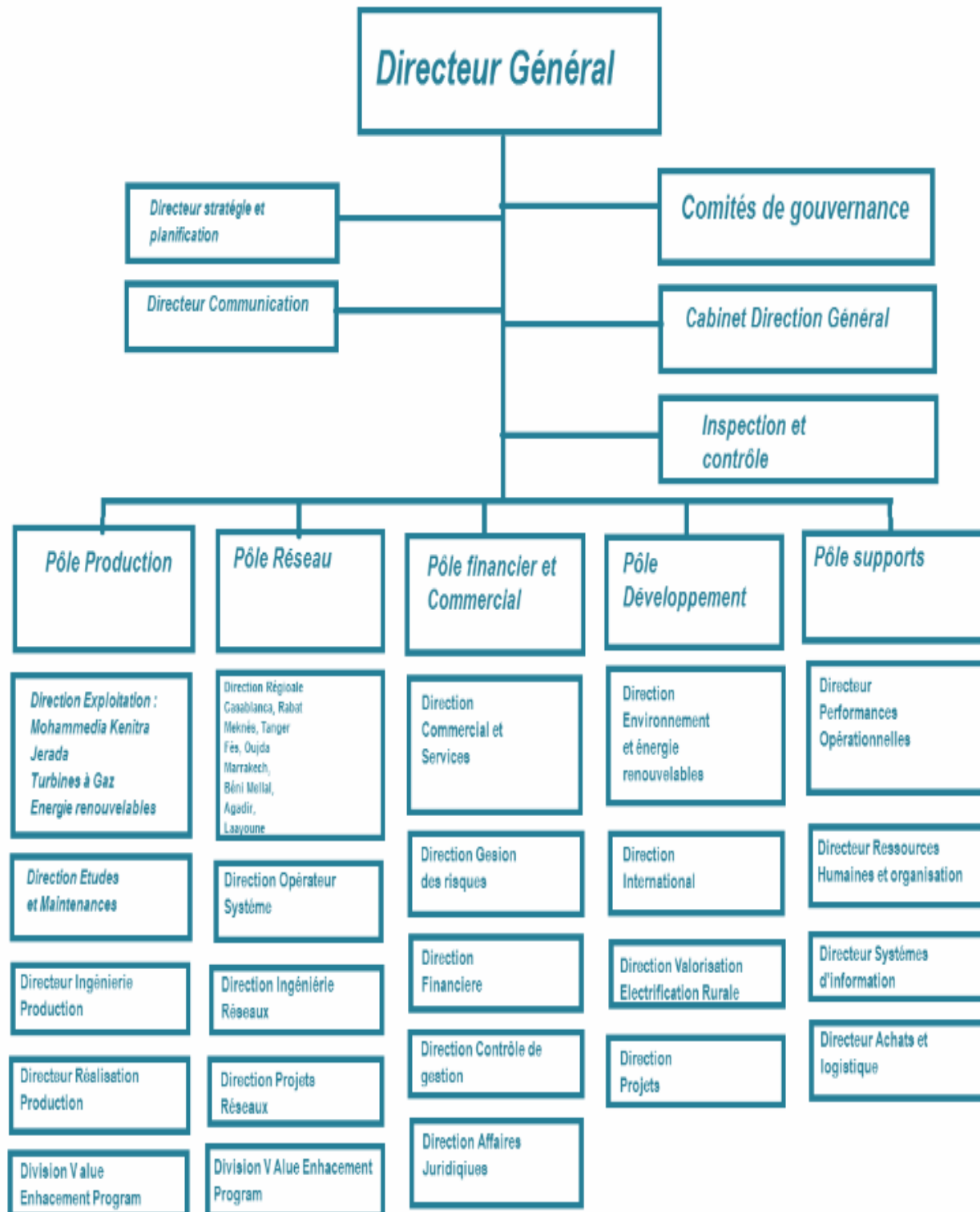
Son champ d'action couvre tout le territoire national à l'exception des agglomérations urbaines gérées par des régies de distribution publiques ou par des distributeurs privées, à savoir: Casablanca, Rabat Salé Marrakech, Fès, Mekhnès, Tanger, Tétouan, Kenitra, Safi, El Jadida-Azemmour et Larache Ksar El Kabîr.

La distribution de l'électricité est assurée :

Soit directement par l'ONEE, dans plusieurs régions. Soit par des régies Municipales ou Intercommunales, dont le nombre croit, citant par exemple : LYDEC, REDAL, AMENDIS...

### **6) L'organigramme de l'ONEE :**

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

## II. CENTRALE TURBINE A GAZ MOHAMMEDIA (3X100MW):

### 1) Description de la centrale :

La centrale thermique turbine à gaz Mohammedia 2 (TAG M2) joue un rôle très important pour le secours du réseau national. En effet, elle constitue l'une des principales centrales de production d'énergie électrique en période de pointe d'urgence.

La centrale turbine à gaz de Mohammedia a été construite sur une superficie de 7 hectares par General Electric au cours de la période allant de 2007 jusqu'au 2009, elle est constituée de trois turbines de type 9000EA, chacune produit 100 MW.

Ce projet a été lancé dans le cadre des programmes d'urgence visant à doter le pays de puissance supplémentaire. La centrale TAG se situe en pleine zone industrielle ce qui lui permet d'avoir accès à plusieurs services dont elle peut avoir besoin, dont les suivants :

- ♣ L'existence des postes 60KV et 225KV pour l'évacuation de l'énergie produite.
- ♣ La Proximité de la SAMIR pour l'approvisionnement en combustible.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

Figure 4: centrale TAG Mohammedia 2

## 2) Les caractéristiques techniques d'une turbine à gaz :

La centrale TAG2 est constituée de 3 turbines, chacune est caractérisée par :

- ♣ Trois étages.
- ♣ Une puissance de 100 MW.
- ♣ Une consommation de fuel oil de 28.5 m<sup>3</sup>/h en pleine charge.



### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

- ♣ Une consommation de gaz oil de 31 m<sup>3</sup>/h en pleine charge.
- ♣ Une vitesse de rotation de 3000 tr/min.
- ♣ Un seul arbre d'entraînement.
- ♣ Un moteur de lancement 6.6 KV de puissance 1 MW.
- ♣ De 14 chambres de combustion.
- ♣ Un système d'eau d'injection de Nox.
- ♣ Un diesel de secours pour le jeu de barre 400V.

### 3) Compartiments de la centrale :

#### 3-1. Poste traitement d'eau :

L'eau est une matière de production d'importance extrême dans toute industrie ou usine de production. Elle est utilisée dans les circuits de refroidissement et de lavage des machines, notamment les turbines, lors du nettoyage du fuel, et pour l'alimentation des chaudières auxiliaires. L'alimentation de la centrale en eau brute est effectuée à partir de LYDEC, cette eau est stockée dans deux réservoirs métalliques de 6600 m<sup>3</sup>.



Figure 5 : Réservoir d'eau brute (la Centrale TAG comporte 2x 6600 m<sup>3</sup>)

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

L'eau brute contient :

- ♣ Des minéraux dissous : cations, anions (calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, chlorures...)
- ♣ Des gaz :  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$
- ♣ Des matières en suspension : particules d'argile capables d'attirer des bactéries et des molécules bactériennes
- ♣ Matières organiques issues de la décomposition de végétaux et animaux

□ le but est de produire l'eau déminéralisée à partir de l'eau brute. Le poste traitement d'eau est constitué de deux lignes de production, une en service, et l'autre soit en régénération soit en attente, de capacité de production de 90 m<sup>3</sup> par heure l'eau produite est stockée dans deux citernes de capacité de 2600 m<sup>3</sup> chacune. Le rapport de production d'eau déminéralisée est de 1.3 c'est-à-dire pour produire 1 m<sup>3</sup> d'eau déminéralisée, il nous faut 1.3 m<sup>3</sup> d'eau brute.



Figure 6 : Réservoir d'eau déminéralisée (la Centrale TAG comporte 2x2600m<sup>3</sup>)

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

Le rapport de production d'eau déminéralisée est de 1.3 c'est-à-dire pour produire 1 m<sup>3</sup> d'eau déminéralisée, il nous faut 1.3 m<sup>3</sup> d'eau brute.

Le poste traitement d'eau est Composé de :

- **Deux citernes métalliques d'eau brute** de 6600 m<sup>3</sup>, permettant d'alimenter:
  - Le poste de traitement d'eau.
  - Le circuit d'eau potable provenant du bac de 25 m<sup>3</sup>.
  - Le circuit de lutte contre incendie.
  - Le circuit d'eau pour les sanitaires.
- **Deux bacs de 2600 m<sup>3</sup> d'eau déminéralisée**, qui sert à alimenter :
  - Le poste de traitement de combustible.
  - L'appoint des chaudières auxiliaires.
  - Le système de lavage des turbines et des compresseurs.
  - Les circuits de refroidissement.
- **Un système de Filtration** : Un système de prétraitement d'eau brute, formé de :
  - **trois filtres Multimédia** à pression où (filtres à sables), pour éliminer des particules (à dimension  $> 40\mu\text{m}$ ) en suspension pour éviter l'obstruction précoce du système de microfiltration et réduire la concentration des solides dans l'eau.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



Figure 7 : Les filtres multimédia

- **Deux Filtres à cartouche** : pour procurer une meilleure finesse de filtration (retenir les particules  $> 5\mu\text{m}$ )
- **L'osmose inverse premier passage** :

Le phénomène d'osmose inverse consiste à obtenir:

- ♣ D'une solution saline donnée, une autre solution de moindre concentration à travers une membrane semi-perméable (membrane de microfiltration (nm)) au moyen de l'application d'une pression extérieure supérieure à la pression osmotique de la solution de départ.
- ♣ **DOSAGE DES REACTIFS** : Pour éviter la possibilité de précipitation des sels déposés sur la surface active des membranes.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

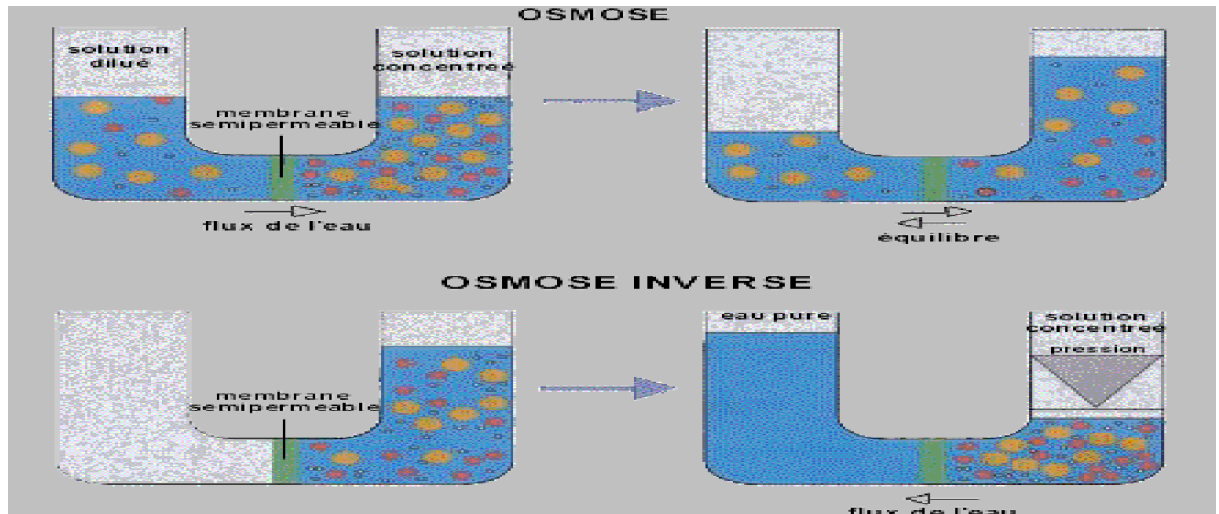


Figure 8: Schéma descriptif de phénomène d'osmose inverse



Figure 9 : premier passage osmose inverse

- **Dégazeur :**

Dans cet appareil, l'eau est pulvérisée ou dispersée finement et se distribue de façon uniforme au-dessous d'une couche de remplissage, qui est généralement constituée par des anneaux Raschig (objets cylindriques en métal) ou similaires.

La mission du dégazeur est de traiter l'eau osmosée et éliminer le CO<sub>2</sub>.

- **Système Osmose inverse 2ème passage :**

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Deux unités d'osmose sont incluses, l'une en service la deuxième en attente. C'est la même opération qu'on trouve dans le premier passage sauf que l'eau sort avec une solution moins concentrée que le premier passage.

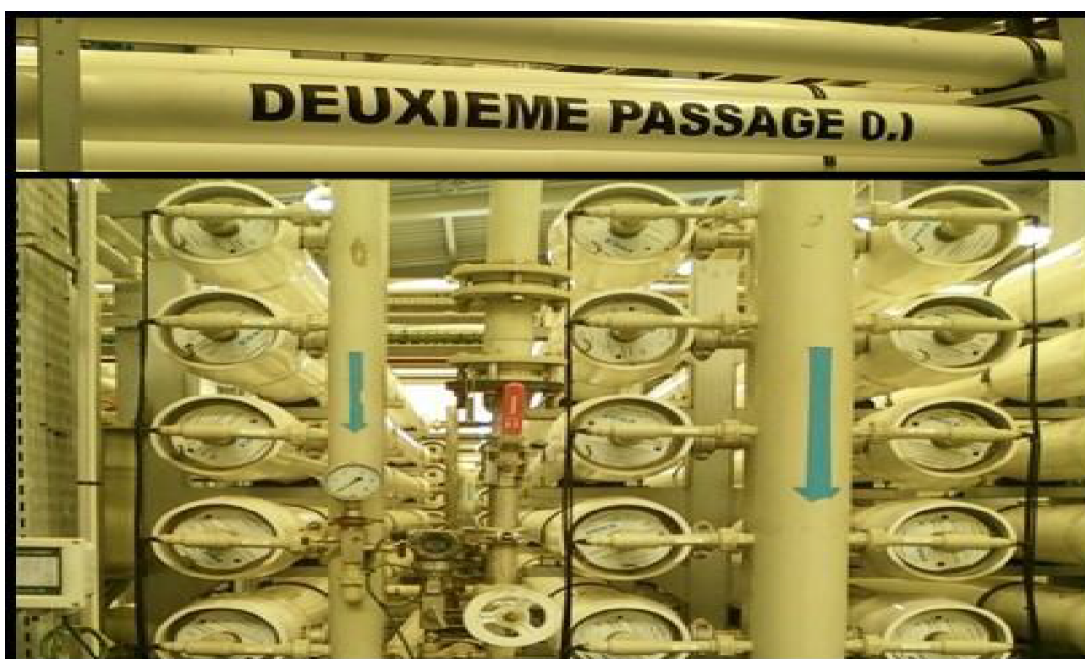


Figure 10 : deuxième passage osmose inverse

- **Les lits mixtes :**

L'eau osmosée s'alimentera des lits d'échange ionique au moyen afin d'éliminer le potassium et le sodium.

| La qualité d'eau   | Déminéralisée               |
|--------------------|-----------------------------|
| Conductivité       | < 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ |
| Sodium + Potassium | < 0.5 mg/l                  |
| Silice total       | < 0.5 mg/l $\text{SiO}_2$   |
| Calcium            | < 0.5 mg/l $\text{Ca}^{2+}$ |

Figure 11 : Les Caractéristiques de l'eau déminéralisée

Chaque unité contient un mélange de résines type de degré uniforme, cationique fort, anionique fort et résines inerte. L'effet du mélange de résines est la formation d'une infinité de paires cation/anion qui permettent l'élimination des bas niveaux d'ions présents dans l'eau osmosée, pour obtenir de l'eau déminéralisée de grande qualité. Une fois la résine saturée, la

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

régénération se fait par l'acide  $H^+$  et la soude  $OH^-$ . L'eau déminéralisée doit avoir la propriété  $6 < pH < 7.8$ .

- **Système de régénération :**

La régénération du lit se réalisera en séparant en premier lieu les résines lorsqu'elles seront épuisées au moyen d'un simple contre lavage à contre-courant, suivi du passage des solutions régénératrices d'acide sulfurique et hydroxyde de sodium dilués (aspiration et déplacement).

Finalement, avant la mise en service, le lit de résines mélangées est soumis à un rinçage final (lavage rapide), dans le but d'éliminer les restes de régénérateurs qui seront restés à l'intérieur. Le rinçage est envoyé à l'écoulement jusqu'à une valeur préfixée de conductivité, à partir de laquelle, l'eau est récupérée jusqu'à atteindre la valeur de qualité requise pour l'envoi au réservoir d'eau déminéralisée.

- **L'eau osmosée** sera stockée dans un réservoir de  $30m^3$  où les pompes l'aspirent pour l'alimentation du système de déminéralisation.

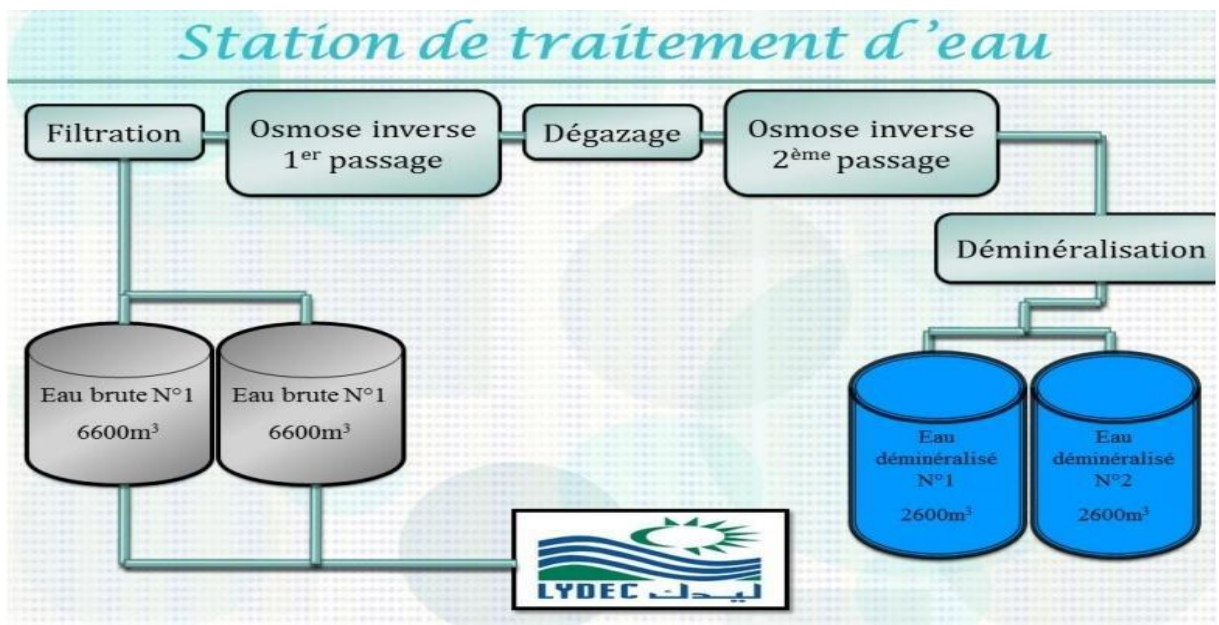


Figure 12 : Station de traitement d'eau

### 3-2. Poste traitement de fuel :

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Le poste traitement fuel est composé de deux citernes fuel brut calorifugées parvenant de la SAMIR de 20899 m<sup>3</sup> chacune et une citerne gaz oil de 5882 m<sup>3</sup>, ainsi 8 lignes dont la capacité de 11,5 tonnes chacune.



Figure 13: Une citerne de fuel brute (2x20899m<sup>3</sup>)      Figure 14: Une citerne de gasoil (5882m<sup>3</sup>)

Le fuel certifié est stocké dans deux citernes de capacité 714 m<sup>3</sup> chacune, et le fuel traité est stocké après une certification, dans trois citernes calorifugées de capacité 3333 tonnes chacune, soit un total de 9999 tonnes.



Figure 15 : citerne de fuel certifié (2x714m<sup>3</sup>)      Figure 16 : Citerne de fuel traité (3x3333m<sup>3</sup>)

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

Les ailettes des turbines à gaz tournent à l'aide de la détente des gaz chauds de provenance de la combustion de fuel-oil ou gas-oil. Le problème qui se pose c'est que le fuel-oil contient des contaminants corrosifs (vanadium) et des contaminants de déposition (sodium, potassium) qui risquent d'endommager la turbine, c'est pour cela qu'il faut que ce dernier passe par plusieurs étapes de traitement à fin d'éliminer ces contaminants :

- ♣ Le préchauffage
- ♣ Le lavage à l'eau pour dessalement
- ♣ L'injection de l'inhibiteur de vanadium.

- **Préchauffage :**

Le préchauffage a pour but d'augmenter suffisamment la température du combustible au-dessus de son point d'écoulement pour permettre un écoulement sans problème et éviter un colmatage des filtres, et d'abaisser la viscosité du combustible afin de réduire la résistance à l'écoulement et de fournir une atomisation au niveau des buses de combustible.

- **Lavage à l'eau pour dessalement :**

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

L'enlèvement des sels minéraux sodium (NA) et potassium (K) se fait dans le poste traitement fuel. Il est constitué de 8 lignes dont la capacité de production est de 11,5 tonnes chacune, Chaque ligne étant constituée de deux étages comprenant chacun deux mélangeurs et deux séparateurs.



Figure 17 : poste traitement fuel

Le fuel est d'abord réchauffé puis émulsionné avec de l'eau déminéralisée préalablement chauffée, on ajoute à ce mélange un produit chimique (désémulsifiant) qui favorise l'extraction des sels solubles dans l'eau et la décomposition du fuel, après ce mélange est envoyé à des mélangeurs rotatifs, ensuite le fuel est séparé de l'eau, cette opération (mélange + séparation) est exécutée une deuxième fois.

Après la séparation, le fuel est stocké dans deux bacs 750 m<sup>3</sup>, après l'analyse des échantillons (Na+K < 1 ppm), le fuel est transféré vers trois bacs fuel traité de 3333 m<sup>3</sup>, sinon on le renvoie vers les bacs du fuel brute.

|              | Fuel- brut | Fuel- traité |
|--------------|------------|--------------|
| Sodium (ppm) | Max 50 ppm | Na+K < 1ppm  |

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

|                        |                 |                   |
|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Potassium (ppm)</b> | Max 35 ppm      |                   |
| <b>Vanadium (ppm)</b>  | Max 90 ppm      | <b>Max 90 ppm</b> |
| <b>Plomb</b>           | <b>Max 1ppm</b> | <b>&lt; 1ppm</b>  |

Figure 18 : Qualité du Fuel avant et après traitement par lavage à l'eau déminéralisée

- **Ajout d'un inhibiteur de vanadium :**

Le vanadium peut aussi provoquer une corrosion à chaud des pales de la turbine, mais il n'est pas éliminé par le lavage à l'eau car il est présent dans le combustible sous forme complexe oléo-soluble. L'action corrosive peut être inhibée par l'ajout d'un additif au magnésium homologué au combustible pour donner un rapport minimum de 3 pour 1 du poids de magnésium pour le vanadium. Il est aussi recommandé que ce rapport n'excède pas 3,5 pour 1 pour minimiser les dépôts.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

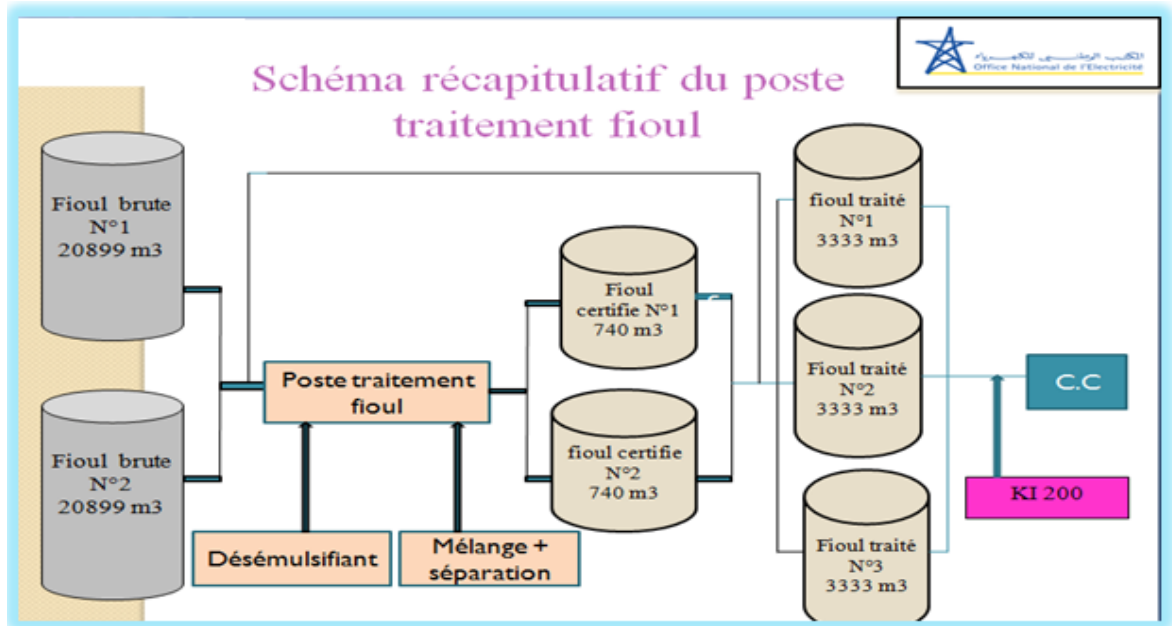


Figure 19 : Synoptique décrivant le principe d'une turbine à gaz

### 3-3. Turbine :

#### 3-2-1 : Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz

La turbine à gaz est une machine thermodynamique qui transforme l'énergie calorifique (thermique) en énergie mécanique par un procédé continu qui comprime l'air, le chauffe, le brûle avec un combustible, ces gaz de combustion se détendent au niveau de la turbine.

La puissance développée par la turbine sert à l'entraînement du compresseur axial, de certains auxiliaires et principalement l'alternateur.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

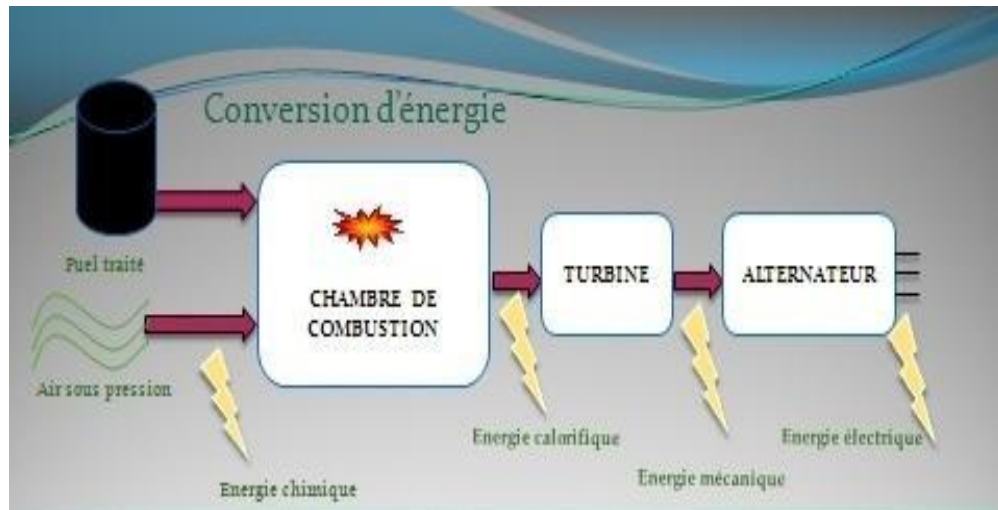


Figure 20 : Synoptique décrivant le principe d'une turbine à gaz

Les gaz résultants de la combustion, soit du gasoil ou du fuel lourd traité sont utilisés comme force motrice pour la turbine, on dit que c'est une turbine à action, car la détente s'effectue uniquement dans les directrices (elles dirigent les gaz chauds avec une précision vers les ailettes des roues turbine pour les déplacer).

Le fonctionnement thermodynamique de la turbine à gaz en cycle simple peut être schématisé par les transformations suivantes :

- Aspiration et compression de l'air ambiant
- Combustion
- Détente des gaz brulés
- Echappement à l'atmosphère

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

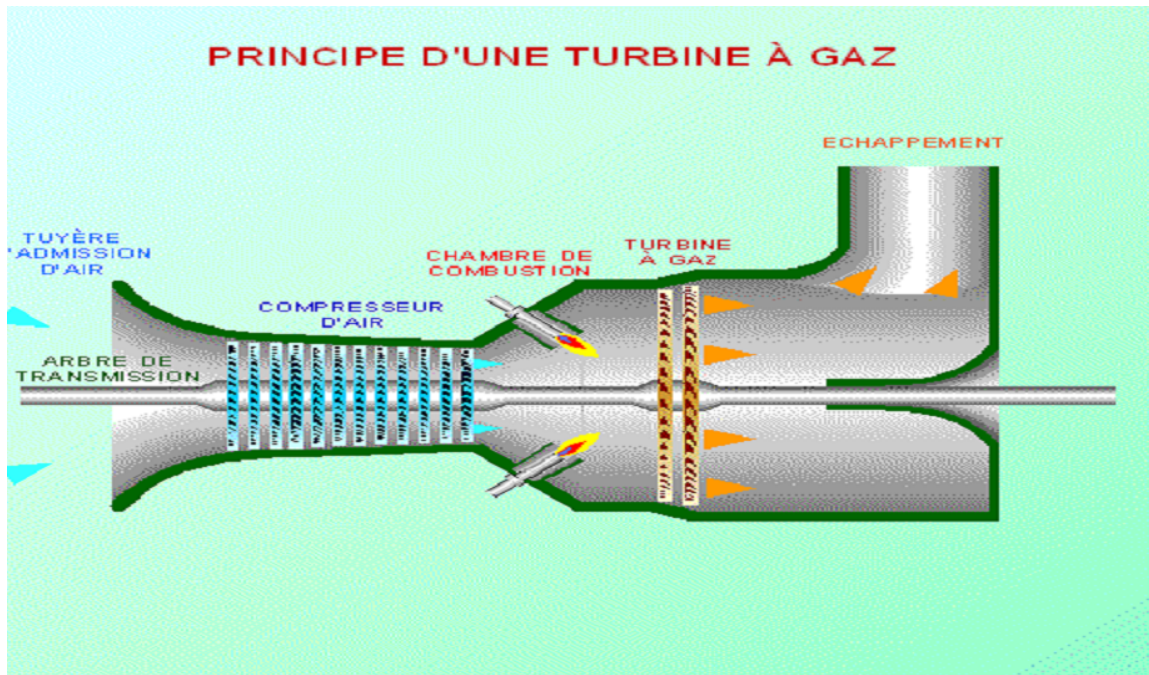


Figure 21 : Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz

### ♣ Aspiration :

Le système d'aspiration est constitué d'une gaine, d'un silencieux à baffles parallèles pour atténuer les bruits et d'un grillage. Après il y'a un filtre à air.

### ♣ Compression :

Le compresseur utilisé est du type axial. Il comporte dix-sept étages, chacun étant constitué d'un aubage mobile (rotor) et d'un aubage fixe (stator).

L'augmentation progressive de la pression de l'air d'étage en étage est obtenue par la réduction de la vitesse de l'air dans aubes fixes. C'est-à-dire que lorsque l'air, mis en mouvement de rotation par l'aubage mobile, atteint la partie fixe sa vitesse diminue et sa pression augmente.

### ♣ Combustion :

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

A la sortie du compresseur, l'air pénètre dans le système de combustion composé de 14 chambres à travers les injecteurs.

#### ♣ **Détente :**

La turbine 9001EA possède trois étages. Le mélange gaz chauds-air issu du système de combustion est guidé vers la première directrice par ce qu'on appelle les pièces de transition qui assurent une répartition homogène des gaz chauds. Après s'être partiellement détendus en traversant la première directrice, ces gaz arrivent sur la première roue de la turbine avec un mouvement tourbillonnaire par rapport à l'axe de la machine. A ce stade, l'énergie cinétique acquise par les gaz est importante et elle se transforme en énergie mécanique pour faire tourner le rotor.

Lorsqu'il atteint la première roue, le mélange gazeux s'est refroidi au cours de la détente à travers la première directrice de manière à atteindre une température telle que les contraintes thermiques sur la première roue soient admissibles, et le processus se répète dans le deuxième et troisième étage de la turbine.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Figure 22 : Schéma synoptique de fonctionnement d'une turbine à gaz à compresseur axial

### ♣ Echappement :

Les gaz d'échappement sont ensuite évacués vers l'atmosphère à travers une gaine comportant un silencieux.

Dès que le système de démarrage de la turbine est activé, l'air ambiant est aspiré, filtré puis compressé dans les 17 étages du compresseur axial. Pour empêcher le pompage du compresseur au démarrage, des vannes d'extraction d'air du 11ème étage (vannes anti pompage) sont ouvertes et des aubes orientables (I.G.V.) situées à l'entrée du compresseur sont en position "fermée".

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

A la fin de la séquence de démarrage, vers 95% de vitesse, les vannes d'extraction d'air du 11ème étage se ferment et les aubes mobiles (IGV) à l'entrée du compresseur se positionnent à la valeur de fonctionnement en marche à vide.

L'air comprimé en provenance du compresseur pénètre dans l'espace annulaire à la périphérie des 14 chambres de combustion, d'où il s'introduit entre les enveloppes intermédiaires et les tubes de flamme.

Les injecteurs introduisent le combustible dans chacune des 14 chambres de combustion où il se mélange à l'air. L'allumage s'effectue grâce à deux bougies rétractables (mais une seule est suffisante pour effectuer l'opération).

Au moment où l'allumage se produit au niveau d'une des deux bougies équipant ces chambres, la combustion se propage dans les autres chambres à travers des tubes d'interconnexion qui les relient entre elles au niveau de la zone de combustion. A peu près à 50 % de la vitesse nominale de la turbine, la pression régnant à l'intérieur des chambres de combustion est suffisante pour provoquer le retrait des électrodes des bougies afin de le protéger du rayonnement des flammes.

Les gaz chauds issus des chambres de combustion se propagent à travers les pièces de transition emboîtées à l'extrémité arrière de chaque tube de flamme pour traverser ensuite les trois étages turbine où ils se détendent. Chaque étage se compose d'un ensemble d'aubes fixes suivies d'une rangée d'aubes mobiles. Dans chaque rangée d'aubes fixes, l'énergie cinétique du jet de gaz augmente, en même temps que la pression chute. Dans la rangée adjacente d'aubes mobiles, une partie de l'énergie cinétique du jet est convertie en travail utile transmis au rotor de la turbine sous la forme d'un couple mécanique.

Après leur passage dans les aubes du troisième étage, les gaz d'échappement traversent le diffuseur, qui comporte une série de déflecteurs ou aubes de

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

guidage transformant la direction axiale des gaz en direction radiale et diminuant ainsi les pertes à l'échappement. Puis les gaz sont envoyés dans le cadre d'échappement. La rotation résultante de l'arbre entraîne le rotor de l'alternateur et certains auxiliaires

#### **3-2-2 : Description des compartiments des turbines :**

La centrale est composée de 3 turbines. Chaque turbine se compose de quatre parties:

- a- Salle de commande,
- b- Compartiment des auxiliaires,
- c- Compartiment de la turbine,
- d- Le compartiment réducteur de vitesse

#### **a- Salle de commande :**

Elle comporte les appareils de commande de supervision et d'informations nécessaires au fonctionnement de la machine (turbine, alternateur), les voyants lumineux qui permettent les manœuvres, la surveillance et l'assurance du bon fonctionnement, et ainsi les cassettes de contrôle et surveillance des moteurs (aéro-réfrigérants, pompes,...). Elle est composé de :

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



Figure 23 : salle de commande

♣ **L'armoire de contrôle de la turbine :**

C'est l'armoire de régulation et de commande de la turbine désignée plus couramment par armoire SPEEDTRONIC.

Elle comporte les appareils indicateurs ainsi que les voyants lumineux qui permettent les manœuvres, la surveillance et l'assurance du bon fonctionnement de la turbine.

♣ **L'armoire de l'alternateur :**

L'armoire de protection alternateur et transformateur comporte tous les appareils de protection pour garantir la stabilité et le bon fonctionnement de l'alternateur et du transformateur.

**b- Le compartiment des auxiliaires :**

Il est situé au dessous du caisson d'aspiration d'air, et comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant de la turbine.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

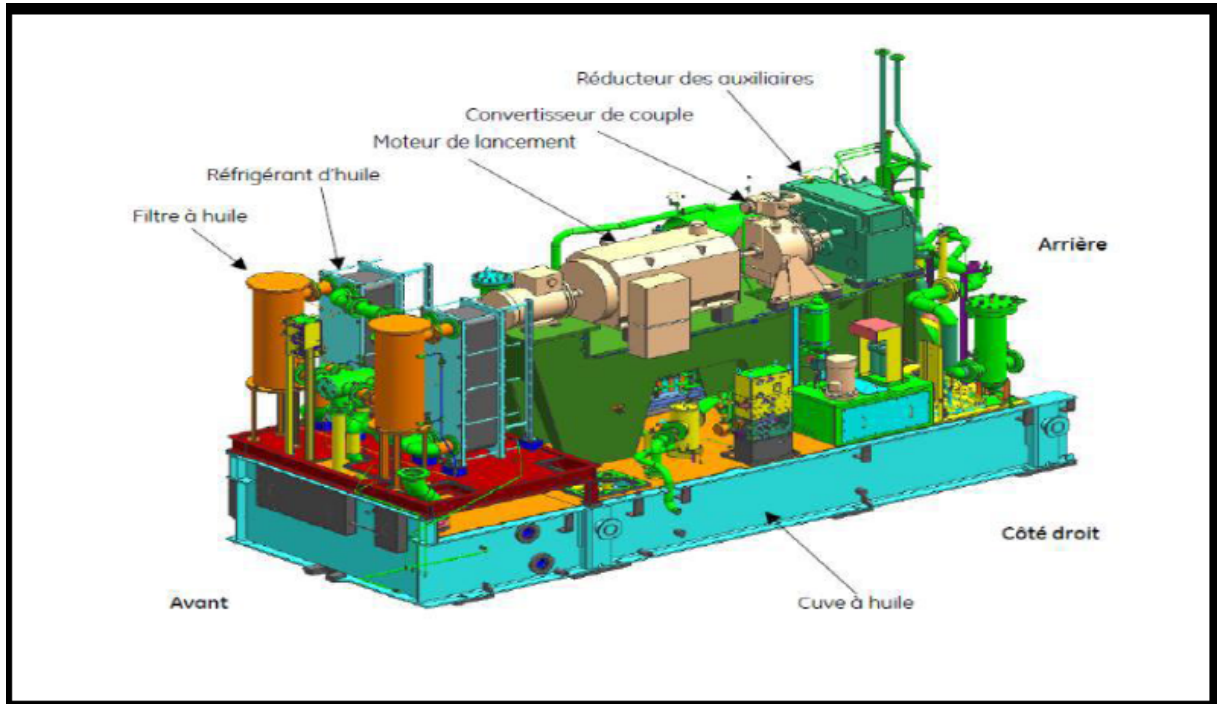


Figure 24 : Le compartiment des auxiliaires

Il est constitué de:

♣ **Moteur de lancement :**

Un moteur électrique qui sert à entraîner l'arbre de turbine à une vitesse bien déterminée pendant le démarrage jusqu'à la sustentation de la turbine.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



Figure 25 : Le moteur de lancement

### ♣ Convertisseur de couple :

C'est un élément qui convertit le couple donné par le moteur de lancement pour pouvoir tourner l'arbre de la turbine, il est menu d'une pompe à huile entraînée par le moteur de lancement.



Figure

26 : Le convertisseur de couple

### ♣ Le réducteur des auxiliaires :

C'est un ensemble de roues dentées actionnées par l'arbre turbine pour entraîner la pompe à huile HP, pompe de graissage, compresseur principal et pompe de combustible.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



Figure 27 : Les roues dentées du réducteur

♣ **Le vireur :**

C'est un moteur électrique qui fait tourner l'arbre turbine après son arrêt pour le refroidir afin d'éviter sa déformation. La vitesse de rotation est d'environ 130 tr/mn.

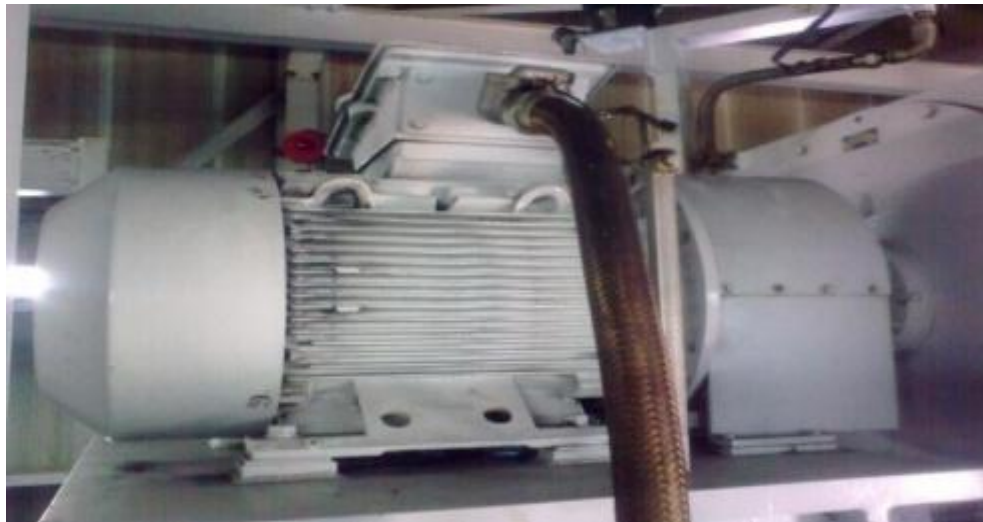


Figure 28 : le vireur

**c-Le compartiment turbine:**

Constitué du compresseur axial, les injecteurs, les chambres de combustion, la turbine et le cadre d'échappement.

♣ **Le compresseur axial :**

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

La section compresseur à débit axial se compose d'un rotor et d'une série de corps.

Les corps renferment les aubes orientables, les 17 étages du rotor et l'aubage du stator, ainsi que les deux rangées d'aubes fixes de guidage.

Dans le compresseur, l'air est mis en rotation par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et subit une augmentation de vitesse. En franchissant ensuite une rangée d'aubes fixes (stator), la vitesse de l'air diminue et sa pression augmente.

Les aubes du rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage et les aubes du stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant.

A la sortie du corps d'échappement du compresseur, l'air est dirigé vers les chambres combustion. Une partie de l'air du compresseur est utilisée pour le refroidissement de la turbine, l'étanchéité des paliers et la commande des vannes anti-pompage.

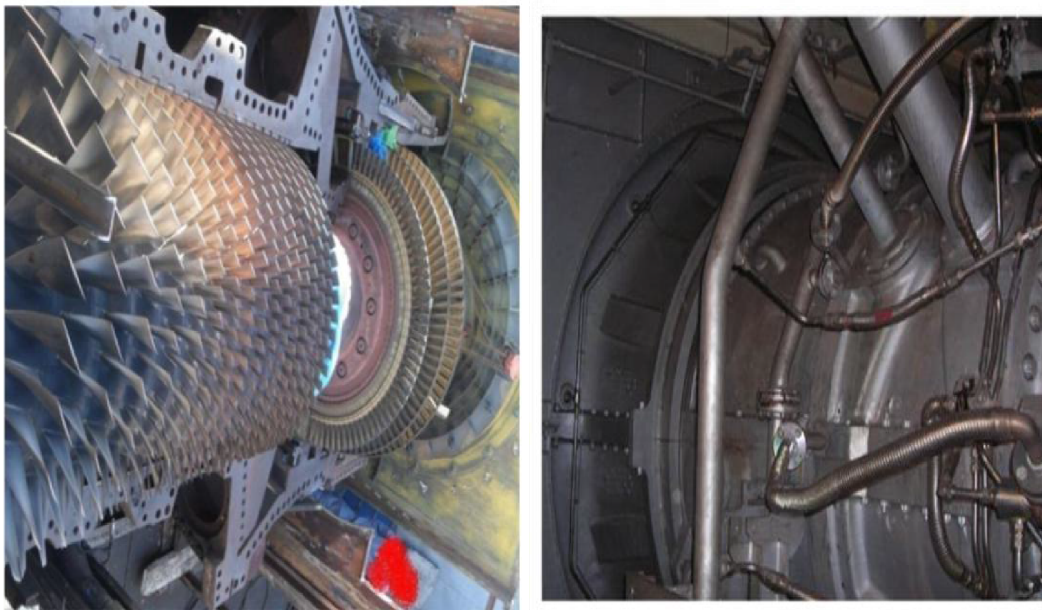


Figure 29 : Le compresseur axial

- ♣ **Rotor du compresseur** : Le rotor du compresseur se compose de quinze disques, de deux arbres et de tirant. Chacun des disques est doté d'entailles brochées à leur périphérie.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

♣ **Stator du compresseur** : L'ensemble de la section compresseur se compose de quatre parties principales :

-Le corps d'admission. - Le corps avant du compresseur. - Le corps arrière du compresseur. - Le corps d'échappement du compresseur. Ces éléments, avec le corps turbine et le cadre d'échappement constituent la structure principale de la turbine à gaz. Ils supportent le rotor au droit des paliers et constituent l'enveloppe extérieure de la veine des gaz chauds.

♣ **La Turbine** :

La turbine est utilisée pour capter l'énergie contenue dans les gaz sous forme de pression et de température pour la transformer en énergie mécanique.

Elle est composée de trois étages, chacun d'entre eux possède un anneau d'aubage fixe appelé directrice, suivi par une roue d'aubage mobile.

Le but des aubages directrices est de convertir l'énergie de pression des gaz présents à son entrée en vitesse des gaz à sa sortie et dirige ceux-ci vers les aubages mobiles de la turbine. La section turbine comprend le rotor, le corps, les directrices, les segments de protection. C'est donc l'effet de l'énergie cinétique des gaz qui met en rotation l'arbre de la turbine.

**d- Les chambres de combustion :**

- Il y a 10 des chambres de combustion situées à l'entrée de la turbine.
- deux bougies d'allumages montés sur la chambre 1 et 10.
- 4 détecteurs de flammes montés sur les chambres 2, 3, 7 et 8.

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



Figure 30 : Les chambres de combustion

L'air en sortie du compresseur pénètre dans l'espace annulaire entourant chacun des 14 tubes de flamme. L'air comprimé qui entoure le tube de flamme, passe radialement à travers la cloison de celui-ci par des séries de petits trous. Le combustible est introduit dans chaque chambre de combustion par un injecteur, et se mélange à l'air. L'allumage s'effectue grâce à deux bougies rétractables (mais une seule est suffisante pour effectuer l'opération). Les autres chambres sont allumées par propagation de la flamme d'une chambre à l'autre par l'intermédiaire des tubes d'interconnexion reliant entre elles les zones de réaction des différentes chambres à combustion.

Le rôle des chambres de combustion est de fournir les calories nécessaires au cycle thermodynamique de fonctionnement de la turbine.

#### e- Le compartiment réducteur de vitesse :

C'est un réducteur à base de pignon, situé après la turbine (entre la turbine et l'alternateur), Il réduit la vitesse de rotation de la turbine de 5100 tr/mn pour fournir l'alternateur une vitesse de 3000tr/mn.

Cet ensemble de roues dentées actionnées par l'arbre Turbine pour entraîner :

- ♣ Pompe à huile à haute pression.
- ♣ Pompe de graissage.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

- ♣ Pompe de combustible.
- ♣ Compresseur pompe d'eau de refroidissement.
- ♣ L'aspiration d'air d'atomisation.

### 3-4. L'alternateur :

Un alternateur est une machine électrique synchrone tournante, qui fonctionne en mode génératrice et produit de l'énergie électrique alternative.

Il convertit une puissance mécanique, qu'il absorbe sous la forme de rotation, en puissance électrique, qu'il délivre sous forme alternative.

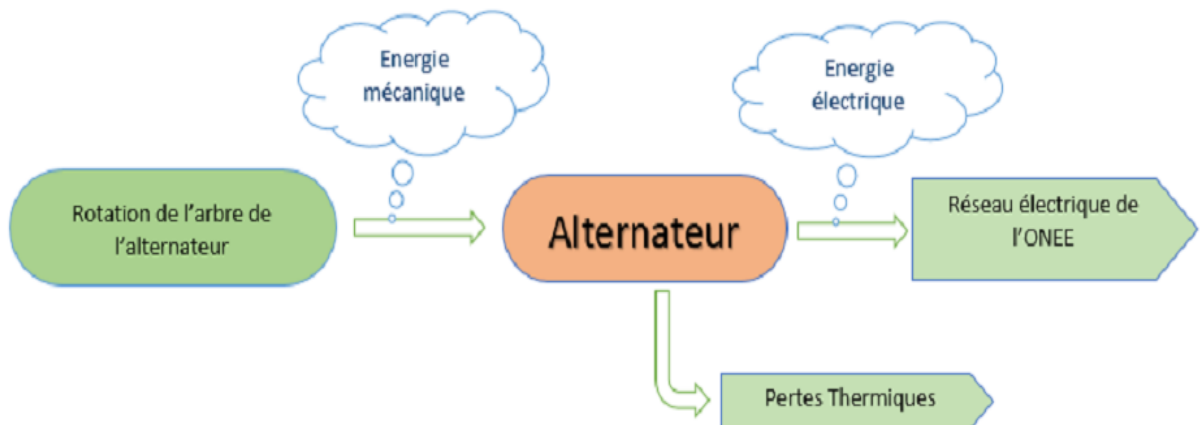


Figure 31 : Principe de fonctionnement de l'alternateur

L'alternateur est entièrement fermé, à refroidissement eau-air est conçu pour un fonctionnement avec de l'air à titre de fluide de refroidissement. L'air de ventilation est diffusé par des ventilateurs qui se trouvent à l'extrémité du rotor alternateur. Le champ de rotation excité séparément est soutenu par les paliers d'extrémité qui se trouvent à chaque extrémité du bâti de l'alternateur.

Malgré la présence de pertes dues à la chaleur dégagée lors de la conversion mécanique/électrique car elle ne peut pas être totale et parfaite, le rendement de l'alternateur reste loin d'être critiqué (95%).

L'alternateur de chaque turbine de la centrale possède 2 circuits indépendants :

- ♣ Bobinage

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

♣ circuit d'induit de l'alternateur

### Alternateur de secours :

Au black-out et lors de perte d'énergie au réseau national, les équipements vitaux de la centrale auront aucune source de tension, c'est pourquoi il est toujours nécessaire d'équiper la centrale d'un groupe diesel (couramment appelé diesel de secours), ce dernier délivre une tension de 400V avec une puissance apparente de 2.5 MVA.

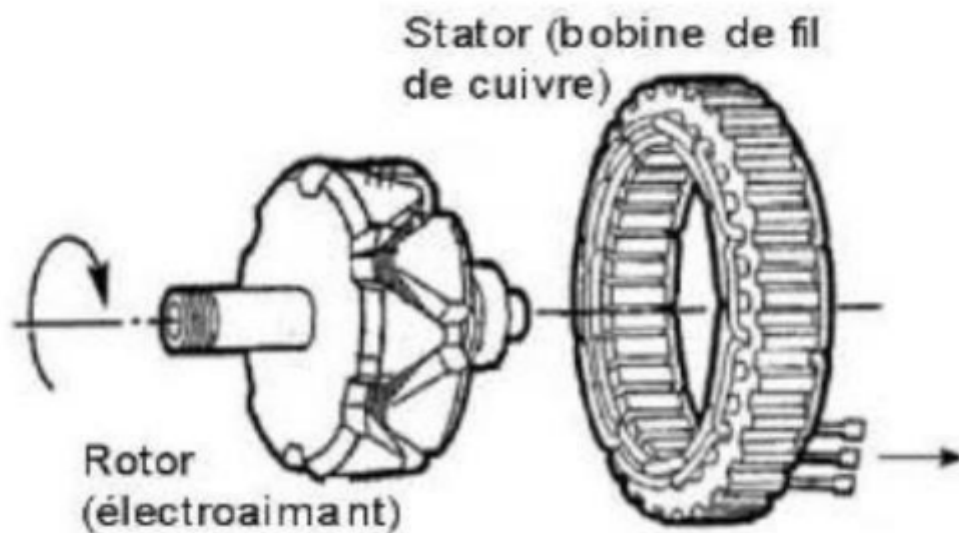


Figure 32: Bobinage et circuit d'induit de l'alternateur

• **Le bobinage d'excitation** : il est constitué d'un bobinage enroulé sur rotor et traversé par le courant continu ( $I_e$  d'excitation) délivré par une génératrice à courant continu qui constitue une source d'alimentation externe, appelée excitatrice. Elle est habituellement montée sur le même arbre que l'alternateur. Ce bobinage permet la création des pôles magnétiques rotoriques et l'instauration d'un flux de donné dans le circuit magnétique.

• **le circuit d'induit** : il est constitué des trois bobinages de fils de cuivre triphasés, de constitution symétrique, pratiqué sur le stator de façon répartie, et par lesquels transite la puissance électrique de la machine.

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

L'inducteur (le rotor), composé d'électro-aimants, est tournant, alors que l'induit, servant à récupérer l'énergie produite sous forme d'électricité, est fixe (le stator).

Il s'agit d'une machine synchrone car le rotor tourne à la même vitesse que le champ électrique tournant du stator. La vitesse du rotor est rattachée à la turbine : c'est la vitesse de la turbine elle-même. L'arbre qui relie la turbine et le rotor fera tourner ce dernier afin de former un champ magnétique à l'intérieur de l'alternateur. Ce sera ce champ qui engendrera le déplacement d'électrons, transformé en courant électrique alternatif dans le stator, dont la fréquence est déterminée par la vitesse de rotation du rotor.

Pour l'alternateur dont dispose la TAGM2, ils sont au nombre de 3 : chacun accompagne un système turbine particulier. Les caractéristiques principales d'un alternateur de cette centrale sont :

- ♣ La puissance produite est de :  $S=133\text{MVA}$
- ♣ La tension délivrée au transformateur est de :  $U=14.5\text{KV}$
- ♣ Le courant circulant au niveau du stator est :  $I=5296\text{ A}$
- ♣ La fréquence de ce système générateur est la même que celle du réseau électrique et a pour valeur :  $f=50\text{Hz}$
- ♣ Le facteur de puissance est  $\cos \Phi= 0.8$
- ♣ La vitesse de rotation (commune) est :  $N=3000\text{tr/min}$
- ♣ Le nombre de pôles étant :  $p=1$

### 3-5. Les transformateurs :

- **Trois transformateurs principaux :**

Dans les trois turbines à gaz on trouve un transformateur de tension qui sert à élever la tension en sorti de l'alternateur de 14,5 KV à 225KV avec une puissance de 160MVA pour l'envoyer directement au réseau.

Ces transformateurs sont réversibles afin de satisfaire les besoins de la centrale en énergie électrique.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



Figure 33 : Transformateur principale

- **Deux transformateurs de soutirage:**

Ayant comme rôle d'abaisser la tension 14.5 KV provenant de l'alternateur ou du transformateur principal à une tension de 6.6 KV qui, à son tour attaque quatre transformateurs 6.6KV/400V qui assurent l'alimentation de tous les auxiliaires de la centrale (éclairage, moto pompe, climatisation....).



Figure 34 : Transformateur de soutirage

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

### Principales :



### Soutirages :



### Auxiliaires :



## 3-6. Auxiliaires Electriques :

### □ Groupe électrogène Diesel :

L'alimentation normale en courant alternatif des auxiliaires est assurée, pour chaque groupe, à partir de son transformateur de soutirage. L'alimentation de secours est assurée par un groupe Diesel de secours, dont le démarrage est automatique en cas d'absence de tension.

ce groupe Diesel, de puissance 750 KVA, permet d'assurer également le démarrage d'une turbine à gaz en cas de manque de tension sur le réseau électrique.

L'alimentation en courant continu de chaque groupe est effectuée en deux niveaux de tension: 48V et 125V.

Pour chaque tension, il est prévu un ensemble de batteries associé à 2 redresseurs.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

### 3-7. Deux chaudières :

La centrale turbine à gaz 300MW de Mohammedia est équipée de deux chaudières ayant pour rôle la production de l'eau surchauffée, afin de satisfaire différents usages, parmi ces usages :

- ♣ Chauffage des bacs de fuel (traité, brut, certifié) : en effet le fuel doit être à une température élevée 50 à 60°C pour rester liquide et éviter le colmatage, le fuel est chauffé par un serpentin qui traverse les bacs. La température de l'eau déminéralisée venant de la chaudière est 150 à 160 °C.
- ♣ le maintien de la température du fuel qui va intégrer la turbine: température entre 124 et 125°C et une pression de 4,7 bar. Il est chauffé par un serpentin d'eau chaude.

Le rôle d'une chaudière est essentiellement de transmettre de l'énergie apparaissant sous pression pour obtenir soit de l'eau surchauffée sous pression, soit de la vapeur ou un fluide à l'état supercritique devenant de la vapeur par détente. de plus, Un générateur de vapeur ou d'eau surchauffée est un réservoir métallique étanche et résistant dans lequel l'eau se transforme en vapeur ou en eau surchauffée en utilisant une énergie qui est le plus souvent en combustible. Ce dernier est consommé au niveau des brûleurs dans une chambre de combustion.

Suivant les caractéristiques de la vapeur ou de l'eau surchauffée et la nature de l'apport de chaleur la technologie des générateurs sera différente.

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



Figure 35 : les deux chaudières d'eau surchauffée de la central TAG2

Généralement une chaudière fonctionne en circuit fermé, le fluide chaud sort par une tuyauterie fixée sur sa partie haute et revient par une autre tuyauterie fixée sur sa partie basse après avoir circulé et s'être refroidi.

La TG2 utilise comme combustible le Gasoil pour le démarrage et l'arrêt, et le fuel pour le régime permanent. Et pour ceci, elle dispose de deux réservoirs pour le stockage du combustible de la chaudière.



Figure 36 : Réservoirs fuel et gasoil de la chaudière (25m³ chacune)

### 3-8. les Skids :

- Skid de transfert gasoil :

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Parmi les rôles du gasoil dans une centrale distingue :

- ♣ Alimenter de la turbine au démarrage à cause de la difficulté du démarrage directement au fuel lourd.
- ♣ Alimentation de la turbine au moment de l'arrêt pour rincer les conduites où le fuel lourd passe à fin d'éviter son colmatage.
- ♣ Alimentation des chaudières.
- ♣ Alimentation du groupe de diesel de secours.

- **Skid de transfert de fuel:**

Ce module transfère le fuel lourd du réservoir de stockage à l'entrée de la turbine, à une pression suffisante pour vaincre les pertes de charge des différents éléments constituant la ligne fuel et fournir la pression nécessaire à l'entrée de la turbine à gaz.

- **Skid de transfert d'eau :**

Le système d'injection d'eau est défini pour diminuer le niveau de NOx lorsque la turbine fonctionne avec du combustible liquide.

### 3-9. Groupe anti-incendie :

C'est un système d'injection d'eau en cas d'incendie, il est constitué de trois pompes, deux entraînées par deux moteurs électriques et l'autre par un moteur diesel. La pression de l'eau est maintenue à une valeur entre 7 et 8 bars pour que la réaction soit rapide en cas d'incendie.

## *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

### **Introduction :**

Dans le but de garantir au client le bon fonctionnement de son produit, le constructeur américain GE a fournie à l'ONE les performances optimales que les trois turbines peuvent atteindre dans des conditions de références bien précises à savoir :

- Une puissance produite de 99,174 MW
- Une consommation spécifique nette de 286,6 g/KWh

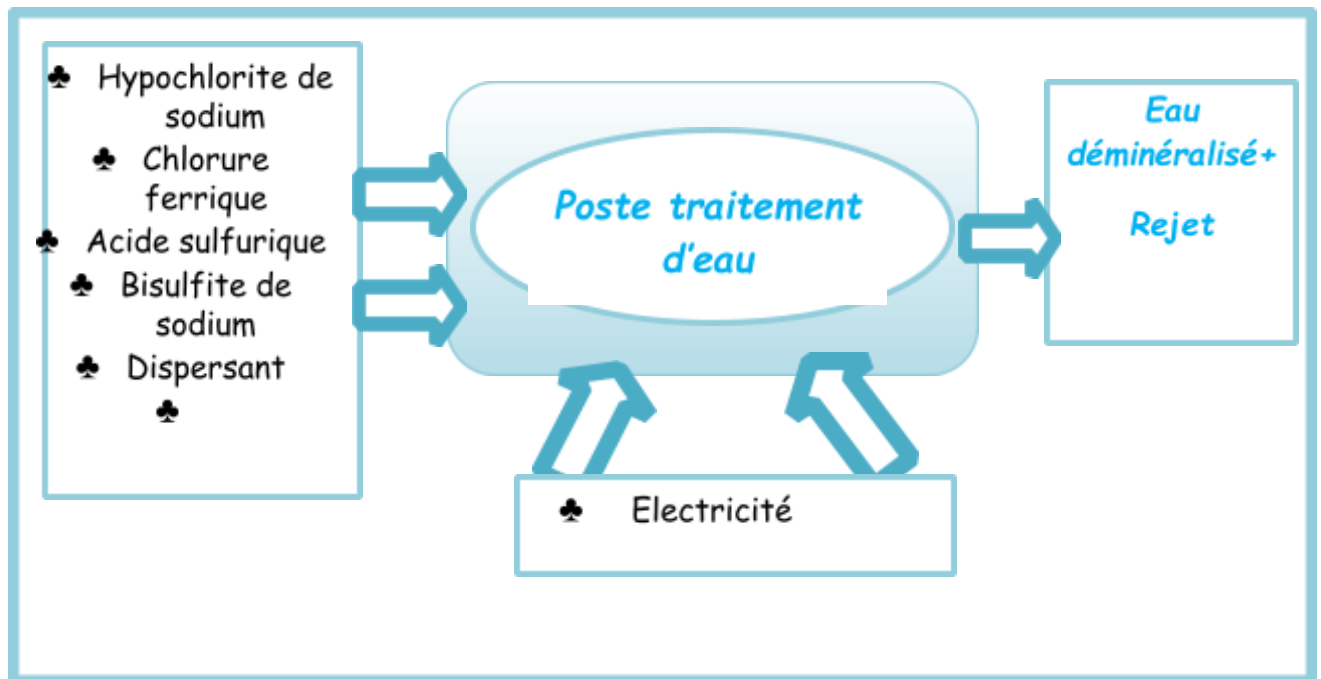
Mais en réalité la quantité du fuel qui se consomme pour la production d'un KWh est différente de celle de référence et de même pour la puissance produite. En effet, lors d'un essai réalisé sur terrain pour un fonctionnement en plein charge, on a pu constater un écart relatif la réalité et la référence. Ceci montre qu'en plus de la charge il existe d'autres paramètres extérieurs et intérieurs qui influencent la consommation spécifique. Dans ce cadre, on étudiera le degré d'influence de ses paramètres.

Dans cette partie, on essayera de faire une analyse économique pour la détermination du cout global relevant du procédé utilisé pour la production d'un KWh, en passant par les différentes postes de traitement.

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

### 1. Coût du traitement d'eau :

Afin de produire l'eau déminéralisée à partir de l'eau brute, on ajoute à ce dernier des aditifs compatibles à chaque étape de son traitement.



- On raisonne sur les débits volumiques d'entrée et de sortie PTE suivants :

| ENTREE                | SORTIE               |
|-----------------------|----------------------|
| 138 m <sup>3</sup> /h | 90 m <sup>3</sup> /h |

#### 1- Cout relevé au niveau des additifs :

Chaque aditif dans ce cas à un rôle spécifique :

| Installation concernée | Réactif | Quantités (kg/h) | Rôle | COUT (DHS /Kg) |
|------------------------|---------|------------------|------|----------------|
|                        |         |                  |      |                |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|                                |                                                    |       |                                                                                                                                                                                                                                                           |       |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Prétraitement avant filtration | Hypochlorite de sodium (NaOCl)                     | 2,346 | <ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Désinfectant pour inhiber la croissance des bactéries et des micro-organismes.</li> <li>♣ Oxydation du fer et du manganèse.</li> <li>♣ Peu améliorer la coagulation, et par conséquent la filtration.</li> </ul> | 2,75  |
|                                | Chlorure ferrique (FeCl <sub>3</sub> )             | 0,69  | ♣ coaguler les matières en suspension contenues dans l'eau brute                                                                                                                                                                                          | 3,8   |
|                                | Acide sulfurique (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | 0,69  |                                                                                                                                                                                                                                                           | 2,005 |
| Osmose inverse                 | Bisulfite de sodium (NaHSO <sub>3</sub> )          | 1,38  | ♣ Réducteur des composés oxydants                                                                                                                                                                                                                         | 5,5   |
|                                | Dispersant (Hydrox 4106)                           | 0,414 | ♣ Agent antitartre pour empêcher la formation de dépôt de sels à la surface des membranes                                                                                                                                                                 | 57    |
| Démminéralisation (lit mixte)  | Acide sulfurique (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | -     | ♣ Régénération de la résine cationique                                                                                                                                                                                                                    |       |
|                                | Oxyde de sodium (NaOH)                             | -     | ♣ Régénération de la résine anionique                                                                                                                                                                                                                     |       |

Figure 37 : les aditifs à l'eau

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

D'après le tableau précédant, on a la formule suivante :

$$\text{Cout d'additif (DH / h)} = \text{cout unitaire (DH / Kg)} \times \text{quantité (Kg / h)}$$

| PRODUIT CHIMIQUE               | COUT D'ADDITIF  |
|--------------------------------|-----------------|
| Nao Cl                         | 6,4515          |
| Fe Cl3                         | 2,622           |
| H2SO4 98 %                     | 1,38345         |
| Bisulfite de sodium            | 7,59            |
| Dispersant                     | 23,598          |
| Soude caustique 50%            | -               |
| <b>COUT GENERAL ( Dhs / h)</b> | <b>41,64495</b> |

Et pour 1 m<sup>3</sup> de l'eau brute on divise par 138 m<sup>3</sup>/h, donc le cout des additifs est :

|                                           |                                                                                            |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>COUT GENERAL (Dhs / m<sup>3</sup>)</b> | $\frac{41,64495 \text{ Dhs / h}}{138 \text{ m}^3 / \text{h}} = 0,301775 \text{ Dhs / m}^3$ |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|

*2- Cout relevé au niveau de l'électricité des équipements du PTE :*

Au niveau de l'électricité, la station du PTE fonctionne a l'aide de pompes qui consomment les plus de l'électricité et ancrent par conséquent dans le cout de traitement.

On a pour une heure de fonctionnement, et toujours pour la production suivante :

$$\text{Entrée (138 m}^3\text{/h)} \rightarrow \text{Sortie (90 m}^3\text{/h)}$$

| Consommation en KWh | Prix en Dhs /KWH (H.T) | Cout Dhs / h |
|---------------------|------------------------|--------------|
| 244,45              | 0,68                   | 166,226      |

En raisonnant sur 1 m<sup>3</sup> de l'eau brute, on divise cette consommation sur les 138 m<sup>3</sup> :

| Consommation KWh-1/m <sup>3</sup> | Prix en Dhs / KWh-1(H.T) | Cout Dhs / m <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1,77                              | 0,68                     | 1,2036                    |

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

### 3- Cout relevé au niveau des rejets (effluents liquides) :

Au niveau des rejets de la production, leurs couts se traduisent au niveau de la consommation en électricité pour la pompe volumétrique située derrière le bassin d'effluents afin de faire le vidange nécessaire des déchets liquides vers la mer.

Sans oublier le système de neutralisation par la soude et l'acide sulfurique avec contrôle de PH qui est aussi bien prévu; donc le cout d'utilisation de ces produits ancre dans le cout de traitement.

#### CONTRAINTE :

Comme on l'a déjà précisé dans la partie précédente (étude du procédé de traitement d'eau) au cours du traitement des effluents, on se procède par un système de dosage de réactifs (acide sulfurique et soude) pour la neutralisation : On ajuste a chaque fois le débit de réactifs jusqu'à arriver a une valeur de PH comprise entre 6 - 9 ; si la qualité de l'eau rejetée se caractérise par un PH bas on utilise la soude étant donné que c'est une base donc son rôle consiste de faire augmenter le PH jusqu'à l'intervalle souhaité si non si le PH est assez fort dans ce cas, on utilisera de l'acide sulfurique qui va favoriser de son rôle la baisse de la valeur du PH .

C'est ainsi qu'il est assez difficile, de prévoir de manière générale le cout relevant de cette opération car la dose des réactifs a injecter dans cette étape n'est pas précise mais on se limitera aux résultats donnés par le cahier de marches de la société durant notre période de stage (Juillet 2014), après on divisera par le nombre d'heures de marches du poste pendant ce mois afin de raisonner pour une heure de fonctionnement.

|  | H2SO4 | NaoH | Niveau | différence |
|--|-------|------|--------|------------|
|  |       |      |        |            |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|               |   |     | Réservoir |        |
|---------------|---|-----|-----------|--------|
| Le 01/07/2014 | - | Oui | 35,25 %   | 0,09 % |
| Le 31/07/2014 | - | Oui | 35,16%    |        |

Comme il est bien remarqué l'acide sulfurique n'a pas été utilisé durant cette période. Et connaissant la capacité du réservoir de NaOH (5m<sup>3</sup>), on déterminera facilement la quantité utilisée de la soude caustique.

- Volume utilisé de la soude :

$$5 \text{ m}^3 \times \frac{0.09}{100} = 4,5 \text{ litres}$$

- Débit rejeté :

$$138 - 90 = 48 \text{ m}^3/\text{h}$$

(On néglige La quantité utilisée pour le lavage des équipements et de la maintenance).

- Connaissant le nombre d'heures qu'à fonctionner le P.E.D durant la période indiquée : 30 heures, on calcule donc le débit volumique en soude pour une heure de fonctionnement :

$$Q_v = (4,5 \times 10^{-3}) / 30 = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{h}$$

Et pour transformer ce débit en masse, on recourt à la masse volumique de NaOH

Par l'intermédiaire de sa densité, on a ainsi :

$$D = \frac{\rho_{NaOH}}{\rho_{eau}} = 1,53 \quad \text{et avec : } \rho_{eau} = 1000 \text{ Kg / m}^3$$

On en déduit :  $\rho_{NaOH} = 1530 \text{ Kg / m}^3$

Et par suite : le débit massique de la soude utilisé dans les rejets vaut :

$$\rho = \frac{Q_m}{Q_v} \Leftrightarrow Q_m = \rho \times Q_v$$

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

$$Q_m = 1,5 \times 10^{-4} \times 1530 = 0,2295 \text{ Kg / h}$$

Ainsi, le cout de ce produit est :

| Quantité de NaOH (Kg/h) | Prix (Dhs / Kg) | Cout (Dhs / h) |
|-------------------------|-----------------|----------------|
| 0,2295                  | 2,529           | 0,5804055      |

Et pour 1 m<sup>3</sup> d'eau rejetée :

|                              |                                                                                            |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| COUT (Dhs / m <sup>3</sup> ) | $\frac{0,5804055 \text{ Dhs / h}}{48 \text{ m}^3 / \text{h}} = 0,012092 \text{ Dhs / m}^3$ |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|

En plus du cout précédent, on ajoute le prix de fonctionnement de la pompe servant au vidange de ces effluents ; il existe pour cela deux pompes l'une en service et l'autre en attente, donc on tiendra compte d'une seule et voyons la plaque signalétique de cette dernière de type volumétrique on lit les indications suivantes :

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Puissance active (KW) | 22   |
| Cos $\phi$            | 0,84 |
| Tension (V)           | 380  |

Pour une heure de fonctionnement :

$$\text{Puissance} = \frac{\text{Energie}}{\text{Temps}} \Leftrightarrow \text{Energie} = \text{Puissance} \times \text{Temps}$$

Ainsi :  $\text{Energie} = 22 \times 1\text{h} = 22 \text{ KWh}$

| Consommation (KWh) | Prix (Dhs/ KWh) | Cout ( Dhs ) |
|--------------------|-----------------|--------------|
| 22                 | 0,68            | 14,69        |

Ce cout est relatif pour les 48 m<sup>3</sup>/h aspirés du bassin d'effluents, pour en obtenir juste pour 1 m<sup>3</sup>, on divise par 48 m<sup>3</sup> :

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

|                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| Cout de consommation de la pompe | 0,306 Dhs / m <sup>3</sup> |
|----------------------------------|----------------------------|

Par conséquent le cout relevé au niveau des rejets est :

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| Cout rejets (Dhs/m <sup>3</sup> ) | 0,318092 |
|-----------------------------------|----------|

**CALCUL DU COUT GLOBAL POUR LE TRAITEMENT D'UN m<sup>3</sup> D'Eau brute :**

Cout général de traitement = Cout d'électricité + Cout des additifs + Cout des rejets

A.N: Cout général = 1,2036 + 0,301775 + 0,318092

$$\text{COUT} = 1,82 \text{ DHs / m}^3$$

**N.B :** Le cout précédant est estimé sans tenir compte des charges d'exploitation et de maintenance, aussi bien que sans tenir compte du traitement suivant l'injection de

Nao cl a l'eau brute qui se fait avant l'entrée au poste E.D.

-Pour obtenir le surcoût relevant de l'ajout du prix de l'eau brute entrant au P.E.D, on a :

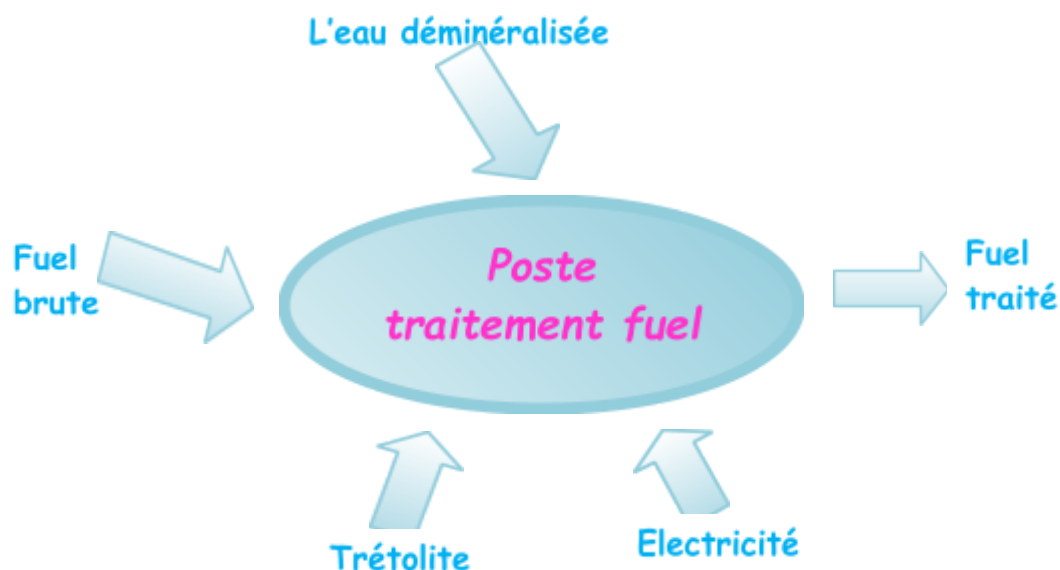
Surcoût = Cout d'électricité + Cout des additifs + Cout des rejets + Cout d'1 m<sup>3</sup> d'Eau brute

$$\text{Surcoût} = 1,2036 + 0,301775 + 0,318092 + 11,5$$

$$\text{Surcoût} = 13,32 \text{ DH / m}^3$$

**2. Coût du traitement du fuel :**

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



|                                          |              |
|------------------------------------------|--------------|
| cout d'injection eau déminéralisée       | 1 206 323,14 |
| Qtité fuel brut (t)                      | 113 206,00   |
| Cout d'injection de trétolite            | 1 731 889,15 |
| Cout de l'énergie thermique              | 1 505 639,80 |
| Cout de l'énergie électrique             | 113 383,30   |
| Cout des rejets                          | 520 747,60   |
| Cout traitement fuel pour l'année 2013   | 5 077 982,99 |
| Cout traitement fuel par tonne pour 2013 | 44,85612942  |

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Consommation du KWH / t                | 1,286037736 |
| Consommation électrique pour 2013      | 145587,1879 |
| Cout du KWH                            | 0,7788      |
| Cout de l'énergie électrique           | 113 383,30  |
| Cout de l'énergie électrique par tonne | 1,001566189 |

|                                              |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| Qtité eau déminéralisée (m3)                 | 90564,8     |
| Cout eau traitée                             | 13,32       |
| cout d'injection eau déminéralisée           | 1206323,136 |
| Cout d'injection eau déminéralisée par tonne | 10,656      |

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|                                         |             |
|-----------------------------------------|-------------|
| Qtité de trétolite (kg)                 | 52995       |
| Cout trétolite                          | 32,68       |
| Cout d'injection de trétolite           | 1731889,149 |
| Cout d'injection de trétolite par tonne | 15,29856323 |

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| Consommation en énergie thermique par h     | 1731      |
| Cout du KWH thermique / tonne de fuel       | 13,3      |
| Consommation en énergie thermique pour 2013 | 4259991   |
| Cout de l'énergie thermique                 | 1505639,8 |

### 3. Coût du KWh :

Afin de comprendre le principe, on va calculer le coût du KWh pour la centrale pour l'année 2013 :

- Quantité de fuel consommée : **107010 T**
- Prix du fuel : **2371 DH**
- Prix traitement d'un tonne : **44,85612942 DH/T**
- Quantité de gasoil consommée : **2706,93T**
- Prix du gasoil : **8032 DH**
- Production nette : **365033 M KWh**

□ Cout du KWh combustible :

$$(107010 \times 2371 + 2706,93 \times 8032) / (365033 \times 10) = 76,791846 \text{ cDH/KWh}$$

□ Cout du combustible chaudière :

$$(1059,81 \times 8032 + 435,71 \times 2371) / (365033 \times 10) = 2,614905408 \text{ cDH/KWh}$$

□ Cout de traitement :

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

$$(107010 \times 44,85612942) / (365033 \times 10) = 1,314965 \text{ cDH/KWh}$$

□ **Cout du combustible total :**

$$76,791846 + 2,614905408 + 1,314965 = 80,72172 \text{ cDH/KWh}$$

- Quantité de KI 200 consommé : **144463 Kg**
- Prix d'un Kg de KI 200 : **33,34 DH**

□ **Cout du KI 200 consommée par KWh :**

$$144463 \times 33,34 = 1,31944137 \text{ cDH/Kwh}$$

□ **Cout du KWh avec KI 200 :**

$$80,72172 + 1,31944137 = 82,04 \text{ cDH/KWh}$$

Et de même pour les autres TG.

## Calcul du cout du KWh

|           | T)Consommation Fuel-oil) |       |       |          | T)Consommation Gaz-oil) |         |        |         |
|-----------|--------------------------|-------|-------|----------|-------------------------|---------|--------|---------|
|           | TG5                      | TG6   | TG7   | centrale | TG5                     | TG6     | TG7    | Total   |
| janvier   | 7776                     | 5430  | 3480  | 16686    | 241,65                  | 138,03  | 114,87 | 494,55  |
| février   | 2487                     | 3345  | 0     | 5832     | 70,89                   | 105,77  | 0,00   | 176,66  |
| mars      | 1990                     | 864   | 769   | 3622     | 82,96                   | 38,50   | 39,08  | 160,53  |
| avril     | 0                        | 7245  | 4514  | 11759    | 0,00                    | 104,27  | 54,24  | 158,51  |
| mai       | 3347                     | 1432  | 1248  | 6026     | 121,71                  | 44,81   | 27,95  | 194,47  |
| juin      | 2415                     | 4333  | 1797  | 8545     | 102,17                  | 71,75   | 47,09  | 221,01  |
| juillet   | 3282                     | 7927  | 1466  | 12675    | 19,07                   | 119,31  | 25,20  | 163,58  |
| août      | 5049                     | 6129  | 419   | 11596    | 92,78                   | 151,64  | 16,02  | 260,44  |
| septembre | 2492                     | 4015  | 203   | 6710     | 66,76                   | 109,34  | 15,09  | 191,19  |
| octobre   | 1412                     | 5373  | 767   | 7552     | 44,83                   | 146,44  | 31,87  | 223,15  |
| novembre  | 0                        | 1516  | 1995  | 3511     | 0,00                    | 74,23   | 107,10 | 181,34  |
| décembre  | 4697                     | 1180  | 6618  | 12495    | 80,91                   | 54,04   | 146,56 | 281,51  |
| Annuel    | 34946                    | 48789 | 23275 | 107010   | 923,73                  | 1158,12 | 625,07 | 2706,93 |

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| MWH)Production nette) | Consomation KI200 (Kg) |
|-----------------------|------------------------|

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|           | TG5    | TG6    | TG7   | Total  | TG5   | TG6   | TG7   | Total  |
|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| janvier   | 27378  | 18937  | 12159 | 58474  | 10498 | 7330  | 4697  | 22525  |
| février   | 8577   | 11541  | 0     | 20118  | 3357  | 4516  | 0     | 7873   |
| mars      | 6828   | 2903   | 2476  | 12206  | 2686  | 1166  | 1038  | 4890   |
| avril     | 0      | 24100  | 15400 | 39500  | 0     | 9781  | 6094  | 15875  |
| mai       | 11220  | 4801   | 4239  | 20261  | 4518  | 1933  | 1685  | 8136   |
| juin      | 8117   | 14566  | 6049  | 28733  | 3260  | 5850  | 2425  | 11535  |
| juillet   | 11137  | 26904  | 4976  | 43017  | 4430  | 10702 | 1980  | 17111  |
| août      | 17213  | 20587  | 1432  | 39232  | 6816  | 8274  | 565   | 15655  |
| septembre | 8493   | 13339  | 675   | 22508  | 3365  | 5420  | 274   | 9059   |
| octobre   | 4819   | 17846  | 2492  | 25156  | 1906  | 7254  | 1035  | 10196  |
| novembre  | 0      | 5313   | 6991  | 12304  | 0     | 2046  | 2693  | 4739   |
| décembre  | 16476  | 3948   | 23100 | 43524  | 6341  | 1593  | 8935  | 16869  |
| Annuel    | 120258 | 164786 | 79989 | 365033 | 47177 | 65865 | 31421 | 144463 |

|           | PRIX Dh |         |            | cout combustible sans KI200(cDH) |       |       | cout inhibiteur KI200 (cDH) |      |      |
|-----------|---------|---------|------------|----------------------------------|-------|-------|-----------------------------|------|------|
|           | PRIX FO | PRIX GO | PRIX KI200 | TG5                              | TG6   | TG7   | TG5                         | TG6  | TG7  |
| janvier   | 2270    | 7771    | 33,34      | 71,33                            | 70,75 | 72,30 | 1,28                        | 1,29 | 1,29 |
| février   | 2270    | 7771    | 33,34      | 72,24                            | 72,91 | 0,00  | 1,30                        | 1,30 | 0,00 |
| mars      | 2535    | 7771    | 33,34      | 83,32                            | 85,74 | 91,00 | 1,31                        | 1,34 | 1,40 |
| avril     | 2535    | 7771    | 33,34      | 0,00                             | 79,57 | 77,04 | 0,00                        | 1,35 | 1,32 |
| mai       | 2535    | 7771    | 33,34      | 84,05                            | 82,83 | 79,75 | 1,34                        | 1,34 | 1,32 |
| juin      | 2352    | 8220    | 33,34      | 80,32                            | 74,02 | 76,26 | 1,34                        | 1,34 | 1,34 |
| juillet   | 2352    | 8237    | 33,34      | 70,72                            | 72,95 | 73,49 | 1,33                        | 1,33 | 1,33 |
| août      | 2352    | 8237    | 33,34      | 73,43                            | 76,08 | 77,99 | 1,32                        | 1,34 | 1,32 |
| septembre | 2352    | 8237    | 33,34      | 75,50                            | 77,55 | 88,97 | 1,32                        | 1,35 | 1,35 |
| octobre   | 2352    | 8237    | 33,34      | 76,58                            | 77,58 | 82,94 | 1,32                        | 1,36 | 1,39 |
| novembre  | 2352    | 8237    | 33,34      | 0,00                             | 78,62 | 79,72 | 0,00                        | 1,28 | 1,28 |
| décembre  | 2352    | 8237    | 33,34      | 71,09                            | 81,58 | 72,61 | 1,28                        | 1,35 | 1,29 |

| Cout combustible total (cDH) |     |     |
|------------------------------|-----|-----|
| TG5                          | TG6 | TG7 |

| cout combustible mensuel(cDH) |       |           |                    |
|-------------------------------|-------|-----------|--------------------|
| sans KI                       | KI200 | combustot | cout tot ac KI 200 |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 72,61 | 72,04 | 73,59 |
| 73,54 | 74,22 | 0,00  |
| 84,63 | 87,08 | 92,40 |
| 0,00  | 80,93 | 78,36 |
| 85,39 | 84,17 | 81,07 |
| 81,66 | 75,36 | 77,59 |
| 72,04 | 74,28 | 74,81 |
| 74,75 | 77,42 | 79,31 |
| 76,82 | 78,90 | 90,32 |
| 77,90 | 78,93 | 84,32 |
| 0,00  | 79,90 | 81,01 |
| 72,38 | 82,92 | 73,90 |

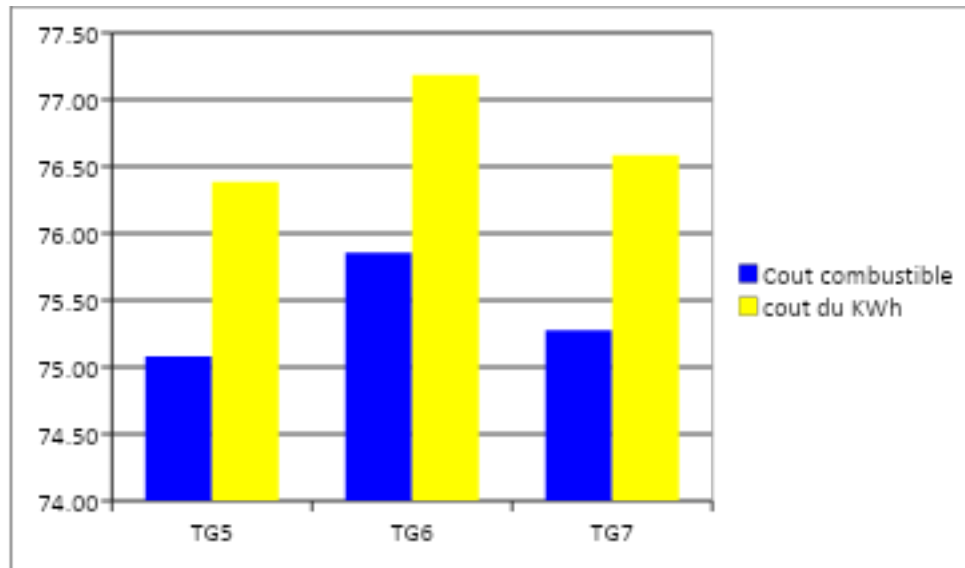
|       |      |       |       |
|-------|------|-------|-------|
| 71,35 | 1,28 | 73,19 | 74,48 |
| 72,63 | 1,30 | 77,09 | 78,39 |
| 85,45 | 1,34 | 91,76 | 93,10 |
| 78,59 | 1,34 | 81,04 | 82,38 |
| 82,86 | 1,34 | 86,85 | 88,18 |
| 76,27 | 1,34 | 79,49 | 80,83 |
| 72,43 | 1,33 | 75,26 | 76,58 |
| 74,99 | 1,33 | 77,44 | 78,77 |
| 77,12 | 1,34 | 80,04 | 81,39 |
| 77,92 | 1,35 | 80,09 | 81,44 |
| 79,25 | 1,28 | 81,34 | 82,63 |
| 72,85 | 1,29 | 73,77 | 75,06 |

|           | consommation combustible chaudiere |          |             |         |         | Cout |
|-----------|------------------------------------|----------|-------------|---------|---------|------|
|           | Gaz-oil                            | Fuel-oil | Product net | PRIX GO | PRIX FO |      |
| janvier   | 138,90                             | 0,00     | 58474       | 7771    | 2270    | 1,85 |
| février   | 115,51                             | 0,00     | 20118       | 7771    | 2270    | 4,46 |
| mars      | 93,72                              | 16,47    | 12206       | 7771    | 2535    | 6,31 |
| avril     | 124,81                             | 0,00     | 39500       | 7771    | 2535    | 2,46 |
| mai       | 102,91                             | 3,08     | 20261       | 7771    | 2535    | 3,99 |
| juin      | 112,64                             | 0,00     | 28733       | 8220    | 2352    | 3,22 |
| juillet   | 147,38                             | 0,00     | 43017       | 8237    | 2352    | 2,82 |
| août      | 105,59                             | 39,14    | 39232       | 8237    | 2352    | 2,45 |
| septembre | 65,61                              | 50,29    | 22508       | 8237    | 2352    | 2,93 |
| octobre   | 45,39                              | 73,10    | 25156       | 8237    | 2352    | 2,17 |
| novembre  | 2,15                               | 102,18   | 12304       | 8237    | 2352    | 2,10 |
| décembre  | 5,20                               | 151,46   | 43524       | 8237    | 2352    | 0,92 |
| cumul :   | 1059,81                            | 435,71   | 365033      |         |         |      |

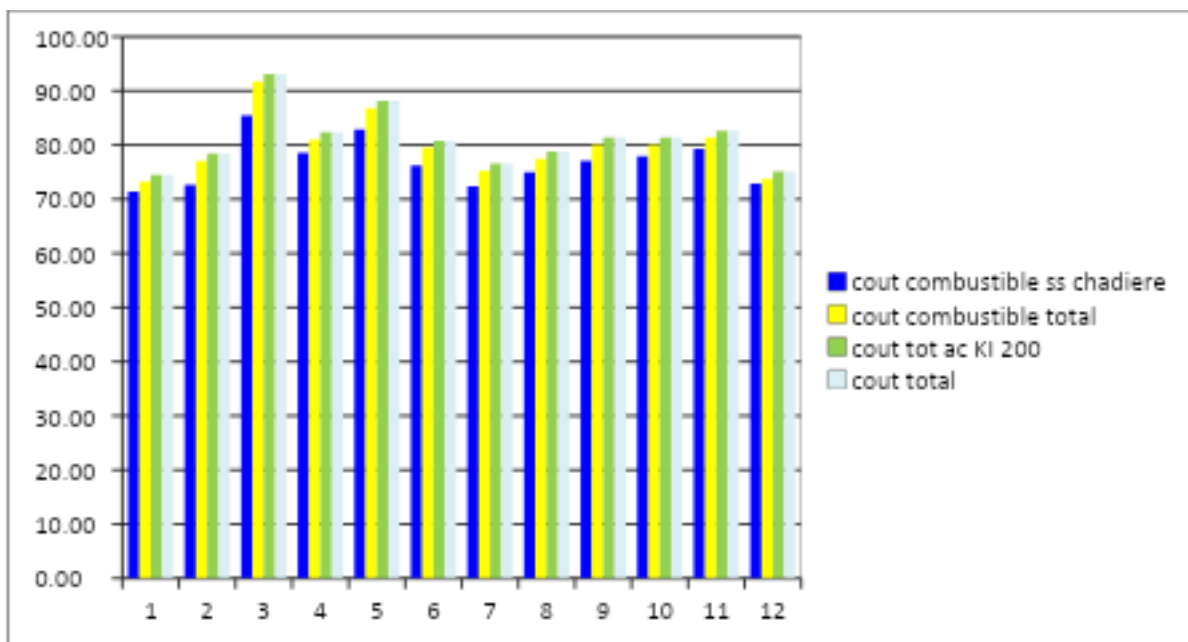
| Prix Annuel Pondere |                      |            | cout combustible sans KI200(cDH) |           |           |           |           |
|---------------------|----------------------|------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Prix Fuel ponderee  | Prix Gas oil Pondere | Prix KI200 | TG5                              | TG6       | TG7       | centrale  | centrale  |
| 2371                | 8032                 | 33         | 75,079092                        | 75,854297 | 75,276978 | 75,472404 | 76,791846 |

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

| Cout chaudiere<br>combust | cout tot ac chaudiere | centrale             |                |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
|                           |                       | cout combustible tot | cout ac KI 200 |
| 2,614905408               | 79,40675129           | 78,08730926          | 79,40675129    |



- Le prix du KWh augmente après l'ajout du KI 200



- On remarque qu'après chaque étape, le cout augmente

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

- Le coût de traitement de fuel à aussi un à un grand influence sur le coût du KWh.
- Aussi la chaudière influence beaucoup plus sur le coût que les autres constitutions

## 4. Optimisation :

Cette partie consiste à calculer la consommation spécifique pour la puissance livrée par la turbine à gaz afin de savoir la source de la déviance entre le prix du KWh calculé et le prix qu'on devait normalement avoir : Connaître la source du problème rencontré est trouvé une solution d'optimisation

### ♣ Calcul de la consommation spécifique :

Lors de l'essai, réalisé le 21 JUILLET 2014 à 12h30, nous avons noté les conditions extérieurs ainsi que les performances prises sur terrain pour la Turbine à gaz 5. Avant de corriger ses performances grâce aux facteurs de corrections et extraire les paramètres d'influence aux quels ils correspondent. On trouve ci- dessous les prélèvements de la charge en fonction de la quantité du fuel consommé tirés à partir de la salle de commande :

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Production nette  | 92 MWh |
| Consommation fuel | 26,6 T |

En utilisant la relation de la consommation spécifique effective :

$$Csp \text{ (g/KWh)} = \text{consommation/puissance effective}$$

$$Csp \text{ (Kcal/KWh)} = \text{consommation*PCI/puissance effective}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.1868 \text{ kJ}$$

$$Csp = 26,6 * 10^3 / 92 = 289,13 \text{ g/KWh}$$

$$Csp = 289,13 * 9787 = 2829715,31 \text{ Kcal/KWh}$$

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

$$C_{sp} = 289,13 \times 4,1868 \times 9787 = 11847452,06 \text{ KJ/KWh}$$

Le rendement global :

$$\eta = \text{Sortie/entrée} = \text{kwh/kcal}$$

$$\eta = \frac{w_e}{m} = \frac{(P_e \cdot t)}{(D \cdot t)} = \frac{P_e}{D}$$

avec

$w_e$  = le travail effectif

$m$  = la masse du combustible

$D$  = le débit massique du combustible

$$\eta = 1/C_{sp} = 1/2829715,31 = 35,33\%$$

(Avec le rapport de l'unité  $\text{Kcal/KWh} = 10^3$  pour avoir un rendement sans unité.)

Sachant que la consommation de référence est obtenue, en fonction de la charge, par la relation suivante :

$$C_{sp\text{réf}} (\text{g/KWh}) = (0,02 \cdot P^2) - (4,662 \cdot P) + 544,8 \quad (\text{relation donnée par le constructeur})$$

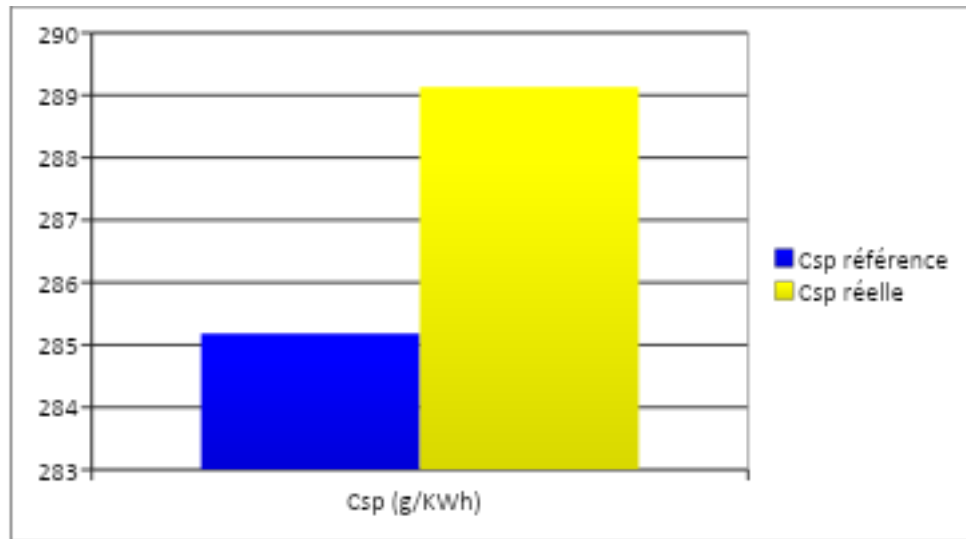
$$C_{sp\text{réf}} (\text{g/KWh}) = 285,176 \text{ g/KWh}$$

$$C_{sp\text{réf}} (\text{Kcal/KWh}) = 285,176 \times 9787 = 2791017,512 \text{ Kcal/KWh}$$

Avec  $K$  produit des coefficients d'influence des différentes courbes (facteurs de correction)

| $P(\text{Mw})$ | $C_{sp}$<br>référence<br>(g/KWh) | $C_{sp}$ réelle<br>(g/KWh) | $C_{sp}$ réelle<br>(Kcal/KWh) | Ecart | Ecart<br>relatif<br>% | Rendement<br>% |
|----------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------|-----------------------|----------------|
| 92             | 285,176                          | 289,13                     | 2829715,31                    | 3,954 | 1,38                  | 34,58%         |

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



#### Variation de la consommation réelle par rapport à celle de référence pour l'essai réalisé

La figure montre que dans la réalité la quantité du combustible qui se consomme pour la production d'un KWh est différente de celle de référence qui est uniquement en fonction de la charge.

Ce qui prouve qu'en plus de la puissance, il existe d'autres paramètres extérieurs et intérieurs qui influencent la consommation spécifique.

Cette consommation mesurée peut être corrigée par des facteurs de correction extraits à partir des courbes de correction dans le but de la ramener aux conditions de référence et ainsi à la consommation de référence.

En se basant sur ce principe, on s'est trouvé dans l'obligation de programmer sur Excel une interpolation afin d'obtenir pour différentes conditions internes et externes de la turbine le facteur de correction correspondant.

#### ♣ Identification des paramètres d'influences :

Les conditions d'entrée et de sortie de la turbine à gaz ont une influence importante sur sa puissance et sa consommation spécifique et ainsi son rendement. Seule la température de sortie dépend de la régulation de la turbine. Les conditions d'entrée varient en fonction de la météo locale. La pression à l'échappement est plus ou moins forte en fonction des systèmes en aval. Enfin, la composition du

## Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

combustible, son pouvoir calorifique inférieur  $P_{ci}$ , et l'injection d'eau ou de vapeur peuvent aussi varier. Comme la réception d'une turbine à gaz s'effectue souvent dans des conditions différentes de celles prises en référence dans le contrat, les valeurs de puissance et de consommation spécifique sont corrigées par des coefficients multiplicatifs (facteur de correction) définis par le constructeur. Pour les conditions de référence et les spécificités du site envisagé, le constructeur exprime forme de courbes (voir les courbes de correction dans l'annexe 1) l'influence des conditions d'alimentation de la turbine à gaz (pression, température, humidité de l'air atmosphérique....) sur sa puissance et sa consommation.

### ♣ Détermination des facteurs de correction :

Les facteurs de correction déterminent les performances thermiques de la turbine à gaz, corrigées aux conditions nominales. Ils sont procurés pour chaque condition de fonctionnement de turbine dans les courbes de correction dans ce qui suit, on présentera les procédures qui permettent de calculer le facteur de correction pour chaque paramètre de correction spécifique.

Suivant cette logique nous avons calculé les facteurs de correction à l'aide d'une programmation

### ♣ Analyse et comparaison des facteurs de l'essai :

En utilisant la méthode de détermination des facteurs de correction, on a pu calculer le coefficient de correction pour l'essai qu'on a fait.

| Corrections performances |                                |        |         | reference |         | Baseline     |               | facteur de correction |
|--------------------------|--------------------------------|--------|---------|-----------|---------|--------------|---------------|-----------------------|
|                          | Désignations                   | Unités | Valeurs | valeur    | facteur | C. Puissance | C. Spécifique |                       |
| F1                       | Température entrée compresseur | T°C    | 25      | 17,7      | 1       | 0,979        | 1,014378      | 0,98583               |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|--------|-----|-------|--------------|---------|
| F2  | Humidité relative                                                                                         | T°c                                | 21    | 17,7   | 1   | 1     | 1,0011<br>27 | 0,99887 |
|     |                                                                                                           | Humidité                           | 85    | 65     | 1   |       |              |         |
| F3  | Pression atmosphérique                                                                                    | T°c                                | 25    | 17,7   | 1   | 1     | 1            | 1       |
|     |                                                                                                           | Pression                           | 1013  | 1013,5 | 1   |       |              |         |
| F4  | Vitesse compresseur                                                                                       | T°c                                | 21    | 17,7   | 1   | 1,01  | 0,9993<br>5  | 1,00065 |
|     |                                                                                                           | Ratio vitesse                      | 3000  | 3000   | 1   |       |              |         |
| F5  | Facteur de puissance                                                                                      |                                    | 0,99  | 0,8    | 1   |       |              |         |
| F6  | Degradation                                                                                               |                                    |       | 200    | 0,2 |       |              |         |
| F 7 | Perte de charge admission                                                                                 | T°c                                | 17,1  | 17,7   | 1   | 1     | 0,9999<br>36 | 1       |
|     |                                                                                                           | Perte charge                       | 73,91 | 75     |     |       |              |         |
|     | Pertes de charge échappement (Test DP to Ref DP at Test CIT on CC) Référence                              | T°c                                | 1,9   | 112,45 | 1   |       |              |         |
|     |                                                                                                           | Delta P (référence)                | 96,56 |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           | T°c                                | 1,9   |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           | Delta P (mesurée)                  | 88,08 |        |     |       |              |         |
|     | Perte de charge échappement (Ref DP to Guar DP at Guar CIT at Tf=C) delta P/ réel et référence déterminée | Delta P (Fa) (mesurée - référence) | -8,48 |        |     | 1,001 | 0,9996<br>13 | 1,00039 |
|     |                                                                                                           | Fb                                 |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           | Fc                                 |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |
|     |                                                                                                           |                                    |       |        |     |       |              |         |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|      |                                                   |             |       |        |       |       |          |         |
|------|---------------------------------------------------|-------------|-------|--------|-------|-------|----------|---------|
|      | Total perte de charge échappement(Mesu ré/Design) | F (totale)  |       |        |       | 1     | 0,999946 | 1,00005 |
| F 9  | Injection vapeur                                  |             |       | 0      | 1     |       |          |         |
| F 10 | Injection d'eau                                   | T°C         | 21,5  | 17,7   |       |       | 1,008524 | 0,99651 |
|      |                                                   | Débit d'eau | 1,7   | 1,3658 | 1,005 | 1,014 |          |         |
| F 11 | Composition du combustible                        | PCI KJ/Kg   | 40976 | 40585  | 1     | 1,001 | 0,999422 | 0,99911 |
| F 12 | Température combustible                           | °C          | 124   | 120    | 1     | 1     | 0,999832 | 1,00017 |
|      | Total des correction                              |             |       |        |       |       |          | 0,98377 |

CSP corrigée = K\* Csp mesurée

Ecart = Csp réelle - Csp réf

Ecart corrigé = Csp corrigée - Csp réf

K =0,98377

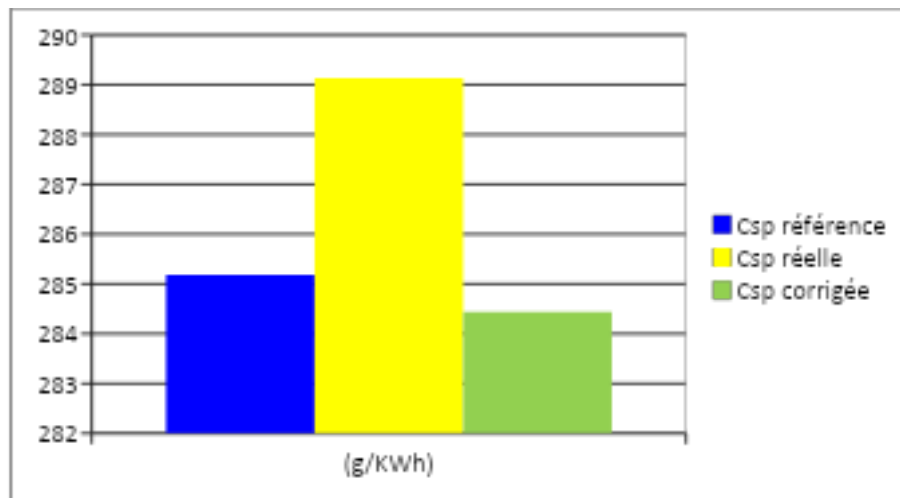
CSP corrigée =0,98377 \*289, 13 = 284,437 g/KWh

CSP corrigée=284,437\*9787 =273784,91Kcal/KWh

Les résultats de ce calcul sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| P(Mw) | Csp référence (g/KWh) | Csp réelle (g/KWh) | Csp corrigée (g/KWh) | Ecart (g/KWh) | Ecart corrigée | Rendement corrigé % |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------|----------------|---------------------|
| 92    | 285 ,176              | 289, 13            | 284,437              | 3,954         | 0 ,739         | 35,92%              |

### Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014



La figure montre la variation de la consommation de référence, réelle et corrigée pour différentes charge

La figure montre la variation de la consommation de référence, réelle et corrigée pour différentes charge. En effet, après sa correction par rapport aux paramètres mentionnés par le constructeur et vus précédemment. La consommation réelle s'approche de plus en plus de la consommation de référence. Ces graphes permettent de visualiser plus clairement l'influence quand les conditions extérieures sur les performances de la turbines.

De la même manière, le constructeur GE a réalisé des essais pour étudier les paramètres extérieurs influencent la puissance.

Effectivement la puissance que peut fournir la turbine varie selon les mêmes paramètres étudiés pour la consommation et l'utilisation des facteurs de correction permettent aussi de rapprocher la puissance réelle à celle de référence et augmenter par la suite les performances de la turbine.

En se basant sur ce principe, on s'est trouvé dans l'obligation de programmer sur Excel une interpolation afin d'obtenir pour différentes conditions internes et externes de la turbine, le facteur de correction correspondant.

#### Choix des paramètres d'influence :

L'utilisation des facteurs de correction est une méthode pratique très connue dans le domaine industriel, qui permet d'une part de dégager le degré d'influence de presque tous les paramètres qui causent la dégradation des turbines à gaz et

### *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

affectent leurs rendement thermique, d'autre part elle sert à corriger les valeurs de performances mesurés (consommation spécifique et puissance)

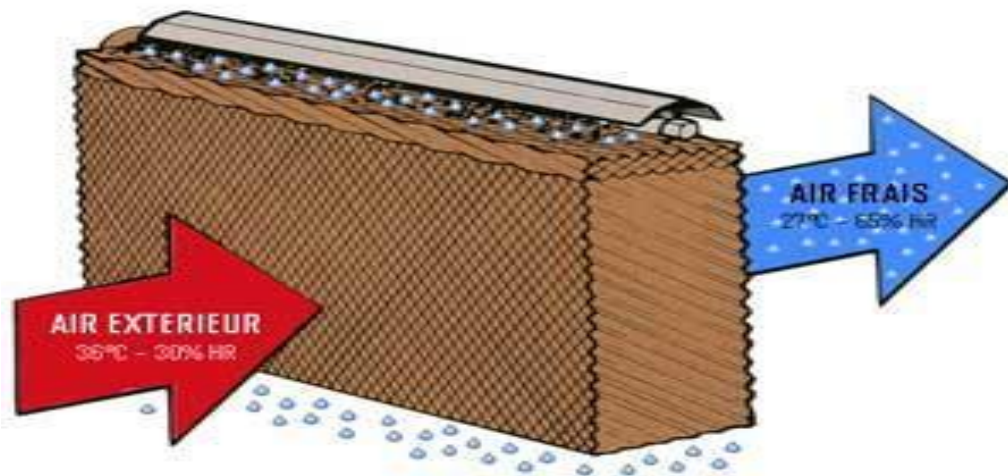
pour s'approcher des performances de référence et ceux garanties par le constructeur. Une fois la correction faite l'écart entre les paramètres de référence et ceux mesurés diminue, en d'autres termes, les performances réelles de la machine tendent de plus en plus vers ceux de référence. En plus des incertitudes de l'essai et des paramètres internes influencent l'efficacité de la machine, dont la dégradation des matériaux, l'écart entre les valeurs de références et les valeurs réelles, sont aussi des conséquences de l'importante influence des conditions extérieures sur les performances de la turbine à gaz. Ces trois impacts restent concrétisés par la différence entre l'écart corrigé mentionnés auparavant.

## **5. Amélioration des performances de la TAG par refroidissement de l'air d'admission :**

Dans notre étude nous allons nous intéresser spécialement au refroidissement par ruissellement d'eau un des systèmes de refroidissement par évaporation qui est plus présent sur le marché et plus facile et rapide à installer.

Le refroidissement par ruissellement d'eau consiste à faire passer l'air après filtrage par un média humidifié composé de surfaces ondulées en papier de cellulose traité, ce média joue le rôle d'un évaporateur conventionnel. Une partie de l'eau est évaporée sous l'action de l'air sec et chaud qui traverse le panneau évaporant. Le reste d'eau va tomber dans un bac situé en dessous de l'évaporateur. L'air à la sortie du refroidisseur est refroidi et avant de passer par le compresseur de la turbine à gaz, il passe par un système d'élimination des gouttelettes d'eau pour assurer un bon fonctionnement du compresseur de la turbine à gaz.

*Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*



## *Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014*

### **Conclusion :**

Au terme de ce stage effectué au sein de la centrale turbine à gaz Mohammedia (3x100Mw), j'ai eu l'occasion de vivre une période qui était pour moi très enrichissante. En effet ce stage m'a permis non seulement d'approfondir mes connaissances dans le domaine qui me passionne, celui du génie énergétique et électrique , mais aussi d'acquérir une expérience extrêmement valorisante d'un point de vue personnel et professionnel.

Sur le plan technique et afin d'entourer le projet dans sa globalité, l'étude a été menée en trois étapes : analyser du coût de traitement d'eau, analyser du coût de traitement fuel et l'analyse du coût du KWh.

Par ailleurs, ce stage m'a permis de développer mes qualités personnelles et de découvrir le vrai sens des mots à savoir : la transparence, l'engagement, la rigueur, l'ambition, l'excellence, la créativité et l'innovation. Ces principes sur lesquels tout le monde s'est mis d'accord pour renforcer la position de son secteur avec une grande volonté

Je m'estime être heureux d'avoir pu travailler sur un projet ambitieux qui vise l'élaboration d'un plan d'optimisation pour améliorer les performances de la turbine. Toutefois j'aimerais signaler que ce sujet reste encore ouvert aux autres initiatives dans une approche d'amélioration continue.

Bref, ce présent rapport restera pour nous une référence et un point de départ pour apprendre, développer et améliorer notre savoir-faire ainsi que notre culture professionnelle.

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

Annexes :

Base données générale 2013

|                       |           | TG5    | CUMMUL | TG6    | CUMMUL | TG7    | CUMMUL | CENTRALE | CUMMUL  |
|-----------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| Production brute      | janvier   | 27735  | 27735  | 19140  | 19140  | 12198  | 12198  | 59073    | 59073   |
|                       | février   | 8666   | 36401  | 11661  | 30801  | 0      | 12198  | 20327    | 79400   |
|                       | mars      | 6898   | 43299  | 2933   | 33734  | 2501   | 14699  | 12332    | 91732   |
|                       | avril     | 0      | 43299  | 24291  | 58025  | 15522  | 30221  | 39813    | 131545  |
|                       | mai       | 11336  | 54635  | 4851   | 62876  | 4283   | 34504  | 20470    | 152015  |
|                       | juin      | 8191   | 62826  | 14698  | 77574  | 6104   | 40608  | 28993    | 181008  |
|                       | juillet   | 11245  | 74071  | 27165  | 104739 | 5024   | 45632  | 43434    | 224442  |
|                       | août      | 17388  | 91459  | 20797  | 125536 | 1447   | 47079  | 39632    | 264074  |
|                       | septembre | 8576   | 100035 | 13469  | 139005 | 682    | 47761  | 22727    | 286801  |
|                       | octobre   | 4866   | 104901 | 18020  | 157025 | 2516   | 50277  | 25402    | 312203  |
|                       | novembre  | 0      | 104901 | 5342   | 162367 | 7030   | 57307  | 12372    | 324575  |
|                       | décembre  | 16608  | 121509 | 3980   | 166347 | 23285  | 80592  | 43873    | 368448  |
| Consommation Fuel-oil | janvier   | 7776   | 7776   | 5430   | 5430   | 3480   | 3480   | 16686    | 16686   |
|                       | février   | 2487   | 10263  | 3345   | 8775   | 0      | 3480   | 5832     | 22517   |
|                       | mars      | 1990   | 12252  | 864    | 9639   | 769    | 4248   | 3622     | 26140   |
|                       | avril     | 0      | 12252  | 7245   | 16884  | 4514   | 8762   | 11759    | 37899   |
|                       | mai       | 3347   | 15599  | 1432   | 18315  | 1248   | 10010  | 6026     | 43925   |
|                       | juin      | 2415   | 18014  | 4333   | 22649  | 1797   | 11807  | 8545     | 52470   |
|                       | juillet   | 3282   | 21296  | 7927   | 30576  | 1466   | 13273  | 12675    | 65145   |
|                       | août      | 5049   | 26345  | 6129   | 36704  | 419    | 13692  | 11596    | 76741   |
|                       | septembre | 2492   | 28837  | 4015   | 40719  | 203    | 13895  | 6710     | 83451   |
|                       | octobre   | 1412   | 30249  | 5373   | 46093  | 767    | 14662  | 7552     | 91004   |
|                       | novembre  | 0      | 30249  | 1516   | 47609  | 1995   | 16656  | 3511     | 94514   |
|                       | décembre  | 4697   | 34946  | 1180   | 48789  | 6618   | 23275  | 12495    | 107010  |
| Consommation Gaz-oil  | janvier   | 241,65 | 241,65 | 138,03 | 138,03 | 114,87 | 114,87 | 494,55   | 494,55  |
|                       | février   | 70,89  | 312,54 | 105,77 | 243,80 | 0,00   | 114,87 | 176,66   | 671,21  |
|                       | mars      | 82,96  | 395,50 | 38,50  | 282,30 | 39,08  | 153,95 | 160,53   | 831,74  |
|                       | avril     | 0,00   | 395,50 | 104,27 | 386,57 | 54,24  | 208,19 | 158,51   | 990,25  |
|                       | mai       | 121,71 | 517,21 | 44,81  | 431,38 | 27,95  | 236,14 | 194,47   | 1184,72 |
|                       | juin      | 102,17 | 619,38 | 71,75  | 503,13 | 47,09  | 283,23 | 221,01   | 1405,73 |
|                       | juillet   | 19,07  | 638,45 | 119,31 | 622,43 | 25,20  | 308,43 | 163,58   | 1569,31 |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|                                        |           |         |          |          |         |         |        |        |         |
|----------------------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|---------|
|                                        | août      | 92,78   | 731,23   | 151,64   | 774,08  | 16,02   | 324,44 | 260,44 | 1829,75 |
|                                        | septembre | 66,76   | 797,99   | 109,34   | 883,41  | 15,09   | 339,53 | 191,19 | 2020,94 |
|                                        | octobre   | 44,83   | 842,82   | 146,44   | 1029,86 | 31,87   | 371,41 | 223,15 | 2244,08 |
|                                        | novembre  | 0,00    | 842,82   | 74,23    | 1104,09 | 107,10  | 478,51 | 181,34 | 2425,42 |
|                                        | décembre  | 80,91   | 923,73   | 54,04    | 1158,12 | 146,56  | 625,07 | 281,51 | 2706,93 |
| Production nette                       | janvier   | 27378   | 27378    | 18937    | 18937   | 12159   | 12159  | 58474  | 58474   |
|                                        | février   | 8577    | 35954    | 11541    | 30478   | 0       | 12159  | 20118  | 78591   |
|                                        | mars      | 6828    | 42782    | 2903     | 33381   | 2476    | 14634  | 12206  | 90798   |
|                                        | avril     | 0       | 42782    | 24100    | 57481   | 15400   | 30034  | 39500  | 130297  |
|                                        | mai       | 11220   | 54002    | 4801     | 62283   | 4239    | 34273  | 20261  | 150559  |
|                                        | juin      | 8117    | 62120    | 14566    | 76849   | 6049    | 40323  | 28733  | 179291  |
|                                        | juillet   | 11137   | 73257    | 26904    | 103753  | 4976    | 45298  | 43017  | 222308  |
|                                        | août      | 17213   | 90470    | 20587    | 124340  | 1432    | 46731  | 39232  | 261541  |
|                                        | septembre | 8493    | 98963    | 13339    | 137679  | 675     | 47406  | 22508  | 284049  |
|                                        | octobre   | 4819    | 103782   | 17846    | 155525  | 2492    | 49898  | 25156  | 309205  |
|                                        | novembre  | 0       | 103782   | 5313     | 160838  | 6991    | 56889  | 12304  | 321509  |
|                                        | décembre  | 16476   | 120258   | 3948     | 164786  | 23100   | 79989  | 43524  | 365033  |
| consommation combustible chaudière     |           | Gaz-oil |          | Fuel-oil |         | le cout |        |        |         |
|                                        | janvier   | 138,900 | 138,900  | 0,000    | 0,000   | 1,95    |        |        |         |
|                                        | février   | 115,510 | 254,410  | 0,000    | 0,000   | 4,72    |        |        |         |
|                                        | mars      | 93,720  | 348,130  | 16,470   | 16,470  | 6,63    |        |        |         |
|                                        | avril     | 124,810 | 472,940  | 0,000    | 16,470  | 2,60    |        |        |         |
|                                        | mai       | 102,910 | 575,850  | 3,080    | 19,550  | 4,22    |        |        |         |
|                                        | juin      | 112,640 | 688,490  | 0,000    | 19,550  | 3,23    |        |        |         |
|                                        | juillet   | 147,381 | 835,871  | 0,000    | 19,550  | 2,82    |        |        |         |
|                                        | août      | 105,593 | 941,464  | 39,139   | 58,689  | 2,45    |        |        |         |
|                                        | septembre | 65,606  | 1007,070 | 50,288   | 108,977 | 2,95    |        |        |         |
|                                        | octobre   | 45,390  | 1052,460 | 73,102   | 182,079 | 2,19    |        |        |         |
|                                        | novembre  | 2,150   | 1054,610 | 102,176  | 284,255 | 2,12    |        |        |         |
|                                        | décembre  | 5,200   | 1059,810 | 151,456  | 435,711 | 0,00    |        |        |         |
| Consommation spécifique nette réalisée | janvier   | 2839    | 2839     | 2851     | 2851    | 2855    | 2855   | 2846   | 2846    |
|                                        | février   | 2890    | 2851     | 2897     | 2868    | 0       | 2855   | 2890   | 2857    |
|                                        | mars      | 2936    | 2865     | 3005     | 2880    | 3154    | 2906   | 3032   | 2881    |
|                                        | avril     | 0       | 2865     | 2961     | 2914    | 2881    | 2893   | 2930   | 2896    |
|                                        | mai       | 2993    | 2892     | 2981     | 2919    | 2916    | 2896   | 2974   | 2906    |
|                                        | juin      | 2987    | 2904     | 2913     | 2918    | 2934    | 2902   | 2938   | 2911    |
|                                        | juillet   | 2858    | 2897     | 2881     | 2908    | 2883    | 2900   | 2875   | 2904    |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|                                  |           |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | août      | 2875  | 2893  | 2936  | 2913  | 2915  | 2900  | 2909  | 2905  |
|                                  | septembre | 2905  | 2894  | 2981  | 2920  | 3088  | 2903  | 2956  | 2909  |
|                                  | octobre   | 2912  | 2895  | 2981  | 2927  | 3054  | 2910  | 2975  | 2914  |
|                                  | novembre  | 0     | 2895  | 2865  | 2925  | 2875  | 2906  | 2871  | 2913  |
|                                  | décembre  | 2814  | 2884  | 3024  | 2927  | 2841  | 2887  | 2847  | 2905  |
| cout" kwh "seulement combustible | janvier   | 73,72 | 73,72 | 73,09 | 73,09 | 74,73 | 74,73 | 75,68 | 75,68 |
|                                  | février   | 74,64 | 73,94 | 75,35 | 73,94 | 0,00  | 74,73 | 79,77 | 76,72 |
|                                  | mars      | 78,33 | 74,64 | 80,68 | 74,53 | 85,81 | 76,61 | 87,03 | 78,11 |
|                                  | avril     | 0,00  | 74,64 | 74,27 | 74,42 | 71,83 | 74,16 | 75,91 | 77,44 |
|                                  | mai       | 79,11 | 75,57 | 77,82 | 74,68 | 74,68 | 74,22 | 82,10 | 78,07 |
|                                  | juin      | 80,35 | 76,19 | 74,04 | 74,56 | 76,28 | 74,53 | 79,52 | 78,30 |
|                                  | juillet   | 70,73 | 75,36 | 72,96 | 74,15 | 73,50 | 74,42 | 75,27 | 77,72 |
|                                  | août      | 73,44 | 74,99 | 76,10 | 74,47 | 78,00 | 74,53 | 77,45 | 77,68 |
|                                  | septembre | 76,30 | 75,11 | 78,38 | 74,85 | 89,89 | 74,75 | 80,89 | 77,93 |
|                                  | octobre   | 77,39 | 75,21 | 78,41 | 75,26 | 83,81 | 75,20 | 80,94 | 78,18 |
|                                  | novembre  | 0,00  | 75,21 | 79,44 | 75,39 | 80,56 | 75,86 | 82,20 | 78,33 |
|                                  | décembre  | 71,86 | 74,75 | 82,44 | 75,56 | 73,39 | 75,15 | 74,56 | 77,88 |

Essai réalisé 21 /07/2014

| HEURES Paramètres |                                | unité  | REF  |  | 13:00  | 14 | 15   |
|-------------------|--------------------------------|--------|------|--|--------|----|------|
| F1                | Charge active                  | MW     | 100  |  | 90     |    | 92,1 |
|                   | charge réactive                | MVAR   |      |  | -4,5   |    | -4,6 |
|                   | Température entrée compresseur | °C     | 17,7 |  | 25     |    | 26   |
|                   | Humidité relative              | %      | 65   |  |        |    |      |
|                   | Pression atmosphérique         | mmhg   |      |  | 763,1  |    | 762  |
| F4                | Vitesse compresseur            | Tr/min | 3000 |  | 3000,4 |    | 2999 |
| F5                | Facteur de puissance           | -      | 0,85 |  | 0,99   |    | 1    |

Centrale Turbines à gaz Mohammedia 2 : 2014

|      |                                                                                                            |         |       |  |         |  |         |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|--|---------|--|---------|
| F6   | cumul des H.M                                                                                              | h       | -     |  | 14552,9 |  | 14554,7 |
| F7   | Perte de charge admission                                                                                  | mmH2O   | 75    |  |         |  |         |
| F8   | Pertes de charge échappement (Test DP to Ref DP at Test CIT on CC) Référence                               | mmH2O   |       |  |         |  |         |
|      | Perte de charge échappement (Ref DP to Guar DP at Guar CIT at Tf=C) delta P/ réellé et référéce déterminée | mmH2O   | 113,2 |  |         |  |         |
| F 9  | Injection vapeur                                                                                           | Kg/s    | 0     |  |         |  |         |
| F 10 | Injection d'eau                                                                                            | Kg/s    | 0     |  |         |  |         |
| F 11 | PCI                                                                                                        | Kcal/Kg | 9694  |  |         |  |         |
| F 12 | Température combustible                                                                                    | °C      | 120   |  | 124     |  | 124,2   |

Sources utilisés :

- ♣ <http://www.one.org.ma> pour la Présentation de l'entreprise
- ♣ Documentation du constructeur GENERAL ELECTRIC COMPANY
- ♣ <http://www.ge.com> site officiel de General electric
- ♣ <http://www.electricmachinery.com> site officiel d'Electric Machinery