



## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

### Diplôme de Mater Sciences et Techniques Spécialité : Ingénierie Mécanique

*Etude des équipements critiques de  
L'atelier central à Maroc Phosphore 1  
Safi.*

**Présenté par :**

*Elouarti Hamza*

**Encadré par :**

- *Mr A. Biyaali, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès*
- *Mr O. Fadol, Encadrant de la société OCP Safi*

**Effectué à : OCP Safi**

**Soutenu le :13/06/2018**

**Devant Le jury :**

- *Mr A. Biyaali, Faculté des sciences et techniques de Fés*
- *Mr. J. Abouchita Faculté des sciences et techniques de Fés*
- *Mr. O. Bourihane, Faculté des sciences et techniques de Fés*

**Année Universitaire : 2017-2018**



## *Remerciement*

Au terme de ce simple travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements, en premier lieu, à mon parrain de stage M. FADOL ingénieur en génie procédé qui a bien eu l'amabilité de m'encadrer et de m'assister durant la période du stage, et je tiens à exprimer mes profondes reconnaissances, pour son aide et surtout ses conseils qui m'ont permis d'aboutir à cette fin de manière agréable.

Merci également à M. KOLLACH responsable d'atelier qui a mis à ma disposition tout le nécessaire pour accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Mes vifs remerciements vont à M. HICHAM pour sa disponibilité, et pour le temps qu'il a bien voulu nous accorder, de nous avoir assuré la documentation nécessaire sur les équipements étudiés.

Ainsi que tous les agents O.C.P SAFI et plus particulièrement, l'équipe de ma centrale thermique : Monsieur OTHMAN, ELJOUHARI et BELGERMOUCHI pour leur soutien, remarques et leurs conseils pertinentes.

Enfin je tiens à présenter particulièrement mes profondes gratitudes à nos professeurs à la FST et également à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réussite de cette expérience professionnelle.

Merci encore très profondément...

## *Dédicace*

J'ai le plaisir d'offrir ce modeste travail à tous ceux qui de près ou de loin ont aidé à sa réalisation :

### **A ma famille ...**

Pour l'inspiration de notre vivacité, et la motivation de notre effort.

### **A nos chers parents ...**

Pour leur générosité et leur présence permanentes.

### **A nos professeurs ...**

Pour leur aide et soutien pendant toute notre période de formation.

### **A nos chers amis...**

Pour témoigner de la fraternité qui nous associé.

# *sommaire*

<b>REMERCIEMENT .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICACE .....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>7</b>
<b>PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL.....</b>	<b>9</b>
I. PRESENTATION DU GROUPE OCP.....	10
1. <i>Présentation du groupe OCP</i> .....	10
2. <i>Historique du groupe</i> .....	10
3. <i>Statue juridique</i> .....	11
4. <i>Activités du groupe OCP</i> .....	12
5. <i>Organisation de la direction de production et de site SAFI</i> .....	12
a. Maroc Chimie .....	13
b. Maroc Phosphore I .....	13
c. Infrastructure portuaire de Safi (IDS/PI).....	14
d. Maroc Phosphore II .....	14
II. PRESENTATION DU MAROC PHOSPHORE I.....	14
1. <i>Atelier énergie et fluides</i> .....	15
2. <i>Atelier sulfurique</i> .....	16
3. <i>Atelier phosphorique</i> .....	16
4. <i>Atelier DCP</i> .....	17
1. <i>Les bâches</i> : .....	19
a. Bâche auxiliaire :.....	19
b. Bâche à condensat :.....	19
c. Bâche alimentaire : .....	19
2. <i>Les turbo-alternateurs</i> : .....	19
1. <i>Contexte du projet</i> :.....	22
2. <i>Ma Contribution</i> : .....	22
III. ETUDE D'HISTORIQUE DES PANNES .....	23
1. <i>Historique des équipements de la centrale</i> .....	23
1. <i>Caractéristiques techniques de la turbine</i> .....	27
Vitesse nominale .....	27
2. <i>Caractéristiques techniques du réducteur</i> .....	28
Puissance.....	28
3. <i>Caractéristiques techniques de l'alternateur et ses auxiliaires</i> .....	28
<b>ANALYSE DES CAUSES.....</b>	<b>29</b>
<b>DES PANNES .....</b>	<b>29</b>
IV. ANALYSE DES CAUSES DE PANNE .....	30
1. <i>Présentation de la méthode AMDEC</i> : .....	30
a. Principe de base : .....	30
6. <i>Résultats de l'étude</i> : .....	50
I. PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE :.....	52
II. PLAN DE MAINTENANCE : .....	52
III. PLAN DE REVISION DU GTA : .....	54
CONCLUSION	
GENERALE.....	541

## LISTE DES TABLEAUS

TABLEAU 1 CHRONOLOGIE DE CREATION DE OCP .....	11
TABLEAU 2 FREQUENCE DES PANNES DES EQUIPEMENT DE.....	24
TABLEAU 3: DECOMPOSITION FONCTIONNELLE .....	32
TABLEAU 4: LES COMPOSANTS D'UNE POMPE ET LEURS FONCTIONS .....	34
TABLEAU 5 DECOMPOSITION FONCTIONNELLE .....	41
TABLEAU 6: LES COMPOSANTS DU GTA ET LEURS FONCTIONS .....	44
TABLEAU 7 LISTE DE COMPOSANTS ET LEURS MTBF.....	53
TABLEAU 8: : PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE .....	54

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 ORGANIGRAMME DU MAROC PHOSPHORE I .....	15
FIGURE 2 EQUIPEMENT DE LA CENTRALE THERMIQUE .....	18
FIGURE 3: EXTRAIT DE L'HISTORIQUE DES PANNES ET INTERVENTIONS .....	23
FIGURE 4: DIGRAMME D'HISTORIQUE DES PANNES. ....	25
FIGURE 5 VUE DE COUPE D'UNE POMPE MULTICELLULAIRE. ....	26
FIGURE 6 DIAGRAMME BETE A CORNE : .....	32
FIGURE 7 DIAGRAMME BETE A CORNE : .....	40

# *Introduction Générale*

Leader au niveau mondial dans le domaine de l'extraction minière, le groupe OCP adopte une stratégie rationnelle, basée non seulement sur l'optimisation des coûts d'exploitation, mais aussi sur l'amélioration continue de la qualité du produit, visant de maintenir la place qu'il occupe dans ce type d'activité. Afin de réussir cet équilibre, l'entreprise est amenée à éliminer tout gaspillage et mauvaise gestion et à investir de plus en plus dans ses infrastructures. Elle doit ainsi augmenter sa compétitivité et assurer, en même temps, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité de ses installations, dans le souci d'une amélioration continue de ses capacités de service.

Dans ce contexte d'amélioration du processus de la maintenance que connaît les ateliers névralgiques de la division MP1 à l'OCP de Safi, dérive mon projet qui vise à augmenter la performance d'un nouveau système de maintenance qui va aider l'entreprise à réduire de plus ou moins le coût de production de son produit.

Ceci m'a conduit à mener mon projet de maintenance et fiabilité sur les équipements les plus critique de cette installation, afin de réduire le temps d'arrêts de la production dû à la non disponibilité de ces derniers et d'augmenter leurs fiabilités, en appliquant des outils d'évaluation de criticité de machines fréquemment maintenus.

L'unité est composée de trois lignes de production d'électricité et une chaudière, comportant chacune plusieurs équipements, afin d'alimenter trois groupe turboalternateur par une vapeur de pression de 90bar. Une première étude a été faite par le groupe de travail, pour déterminer les machines les plus critique de l'atelier centrale.

Une nouvelle étude est donc incontournable pour analyser les conditions de fonctionnement de ces équipements, et leurs pannes, afin de remonter aux origines des

défaillances, et aboutir aux recommandations générales capables, en cas d'application, de prolonger la durée de vie des éléments constitutifs de ces équipements.

Je vais, dans un premier temps, faire une analyse d'historique des pannes pour déterminer les machines les plus critiques des trois lignes, sur lesquelles s'effectuera une analyse AMDEC, pour mettre en évidence les modes des défaillances et les actions à engager. Enfin, l'établissement des dossiers machines dans le but d'assurer une bonne conduite lors des travaux de réparation et de révision.

Tout au long de mon stage, je me suis appuyés sur la documentation fournie par le constructeur, pour comparer ses spécifications avec les valeurs réelles. Ceci a été d'une grande importance, parce qu'il nous a permis de voir, du près les particularités des équipements étudiés.

Chapitre

1

*Présentation de l'organisme  
d'accueil*

Dans ce chapitre je présenterai d'une manière générale le groupe OCP et plus particulièrement le site Safi et surtout les ateliers centraux au Maroc Phosphore 1 en tant qu'organisme d'accueil où j'ai effectué mon stage de projet de fin d'études.

# I. Présentation du groupe OCP

## 1. Présentation du groupe OCP

Depuis sa création en 1920, l'OCP a été un acteur clé sur le marché international. Il est intégré dans l'ensemble de la chaîne de valeur de phosphate, l'extraction, la commercialisation et la vente de phosphate et de ses dérivés, de l'acide phosphorique et d'engrais. C'est le plus grand exportateur mondial de phosphate et d'acide phosphorique, ainsi que l'un des plus grands producteurs mondiaux d'engrais.

## 2. Historique du groupe

La première richesse minière du pays de réserve est le phosphate. Le monopole de l'exploitation et d'exportation est confié à l'Office Chérifien des Phosphates qui exploite les gisements de Khouribga, Ben guérir, Youssoufia et Boucrâa. L'Office Chérifien des Phosphates a été créé le 7 août 1920, sous la forme d'un Organisme d'Etat, mais étant donné le caractère de ses activités commerciales et industrielles, le législateur a tenu à le doter, dès sa création, d'une organisation lui permettant d'agir avec le même dynamisme et une compétitivité comparable à celles des entreprises privées internationales.

L'évolution des activités de l'Office et l'ampleur de ses projets de valorisation ont conduit à la mise en place en 1974, d'une structure de Groupe permettant l'intégration de différentes entités filiales complémentaires au sein d'un même ensemble ce n'est autre que le Groupe OCP.

On peut résumer les dates les plus importantes dans le cycle de vie de cette entreprise dans le tableau suivant :

Date	Evénement marquant
1920	Création du groupe OCP
1921	Extraction du phosphate à Boujniba dans la zone de Khouribga le 1er mars et l'exportation du phosphate le 23 Juillet de la même année
1930	Ouverture du centre de Youssoufia
1955	Création de l'Ecole de maîtrise de Boujniba,
1958	Création d'un centre de formation professionnelle à Khouribga.
1959	Création de la Société marocaine d'Etudes Spécialisées et Industrielles.

1960	Développement de la mécanisation du souterrain à Youssoufia.
1961	Mise en service de la première laverie à Khouribga.
1965	Démarrage de la société Maroc Chimie à Safi, pour la fabrication des dérivés phosphatés (Acide phosphorique et Engrais...)
1974	Création de l'Institut de Promotion Socio-éducative.
1981	Démarrage de Maroc Phosphore II
1986	Démarrage du Site de Jorf Lasfar avec Maroc Phosphore III-IV.
1988	Chargement du premier navire de DAP de Jorf Lasfar en Janvier.
1997	Partenariats industriels avec Grande Paroisse.
1998	Usine EMAPHOS pour l'acide purifié
1999	Usine IMACID pour l'acide phosphorique.
2000	Démarrage de l'unité de flottation de phosphate à Khouribga
2006	Démarrage de la nouvelle ligne DAP 850 000 T/an à JorfLasfar
2007-2009	Lancement de nouveaux pôles urbains à Khouribga et à Benguerir : Mine verte et Ville Verte.
2008	OCP devient une société anonyme. Inauguration par SM le Roi Mohammed VI de l'usine de Pakistan Maroc Phosphore.
2009	Démarrage de Bunge Maroc Phosphore
2010	Partenariat avec Jacobs Engineering Inc. et création de JESA, lancement de 4 unités de production d'engrais à JorfLasfar.
2010-2011	Ouverture de 2 bureaux de représentation au Brésil et en Argentine. Démarrage de plusieurs unités industrielles (Laverie MerahLahrach, STEP ...)
2011	Lancement d'une unité de dessalement d'eau de mer à JorfLasfar
2012	Démarrage de l'atelier DCP à Safi.
2014	Démarrage programmé du projet Slurry Pipeline sur l'axe Khouribga-JorfLasfar sur une longueur de 235 km.

TABLEAU 1 CHRONOLOGIE DE CREATION DE OCP

### 3. Statue juridique

L'OCP est un organisme semi-publique sous contrôle de l'état, en d'autres termes C'est une entreprise dont le seul actionnaire est l'état Marocain, à laquelle sont appliquée les méthodes de gestions privées, dynamiques, souples et efficaces vu le caractère de ses activités industrielles et

commerciales. L'OCP est dirigée par un Directeur Général nommé par DAHIR, le contrôle est exercé par un conseil d'administration présidé par le premier ministre.

Sur le plan fiscal, l'OCP est inscrit sur le registre de commerce, il est soumis aux mêmes obligations que le reste des entreprises privées. Sur le plan financier, l'OCP est entièrement indépendant de l'état. Chaque année, le groupe établit son bilan, son compte d'exploitation et ses prix de revient. Le groupe verse annuellement des dividendes pour le compte de l'état. Concernant la gestion du personnel, elle est régie par le statut du mineur du 1er janvier 1973. Ce statut a été élaboré en conformité avec le DAHIR n° 16007 du 24 décembre 1960 sur le statut des entreprises minières au MAROC.

#### 4. Activités du groupe OCP

Le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP<sub>SA</sub>) est spécialisé dans quatre activités marquantes qui se résument dans l'extraction, le traitement, le transport et la valorisation / la commercialisation du phosphate et de ses produits dérivés :

**Extraction** : se fait soit en découverte (ciel ouvert) soit en galeries souterraines. Elle consiste à enlever le phosphate de la terre suivant les quatre étapes d'extraction : Foration, Sautage, Décapage et Défruitage.

**Traitement** : ces opérations sont nécessaires en vue de purifier le phosphate de tout résidu et d'améliorer sa qualité.

**Transport** : une fois le phosphate traité, il est transporté vers les ports de Casablanca, Safi, El Jadida pour l'exportation vers les différents pays du monde.

**Valorisation et commercialisation** : le phosphate extrait est traité en grande partie dans des usines chimiques pour être transformé en produits dérivés commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides, avant d'être exporté avec le reste qui est en état brut vers de nombreux clients.

#### 5. Organisation de la direction de production et de site SAFI

La Direction Maroc Phosphore Safi (ICS) est un ensemble d'unités industrielles situé à 10 kilomètres de SAFI, qui appartient au Groupe OCP SA destinée à la fabrication industrielle de l'acide phosphorique à partir des phosphates extraits des minerais de Youssoufia et de Benguerir, ainsi qu'à la fabrication de l'engrais simple TSP et des phosphates alimentaires MCP et DCP (Leurs unités de fabrication sont comptées des unités Engrais). ICS Comprend quatre divisions :

- Maroc Chimie (PC), créée en 1965.
- Maroc Phosphore I (PP), Créée en 1976.
- Maroc Phosphore II (PM), Créée en 1981.
- Infrastructures de Safi (PI) Créée en 1936.

### **a. Maroc Chimie**

Il comporte 4 ateliers principaux :

Atelier Sulfurique : spécialisé dans la production de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Atelier phosphorique I: spécialisé dans la production de l'acide phosphorique 30 % (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30%).

Atelier phosphorique II: spécialisé dans la production de l'acide phosphorique 54% (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 54%) et de l'acide phosphorique 42 % (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 42%).

Ateliers des engrais : qui comprennent deux lignes : Ligne Nord et ligne Sud spécialisées dans la production du Triple Super Phosphate (TSP), un atelier de stockage dit REX (Réception et expédition) assure les livraisons. L'ancienne ligne d'engrais NPK est transformée en unité de production du phosphate alimentaire Mono-Calcium phosphate sûr (ses activités sont Contrôlées par un système de management de la sécurité des denrées alimentaires).

### **b. Maroc Phosphore I**

Compte tenu des résultats très encourageants, l'extension des installations a été effectuée progressivement par la mise en service de la division MAROC PHOSPHORE I dans le but de produire l'acide phosphorique. Cette division réunit 4 unités :

Unité de production du soufre liquide

Unité de production d'acide sulfurique

Unité de production d'acide phosphorique

Unité de production du phosphate Di-Calcium Phosphate (Issu de la transformation de l'ancien atelier engrais Mono-Ammonium-Phosphate)

La division MPI comporte 3 ateliers principaux :

- **Atelier énergie et fluides**
- **Atelier sulfurique**
- **Atelier phosphorique**

➤ **Atelier DCP**

**c. Infrastructure portuaire de Safi (IDS/PI)**

Cette division, située au niveau du port, a pour activité la réception des matières premières et le chargement du phosphate et ses dérivés destinés à l'exportation.

- Matières importées : soufre solide.
- Produits exportés : L'acide phosphorique, les engrais TSP et MCP et le phosphate brut.

**d. Maroc Phosphore II**

MP II est créé en 1981 dans le but de valoriser le phosphate provenant de Benguerir. Elle dispose de 4 unités :

- Unité de production d'acide sulfurique
- Unité de laverie de phosphate
- Unité de production d'acide phosphorique
- Unité de production d'énergie et de fluides

**II. Présentation du Maroc Phosphore I**

Compte tenu des résultats très encourageants, l'extension des installations a été effectuée progressivement par la mise en service de la division MAROC PHOSPHORE I dans le but de produire l'acide phosphorique. Cette division réunit 4 unités :

- Unité de production du soufre liquide ;
- Unité de production d'acide sulfurique ;
- Unité de production d'acide phosphorique ;
- Unité de production du phosphate Di-Calcium Phosphate (Issu de la transformation de l'ancien atelier engrais Mono-Ammonium-Phosphate);

Pour faire face à la concurrence mondiale, La division Maroc phosphore I s'engage à satisfaire les exigences de ses clients en termes de qualité, quantité et délais. Elle produit deux qualités d'acide phosphorique normales et dé-sulfaté.

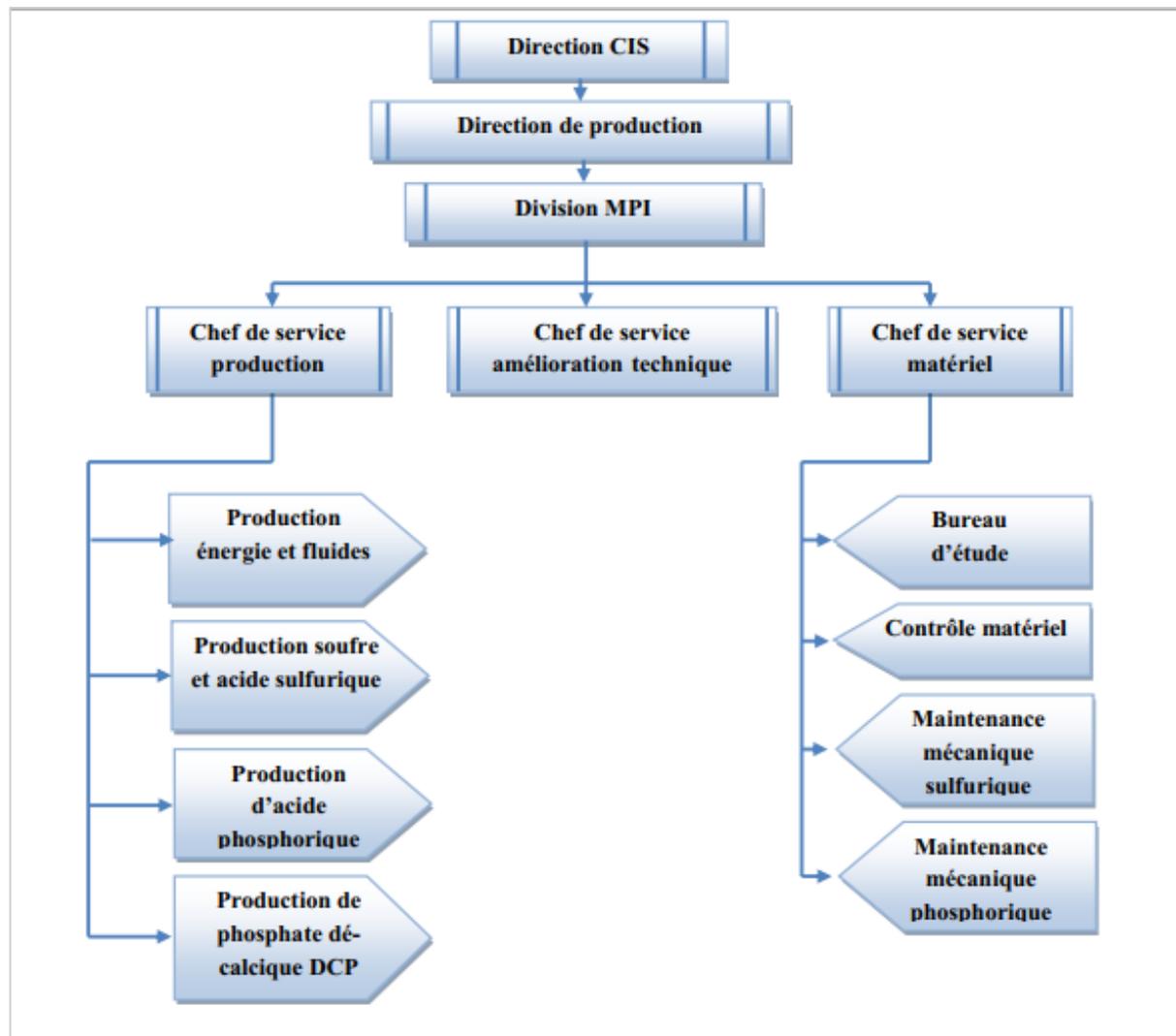


FIGURE 1 ORGANIGRAMME DU MAROC PHOSPHORE I

La division MPI comporte quatre ateliers principaux :

### 1. Atelier énergie et fluides

L'atelier énergie et fluides a pour but le traitement des eaux et la production de la vapeur (HP, MP, BP), l'énergie électrique, et l'air comprimé qui sont utilisés partout dans le complexe.

Il se constitue par :

- La centrale thermoélectrique : destinée à produire l'énergie électrique pour couvrir le besoin du complexe. Si c'est nécessaire, un appoint en énergie électrique est fourni par l'O.N.E.

- Station de traitement des eaux : pour répondre aux besoins de chaque atelier de fabrication en eau : filtrée, déminéralisée, déssilicée et potable. Il est constitué de plusieurs stations :

**Station de pompage d'eau de mer** : comprend quatre pompes verticales dont une de réserve.

**Station de filtration** : Permet la filtration d'eau de mer qui sera utilisée par la suite dans la condensation de la vapeur au niveau des condenseurs, ainsi que le refroidissement de certains équipements.

**Station de carburants** : Le rôle de cette station est l'alimentation des chaudières et des fours par le gasoil et le fuel.

**La station de traitement des eaux et déminéralisation** : C'est la section la plus importante, elle transforme l'eau en provenance du barrage en trois sortes d'eau : Eau filtrée, Eau déminéralisée et Eau dés-silicée.

## 2. Atelier sulfurique

Cet atelier a pour vocation principale la production de l'acide sulfurique à partir du soufre liquide filtré. Cette mission est assurée grâce à deux lignes, dont une ancienne ligne B et une nouvelle ligne H avec un système de récupération de la chaleur HRS. La transformation du soufre solide importé en soufre liquide dans une première phase et en soufre liquide filtré par la suite, qui se fait dans l'Atelier Fusion et Filtration du Soufre équipé pour cette mission, de quatre fondoirs et de dix-huit filtres organisés en six lignes de filtration et d'une unité de stockage composées de cinq bacs de stockage.

La fusion du soufre est assurée par l'échange de chaleur entre le soufre solide et la vapeur basse pression, provenant des collecteurs Basse Pression (BP) de la centrale, à l'aide des batteries de serpentins dans les fondoirs agités.

Le complexe MPI est le seul qui dispose des fondoirs, donc c'est le fournisseur du soufre liquide pour les autres complexes.

Tous les équipements où circule le soufre sont maintenus à chaud en utilisant la vapeur basse pression

## 3. Atelier phosphorique

Cet atelier stratégique constitue l'interface du complexe avec le client final, il a pour vocation la production du produit fini qui est l'acide phosphorique 54% à partir du phosphate broyé et de l'acide sulfurique, il est composé deux unités :

- Unité de réaction filtration (R&F) composée de trois lignes de production d'acide phosphoriques 30% (Ancienne lignes) utilisant le procédé Nissan et d'une ligne (4ème ligne) utilisant le procédé Rhône-Poulenc
- Unité de concentration d'acide phosphorique (CAP) dont le rôle est de concentrer à 54% par évaporation de l'eau contenue. Cette évaporation s'effectue dans une boucle de circulation comprenant un échangeur pour le réchauffement de l'acide, un bouilleur pour la séparation des gaz et une pompe de circulation à grand débit.

#### 4. Atelier DCP

Il produit 200t/j, son produit est mis au marché alimentaire international et local.

### III- présentation du Centrale thermoélectrique :

La centrale est dotée d'un ensemble de dispositifs, matériels et de potentiel humain qui lui permet de produire l'énergie électrique et la vapeur d'eau nécessaire pour le bon fonctionnement de MPI. Cet atelier est destiné à assurer la totalité du besoin du complexe. La centrale thermique permet d'alimenter le complexe MPI en utilités indispensables pour son fonctionnement à savoir :

- La vapeur sous différentes pressions : haute, et basse pression.
- L'air comprimé : de service et instrumentation
- L'énergie électrique.

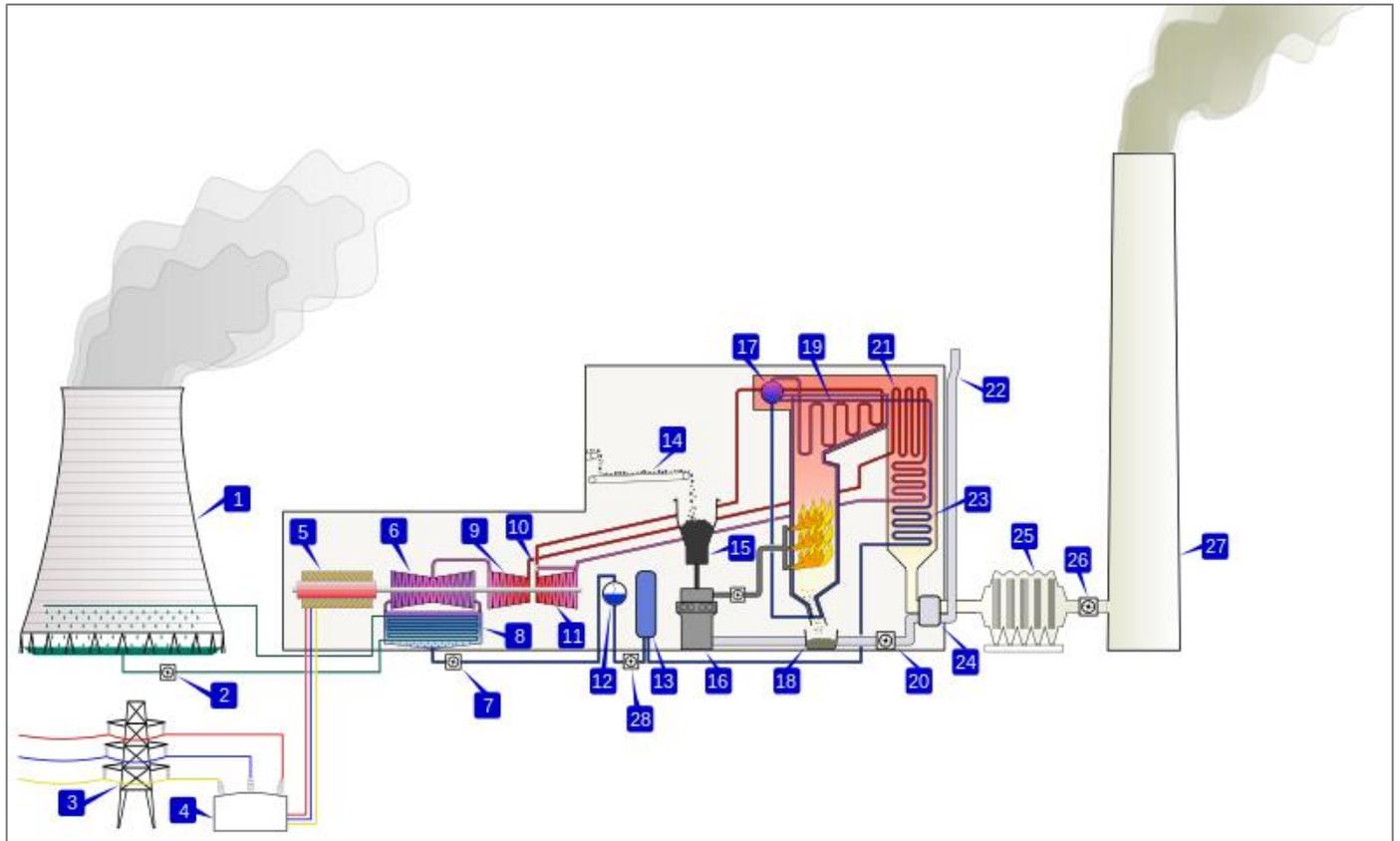


FIGURE 2 EQUIPEMENT DE LA CENTRALE THERMIQUE

- |  |   |                                |
|--|---|--------------------------------|
| 1. Tour de refroidissement             | 10. Vanne de contrôle de vapeur             | 19. Surchauffeur               |
| 2. Pompe de la tour de refroidissement | 11. Turbine à vapeur (corps haute pression) | 20. Ventilateur d'air primaire |
| 3. Ligne de transmission triphasée     | 12. Bâche alimentaire avec dégazeur         | 21. Resurchauffeur             |
| 4. Transformateur élévateur de tension | 13. Préchauffeur d'eau de chaudière         | 22. Prise d'air de combustion  |
| 5. Alternateur                         | 14. Convoyeur à charbon                     | 23. Économiseur                |
| 6. Turbine à vapeur                    | 15. Trémie à charbon                        | 24. Réchauffeur d'air          |
| 7. Pompe d'extraction des condensats   | 16. Broyeur à charbon                       | 25. Électro-filtre             |
| 8. Condenseur                          | 17. Ballon de la chaudière                  | 26. Ventilateur de tirage      |
| 9. Turbine à vapeur                    | 18. Trémie à mâchefers                      | 27. Cheminée                   |

La centrale est constituée par plusieurs dispositifs sont : les bâches, les turbo-alternateurs, les chaudières, les condenseurs, les détendeurs et les stations de réduction.

## 1. Les baches :

Au sein de la centrale on a plusieurs types de bache soit alimentaire, auxiliaire et à condensat.

### a. Bache auxiliaire :

C'est au niveau de quelle on fait l'appoint de l'eau déssilicé provenant de TED et aussi reçoit le condensat provenant des condenseurs auxiliaires. On a trois baches auxiliaires chacune a son condenseur auxiliaire.

**Remarque :** les condenseurs auxiliaires démarre lorsqu'on a un excédent de vapeur à basse pression.

### b. Bache à condensat :

Elle reçoit le condensat des autres ateliers, on a deux types :

2 baches à condensat sulfurique

2 baches à condensat phosphorique

### c. Bache alimentaire :

Elle contient l'eau alimentaire qui a une température au voisinage de 120°C et une pression de 90 bar, elle reçoit un mélange de condensat et d'eau déssilicé envoyer par les autres baches. C'est au niveau de quelle l'eau déssilicé subit des améliorations par le traitement ou conditionnement et le dégazage.

## 2. Les turbo-alternateurs :

La production de l'électricité au niveau de la centrale thermique est assurée par l'exploitation de la vapeur à l'aide de trois groupes alternateurs (GTA) d'une puissance de 18 MW et d'une tension de 6.3 KV qui représentent les principaux équipements au niveau de la centrale. Ils permettent de produire l'énergie électrique à l'aide de trois groupes à condensation

La rotation des turbines de ces derniers est assurée par une vapeur de pression de 90 bar produite dans une chaudière à capacité de 1000 m<sup>3</sup>/h, après condensation de vapeur à basse pression dans des bâches à condensats.

- La production et la distribution de l'énergie électrique • La production et la gestion de la vapeur.
- La production et la distribution de l'eau alimentaire et condensats • La réfrigération des auxiliaires du complexe

**Chapitre**

**2**

*Etude des équipements de  
l'atelier central*

## I- contexte et objectif du projet

Je vais, dans ce qui suit, mettre l'accent sur le contexte de mon projet, ses enjeux, ainsi que ma contribution. Je parlerais aussi des outils à l'aide desquels j'ai effectué mes analyses et mené mon étude.

### 1. Contexte du projet :

Dans le cadre de l'instauration d'un nouveau système de maintenance, visant à diminuer le temps de la non disponibilité des équipements des ateliers névralgiques de la division MP1, il est demandé de faire une étude des machines les plus critique de ces ateliers.

Pour garantir une production stable dans un niveau optimal, il faut lutter contre toute sorte de perte.

Les arrêts de production dus aux pannes au niveau des équipements, sont la cause majeure de l'instabilité de production. L'atelier centrale est compté parmi les ateliers les plus critiques, vu l'importance du rôle qu'il joue, à savoir la production de l'énergie électrique et la circulation du vapeur et de l'eau entre les autres ateliers.

### 2. Ma Contribution :

Pour que le projet mène bien à des résultats concrets, les tâches suivantes nous ont été affectées :

- \* Décrire le principe de fonctionnement des équipement étudiés, et leur technologie.
- \* Analyser leurs conditions de fonctionnement.
- \* Réaliser une étude critique de leur maintenance.
- \* Etablir un plan de maintenance/Plan de révision .
- \* Etablir les dossier machine.

#### 1- Travail demandé :

Le plan d'action, ainsi engagé, contient les actions suivantes :

Actualisation et mise à jour de l'arborescence des équipements de l'atelier centrale,

Actualisation des plans de la maintenance préventive et systématique,

Audit critique des dossiers machines.

### III. Etude d'historique des pannes

#### 1. Historique des équipements de la centrale

La centrale thermique du division MP1 est la responsable de faire circuler de la vapeur et de l'eau douce dans tous les ateliers, ainsi que la production de l'énergie électrique qui alimente tous les équipements du Maroc Phosphore 1. Tout arrêts imprévus dans l'une des trois lignes de production d'électricité a un effet direct sur le fonctionnement des équipements de cette division, et par suite sur la production au niveau de toute l'usine.

Les arrêts des machines de la centrale thermique ainsi que les interventions de défèrent équipement mécanique, électrique... sont bien organisé et classifié selon son type :

	A	B	C	D	E
1	345431	confection des joints d'étanchéité des brûleurs de la chaudière Ple.	S-PP-22ZH01	01/04/2017	S-MP1-MMS
2	345434	montage du moteur de la pompe 21PP15.	S-PP-21PP15-M	01/04/2017	S-MP1-MMS
3	345436	montage de la pompe 21PP16.	S-PP-21PP16	01/04/2017	S-MP1-MMS
4	345448	voir problème de défauts du moteur de soutirage de GTA III au niveau de salle de contrôle.	S-PP-21ZN01	01/04/2017	S-MP1-MMS
5	345474	Changement du réfrigérant d'air coté B de l'alternateur de GTA3.	S-PP-21ZN01	01/04/2017	S-MP1-MMS
6	347940	démontage du moteur de la pompe 22ZP02	S-PP-22ZP02	04/04/2017	S-MP1-MMS
7	347941	montage du nouveau moteur de la pompe 22ZP02	S-PP-22ZP02	04/04/2017	S-MP1-MMS
8	347942	élimination fuite sur tresse pompe 21ZP03	S-PP-21ZN01	04/04/2017	S-MP1-MMS
9	347943	changement de la vanne du circuit d'air alimentant les broyeurs(vanne non étanche)	SA-PP-PC-E	04/04/2017	S-MP1-MMS
10	348087	élimination fuite sur tresse vanne de refoulement pompe 21ZP05	S-PP-21ZP05	04/04/2017	S-MP1-MMS
11	348483	démontage passerelle non conforme du circuit retour eau de mer coté CPI	SA-PP-PC-E	05/04/2017	S-MP1-MMS
12	348484	manque passerelle pour accéder a la vanne X/Y retour condensat vers refoulement BC P2O5 4L	S-PP-21ZD03	05/04/2017	S-MP1-MMS
13	348486	élimination fuite entre bride supérieur vanne détenteur 4 sur collecteur BPIII	SA-PP-PC-E	05/04/2017	S-MP1-MMS
14	348487	élimination fuite entre bride inferieur vanne détenteur 4 sur collecteur BPIII	SA-PP-PC-E	05/04/2017	S-MP1-MMS
15	348492	élimination fuite de combustible sur vanne selecte chaudière principale	S-PP-22ZH01	05/04/2017	S-MP1-MMS
16	348502	nettoyage du réfrigérant d'air réserve	SA-PP-PC-E	05/04/2017	S-MP1-MMS

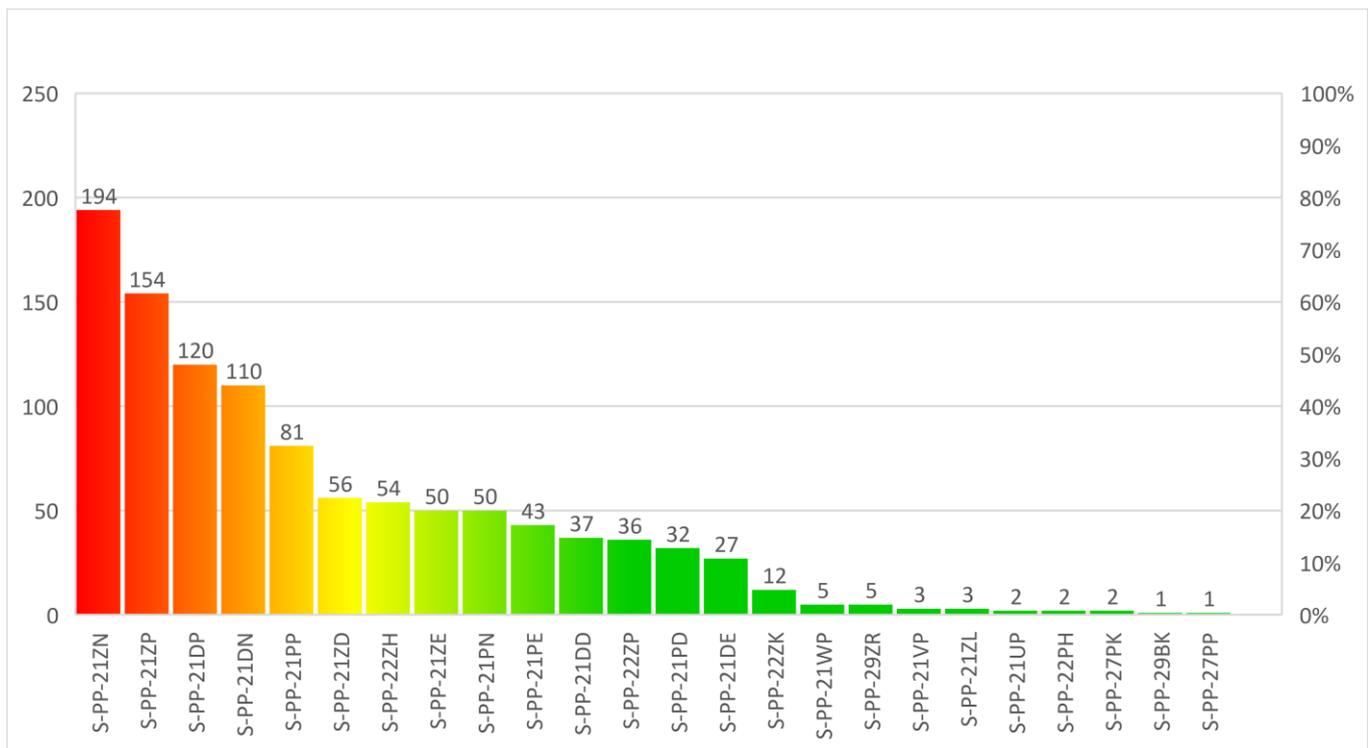
**FIGURE 3: EXTRAIT DE L'HISTORIQUE DES PANNES ET INTERVENTIONS**

L'historique des pannes comporte des données sur le type et la date de l'intervention ainsi que l'équipement maintenue, mais il ne donne pas une idée sur le temps d'arrêt, alors pour savoir les machines les plus critiques de cette installation je vais faire une étude par fréquence de panne, et pour l'obtention d'un résultats représentatif l'étude sera effectué sur une période d'une année allant de 01/03/2017 jusqu'au 28/02/2018.

Les résultats de calcul de fréquence sont illustrés dans le tableau suivant :

Équipement	N° d'équipement	Fréquences de défaillances
Pompe d'eau alimentaire	S-PP-21ZP	194
Groupe Turboalternateur	S-PP-21ZN01	154
Pompes à condensat phosphorique	S-PP-21DP	120
Chaines de mesure de pression/ Température/ débit.	S-PP-21DN	110
Motopompe d'eau alimentaire	S-PP-21PP	81
Bâche à condensat	S-PP-21ZD	56
Chaudière principale	S-PP-22ZH	54
Chaine de mesure de pression/ Température/ débit.	S-PP-21PN	50
Condenseur	S-PP-21ZE	50
Condenseur auxiliaire	S-PP-21PE	43
Bâche à condensat	S-PP-21DD	37
Pompes Gas-Oil / Fuel	S-PP-22ZP	36
Bâche alimentaire	S-PP-21PD	32
Condenseur auxiliaire	S-PP-21DE	27
Ventilateur	S-PP-22ZK	12
-----	S-PP-21WP	5
-----	S-PP-29ZR	5
Pompe à condensat sulfurique	S-PP-21VP	3
-----	S-PP-21ZL	3
Pompe de désurchauffe	S-PP-21UP	2
Ventilateur de combustion	S-PP-22PH	2
-----	S-PP-27PK	2
Compresseur à piston	S-PP-29BK	1
-----	S-PP-27PP	1
<b>Total des pannes</b>		<b>1162</b>

Tableau 2 Fréquence des pannes des équipement de  
La centrale thermique



**FIGURE 4: DIGRAMME D’HISTORIQUE DES PANNES.**

Comme toute analyse par fréquence, l’étape qui suit l’obtention des résultats est l’étude critique de ces derniers, dans le but de s’assurer de leur pertinence et de tirer les conclusions servant comme base de travail pour la suite de l’étude.

Après cette classification, les graphes montrent des zones claires où un nombre réduit des équipements est responsable sur un pourcentage important de pannes, à savoir les groupes turboalternateur en premier lieux et les pompes en deuxième lieux , qui présentent tous les deux un taux de défaillance très élevé, alors la fiabilisation de ces équipements est nécessaire dans un premier lieu.

## II- Etude des pompes d’eau alimentaire et Turbo-Alternateur

### 1. Généralités sur les pompes

Avant de commencer mon étude, je vais définir des notions générales sur les pompes ainsi que ces types et leurs utilisations.

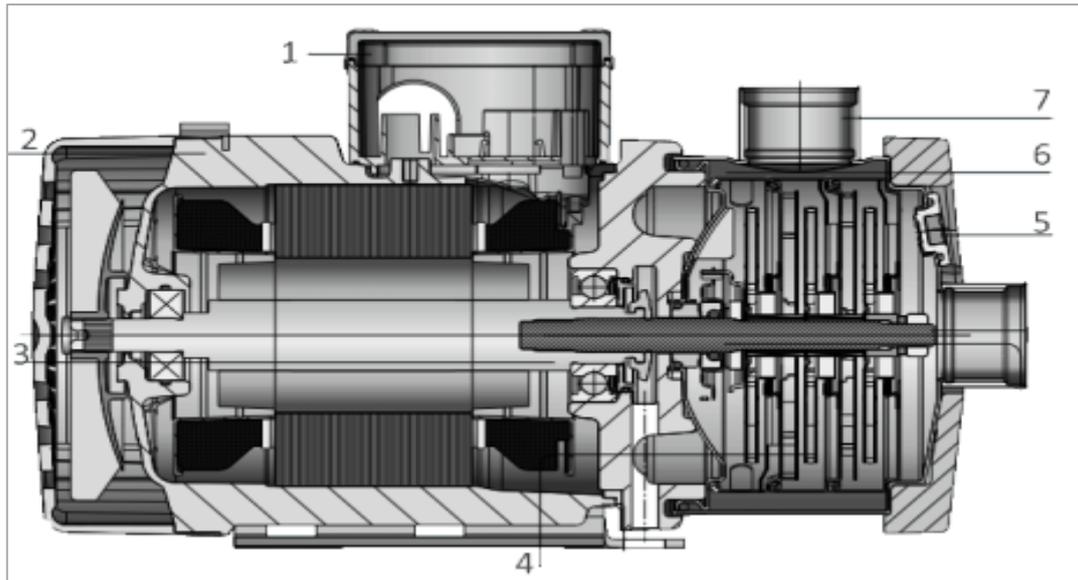


FIGURE 5 VUE DE COUPE D'UNE POMPE MULTICELLULAIRE.

Une pompe multicellulaire, contrairement à une pompe monocellulaire, compte **plusieurs turbines** (roues à aube) montées successivement l'une derrière l'autre (Figure 5). L'eau pompée par la première turbine est envoyée dans l'ouïe de la deuxième puis de la troisième, etc. Le passage de l'eau dans les roues à aube augmente sa vitesse, et donc le débit et la pression de l'eau. Ce mécanisme a pour principal avantage d'**augmenter la pression et le débit des pompes** à eau, ce qui se traduit concrètement par une meilleure hauteur de refoulement et de meilleures fonctions intrinsèques (meilleur rendement). Une pompe multicellulaire peut être **auto-amorçant** (nul besoin d'amorcer avant utilisation).

Les pompes multicellulaires s'utilisent dans les installations où débit, pression et hauteur de refoulement doivent être élevés (irrigation de culture, pompage avec fort dénivelé, inondation, etc.).

Une pompe multicellulaire peut être **horizontale ou verticale**, et dans ce second cas l'espace d'encombrement est minimisé, ce qui permet à l'utilisateur de l'installer facilement dans le système de pompage (les pompes immergées sont verticales et de faible diamètre pour pouvoir être plongées dans de profonds puits). Les pompes multicellulaires horizontales sont en revanche plus stables, bien que tout aussi volumineuses.

## 2. Fonctionnement des Turbo-Alternateur

La turbine est une machine tournante entraînée par la Vapeur d'eau surchauffée, le principe consiste à la transformation de l'énergie thermique de la Vapeur en énergie mécanique disponible au bout de l'arbre pour entraîner une autre machine telle que (alternateur, hélice ou autre)

La turbine à soutirage et à condensation a un seul corps, et traversée par la Vapeur HP dans le sens axial. La soupape à fermeture rapide, montée en amont du corps de la turbine a pour rôle d'Arrêter instantanément toute arrivée de Vapeur du collecteur HP à la turbine

La Vapeur vive traverse le corps de la soupape FR pour parvenir dans la boîte a soupapes de réglage du débit Vapeur HP. Ces soupapes sont actionnées par un palonnier, qui est levé et abaissé par le servomoteur, par le biais d'un système de leviers. Ce moteur reçoit ses signaux de commandes du régulateur de vitesse

Après avoir cédé une partie de son énergie à l'étage de réglage, la Vapeur parvient à l'aubage du tambour HP auquel elle cède également de l'énergie

Au point de soutirage une partie de la Vapeur de la turbine est prélevée, une soupape de fermeture rapide (SFR) est montée en amont de la conduite de soutirage réglé afin de protéger la turbine contre tout reflux de Vapeur en provenance du réseau de soutirage

En réglant le débit de Vapeur de la partie BP, les soupapes de réglage BP maintiennent le Pression constante au point de soutirage

La Vapeur qui traverse deux soupapes de réglage BP parvient directement à l'aubage BP de la partie avant du tambour

En cas de surcharge, une troisième soupape de réglage BP s'ouvre également. La Vapeur traversant cette soupape est admise en aval de la partie avant de l'étage BP à travers des canaux réalisés dans ce but

### 1. Caractéristiques techniques de la turbine

VITESSE NOMINALE	6500 tr/min
<b>Pression Vapeur vive</b>	58 bar
<b>T °C vapeur vive</b>	490 °C
<b>Puissance nominale</b>	15100 KW
<b>Pression de soutirage réglé</b>	4,5 bars
<b>Pression Vapeur échappement</b>	0,07 bar

## 2. Caractéristiques techniques du réducteur

PUISSANCE	17650 KWA
<b>Vitesse</b>	6500 – 1500 tr/min

## 3. Caractéristiques techniques de l'alternateur et ses auxiliaires

<b>tension</b>	6300 V	<b>excitation</b>	122 V
<b>Intensité</b>	1650 A	<b>fréquence</b>	50 Hz
<b>Puissance</b>	18000 KVA	<b>Courant d'excitation</b>	577 A
<b>Cos <math>\varphi</math></b>	0,8	<b>vitesse</b>	1500 tr/min
<b>Réfrigérants d'air</b>	<b>Réfrigérants par eau de mer</b>	900 litres /min/18 °C	

### EXCITATION PRINCIPALE

tension	<b>123 / 172 V</b>	puissance	<b>71,5 / 140 KW</b>
intensité	<b>582 / 815 A</b>	vitesse	<b>1500 tr/min</b>

### EXCITATION PILOTE

Tension	<b>200 V</b>	Puissance	<b>1,5 KVA</b>
intensité	<b>3,96 A</b>	Vitesse	<b>1500 tr/min</b>

Chapitre **3**

*Analyse des causes  
Des pannes*

## IV. Analyse des causes de panne

### **Introduction :**

Dans cette partie, et après la sélection des pompes dont l'intervention est répétée fréquemment, je vais me focaliser sur ces pompes pour détecter les éléments qui ont la grande responsabilité des pannes.

Pour cela, une analyse AMDEC répondra à mon besoin :

### **1. Présentation de la méthode AMDEC :**

#### **a. Principe de base :**

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail. Cette méthode fait ressortir les actions correctives à mettre en place.

#### **b. But de l'analyse AMDEC :**

Le but de cette analyse est de déterminer les modes de défaillances avec leurs effets et leur criticité par rapport aux organes sensibles des pompes.

#### **c. Déroulement de la méthode :**

Pour réaliser une étude AMDEC, il faut bien connaître le fonctionnement du système analysé ou avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent.

La méthode AMDEC se déroule en 5 étapes :

- \* Initialisation.
- \* Analyse fonctionnelle.
- \* Analyse des défaillances.
- \* Cotation des défaillances.
- \* Actions correctives menées.

### 3. AMDEC appliquée sur les pompes multicellulaires :

#### a. Initialisation :

Je vais effectuer par la suite une analyse AMDEC sur une pompe d'eau alimentaire, dont les résultats vont être généralisés à toutes les autres pompes installées à la division MP1.

La pompe, objet de ce chapitre, constitue le système global qu'on va décomposer en deux sous-systèmes, à savoir le corps de la pompe et l'ensemble de palier aussi appelé canon.

Le corps de la pompe comporte deux demi-stators, des bagues d'étanchéité, l'impulseur, l'expulseur, les boulons de fixations et les dispositifs d'étanchéité.

Quant au palier, il comporte l'arbre qui entraîne la turbine, les roulements, les paliers lisses, les dispositifs d'étanchéité (garniture mécanique, tresse, joints...) et le bâti de la pompe.

L'objectif de cette étude est d'aboutir aux différents modes de défaillance des constituants de la pompe, afin d'évaluer leurs criticités et proposer des actions correctives et préventives permettant d'améliorer la disponibilité et le rendement de la pompe dont la phase d'étude est la marche normale.

La constitution d'un groupe de travail capable de mener une analyse AMDEC bien détaillée est une obligation. Pour ce faire, nous avons proposé l'idée aux agents de l'usine ; des mécaniciens, des électriciens et des exploitants. Ci-dessous, la liste des personnes qui sont impliquées dans notre analyse AMDEC :

Mr. M. FADOL : Ingénieur Encadrant.

Mr. O. KOULLACH: Chef Atelier.

Mr. Ariouk : Bureau de méthode.

Mr. Belgermouchi : Responsable d'Atelier.

Mr. Hamza Othmane : chef d'équipe de maintenance.

## b. Décomposition fonctionnelle :

Diagramme pieuvre :

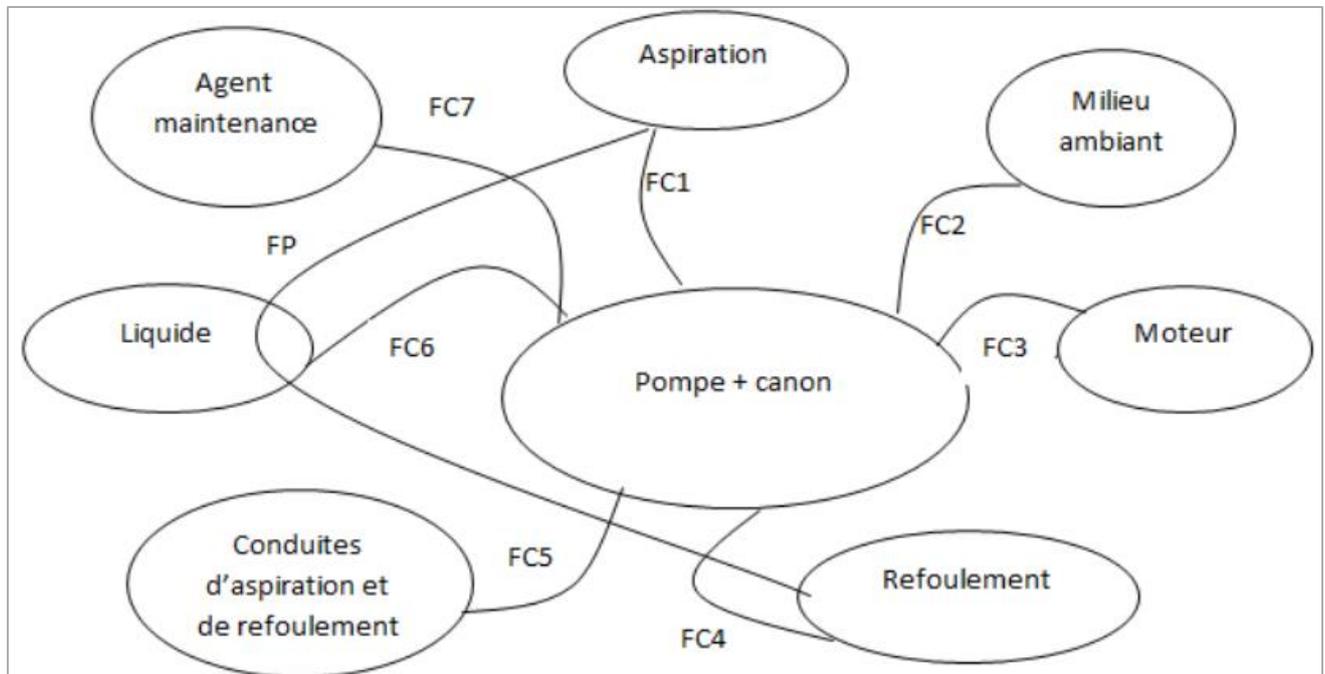
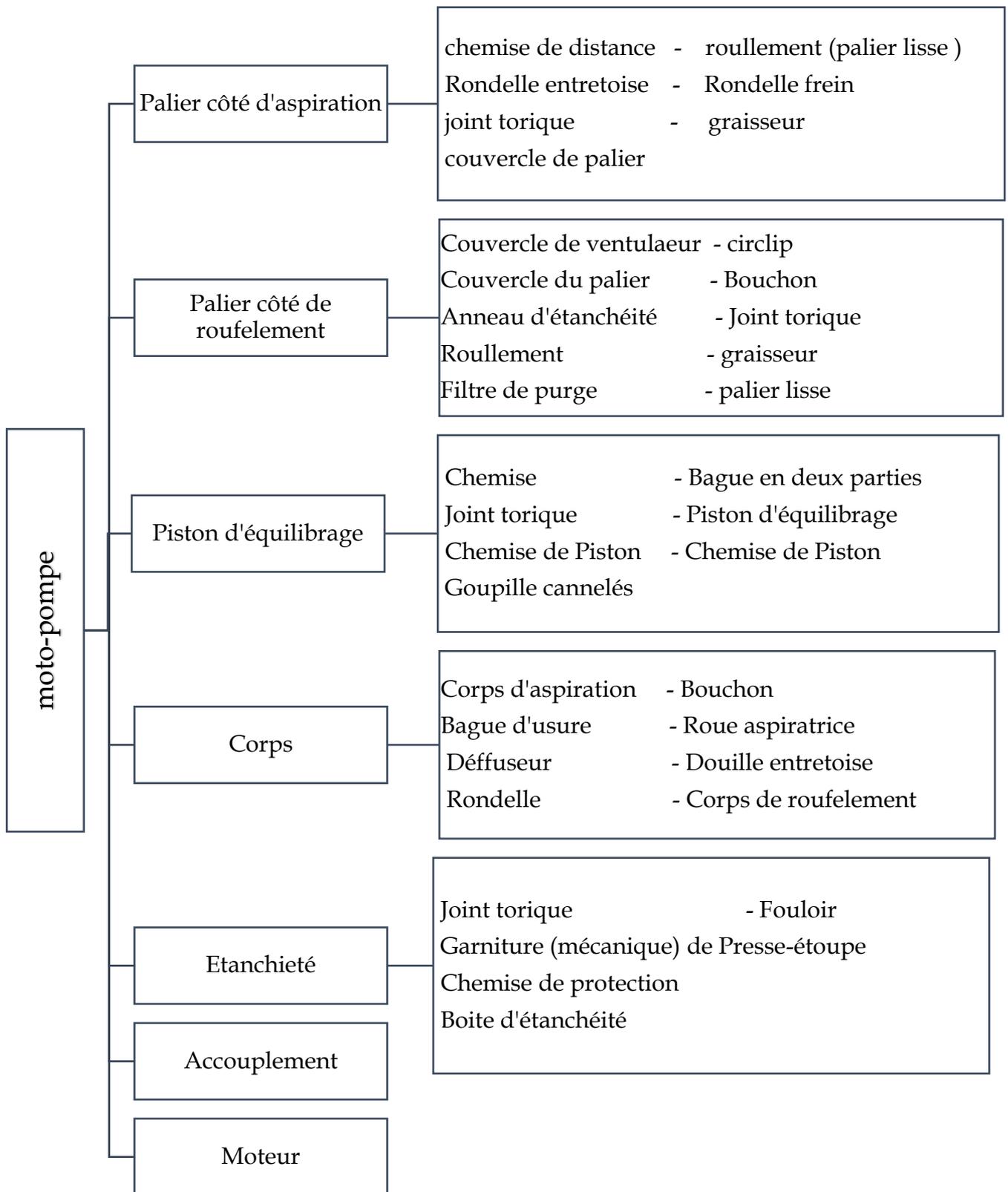


FIGURE 6 DIAGRAMME BÊTE À CORNE :

Fonctions	Significations
FP	Pomper de l'eau de l'aspiration vers le refoulement
FC1	Ne pas aspirer à vide ou à débit faible
FC2	S'adapter au milieu ambiant
FC3	S'adapter à la vitesse du moteur
FC4	Pouvoir refouler à des hauteurs spécifiques
FC5	Avoir une vitesse d'aspiration et de refoulement à des directions adéquates
FC6	Résister au pression et haute température
FC7	Etre facile à entretenir

TABLEAU 3: DECOMPOSITION FONCTIONNELLE

## c. Décomposition structurelle



**d. Tableau des fonctions**

<b>L'Elément</b>	<b>Sa fonction</b>
Moteur	Entrainer la pompe en rotation.
Joint torique	Assurer l'étanchéité de l'arbre, Eviter les fuites de fluide(huile).
Bague d'usure	Assure un jeu fonctionnel entre la roue et le corps de la pompe. C'est une bague sacrificielle
Chemise de distance	Protéger contre l'usure des tresses et d'arbre.
Piston d'équilibrage	Effet opposé égale à la force axiale d'aspiration pour protéger l'arbre.
Fouloir	Serrer les tresses.
Entretoise d'arbre	Assure le montage des roues
Joint du boitier d'Expelleur	Assurer l'étanchéité de l'expelleur
Boulon de blocage de Fouloir	Bloquer le fouloir
Bague de fond	Augmenter la surface d'appui entre les tresses et le boitier d'expelleur
Boulon de fouloir	Fixer le fouloir au boitier d'expelleur.
Roulement	Guider un assemblage en rotation, il permet d'avoir une très faible résistance de pivotement tout en supportant des efforts importants.
Rondelle entretoise	Fixation, empêcher la translation
Rondelle frein	Empêcher le déplacement
Expelleur	Assurer l'étanchéité dynamique de l'arbre
Tresse	Fait la séparation d'eau alimentaire et l'huile de lubrification utilisée ; assurer l'étanchéité.
Clapet	Assure l'anti-retour d'eau dans la vanne de refoulement.
Palier	Porter et Guider l'arbre de la pompe en rotation.
Circlip	Empêche le déplacement du roulement
Diffuseur	Guider liquide d'un étage à un autre, il diffuse tout le flux qu'il reçoit sans aucune absorption
Ventilateur	Refroidissement du palier côté refoulement.
Graisser	Permettre le graissage des tresses.

**TABLEAU 4: LES COMPOSANTS D'UNE POMPE ET LEURS FONCTIONS**

#### 4. Analyse AMDEC

##### a. Evaluation de la criticité

AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			Système : Pompe centrifuge multicellulaire	Atelier : centrale thermique, Maroc Phosphore 1,					Action corrective / Nouvelle criticité				
			Equipe : Mr Fadol , Mr kollach , Elouarti										
Équipement	Fonctionnement	Mode de défaillance	Causes	Effet de la défaillance	F	G	D	C	Action corrective	F	G	D	C
Pompe d'eau alimentaire	Alimenter les chaudières de l'atelier sulfurique d'eau alimentaire	Vibration ou trop de bruit.	Trop de tension sur la tuyauterie, force et moment au niveau de tubulures trop élevés.	Dégradation de la pompe	2	4	2	16	Vérifier d'une façon continue les pressions sur la tuyauterie	1	4	2	8
		Vibration ou trop de bruit.	Les fondations sont très faibles, la base n'a pas été scellée	Endommagement du palier	2	4	2	16	Améliorer l'état de la base	1	4	2	8
		Vibration ou trop de bruit.	Rotor déséquilibré	Grippage des roulements	2	4	2	16	Alignement du Rotor	1	4	2	8
		Vibration ou trop de bruit.	Les passages de la roue sont bloqués	Grippage des roulements	2	4	2	16	Nettoyage de la pompe	1	4	2	8
		Vibration ou trop de bruit.	Usure d'un ou plusieurs diffuseurs/turbines	Grippage des roulements	2	4	2	16	Contrôle des turbines Changement des diffuseurs	1	4	2	8
		Chute de débit (perte d'efficacité).	Usure d'un ou plusieurs diffuseurs/turbines	Dégradation de la pompe	2	4	2	16	Contrôle des turbines Changement des diffuseurs	1	4	2	8

	Chute de débit (perte d'efficacité).	Les passages de la roue sont bloqués	Arrêt de la pompe	2	4	2	16	Éliminer les particules indésirable	1	4	2	8
	Fuite au niveau d'étanchéité (partie statique)	Usure d'un ou plusieurs diffuseurs/turbines	Dégradation de la pompe	2	4	2	16	Contrôle des turbines Changement des diffuseurs	1	4	2	8
	Fuite au niveau d'étanchéité (partie statique)	Desserrages des tiges externes	Etanchéité hydrodynamique non assuré	2	4	2	16	Contrôles réguliers des Expelleur et Fouloir	1	4	2	8
	Pas de pression de refoulement (démarrage)	Vanne d'aspiration pas entièrement ouverte.	Dégradation des turbines	3	4	1	12	Contrôles réguliers de l'état des vannes	1	4	1	4
	Vibration ou trop de bruit.	Cartouche d'aspiration bloquée	Grippage des roulements	2	3	2	12	Éliminer les particules indésirable	1	3	2	6
	Vibration ou trop de bruit.	Palier endommagé	Grippage des roulements	2	3	2	12	Contrôle et graissage régulier des paliers Remplacement de palier	1	3	2	6
	Vibration ou trop de bruit.	Roulement usé	Grippage des roulements	2	3	2	12	Assurer la lubrification Remplacement du roulement	1	3	2	6
	la pompe ne marche pas . Pas de pression de refoulement (démarrage)	Vanne/ligne d'aspiration bloquée	Arrêt de la pompe	3	4	1	12	Eliminer les Particules indésirables contrôle de vannes	1	4	1	4

	Chute de pression de refoulement.	Tuyau d'aspiration pas entièrement rempli	Dégradation des turbines	1	4	3	12	Contrôle du niveau du fluide dans le bac d'aspiration	1	4	2	8
	Chute de pression de refoulement.	Aire ou gaz dans le liquide pompé	Dégradation des turbines	1	4	3	12	Contrôle du niveau du fluide dans le bac d'aspiration	1	4	2	8
	Vibration ou trop de bruit.	Défaut d'alignement d'accouplement	Grippage des roulement	3	3	1	9	Alignement d'accouplement	1	3	1	3
	Chute de pression de refoulement.	Tuyauterie de refoulement non remplie	Chute de rendement	2	2	2	8	Contrôle du pression	1	2	2	4
	Chute de débit (perte d'efficacité).	Crépine d'aspiration bloqué	Arrêt de la pompe	4	2	1	8	Nettoyage de la pompe				0
	Chute de débit (perte d'efficacité).	Vanne d'aspiration ou de refoulement non remplie.	Chute de rendements	1	2	3	6	Contrôle de pression				0
	Vibration ou trop de bruit.	La pompe tourne avec un effet de cavitation	Dégradation de la pompe	1	4	1	4	Changement de le turbine				0
	Température d'étanchéité très élevée.	Débit au niveau d'étanchéité inexistant	Étanchéité non assuré	2	2	1	4	Vérifier l'état d'étanchéité				0

	la pompe ne marche pas . Pas de pression de refoulement (démarrage)	Entrainement hors service, vitesse trop lente	Arrêt de la pompe	1	4	1	4	Contrôler la pression				0
	la pompe ne marche pas . Pas de pression de refoulement (démarrage)	Mauvaise direction de rotation	Arrêt de la pompe	1	4	1	4	Vérifier le sens de rotation				0
	Pas de pression de refoulement (démarrage)	Pompe pas amorcé	Arrêt de la pompe	1	4	1	4	Amorcer la pompe avant démarrage				0
	Pas de pression de refoulement (démarrage)	Clapet de pied bloqué fermé	Arrêt de la pompe	1	4	1	4	Vérifier l'état de ressort				0
	Pas de pression de refoulement (démarrage)	Clapet de pied bloqué ouvert	Arrêt de la pompe	1	4	1	4	Vérifier l'état de ressort				0
	Chute de pression de refoulement.	Fuite d'air dans l'aspiration de la pompe	Chute de débit	1	4	1	4					0
	Température d'étanchéité très élevée.	Manque de liquide de refroidissement de la garniture d'arbre	Grippage des roulements	2	2	1	4	Contrôle régulier d'huile de lubrification				0
	Fuite d'huile de lubrification	Niveau d'huile très élevé	Disparition d'huile de lubrification	1	3	1	3	Contrôle régulier d'huile de lubrification				0

	Fuite d'huile de lubrification	Bague d'étanchéité de l'arbre mal installé	Refroidissement non assuré	1	3	1	3	Ajuster la bague				0
	Egouttement très fort du presse-étoupe	Les tresses ne sont pas montées correctement	Etanchéité non assuré	1	3	1	3	Ajuster les tresses				0
	Egouttement très fort du presse-étoupe	Utilisation des tresses non appropriés pour les conditions de service	Etanchéité non assuré	1	3	1	3	Changement des tresses				0
	Température d'étanchéité très élevée.	Débit au niveau d'étanchéité insuffisant	Etanchéité non assuré	2	1	1	2	Vérifier les pressions				0
	Température d'étanchéité très élevée.	Mauvaise taille d'orifice ou orifice usé	Etanchéité non assuré	2	1	1	2					0
	Chute de débit (perte d'efficacité).	Ligne de débit maximum ouverte, vanne de débit maximum endommagé ou orifice bypass usée	Pas de pression de refoulement	1	2	1	2					0

Tableau 7 : Résultats de l'analyse AMDEC

## 5. AMDEC appliquée sur les Groupes Turbo-alternateurs :

### a. Initialisation :

Je vais effectuer par la suite une analyse AMDEC sur le groupe Turbo-alternateur, dont les résultats vont être généralisés aux autres Turbo-alternateurs à la division MP1.

L'objectif de cette étude est d'aboutir aux différents modes de défaillance des constituants du groupe Turbo-alternateur, afin d'évaluer leurs criticités et proposer cette fois-ci des plans d'action pour des grandes révision des éléments de cet équipement, permettant d'améliorer la disponibilité et le rendement de ce dernier dont la phase d'étude est la marche normale, en prenant en considération les résultats de cette étude.

### b. Décomposition fonctionnelle :

Diagramme pieuvre :

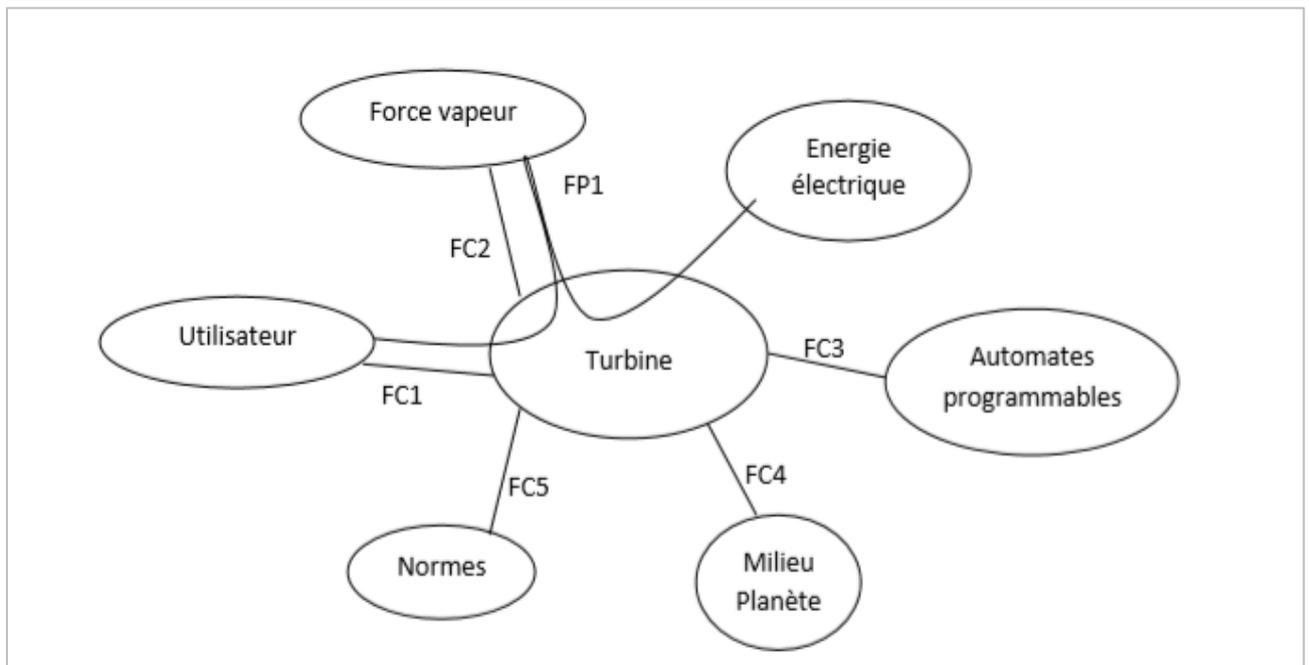
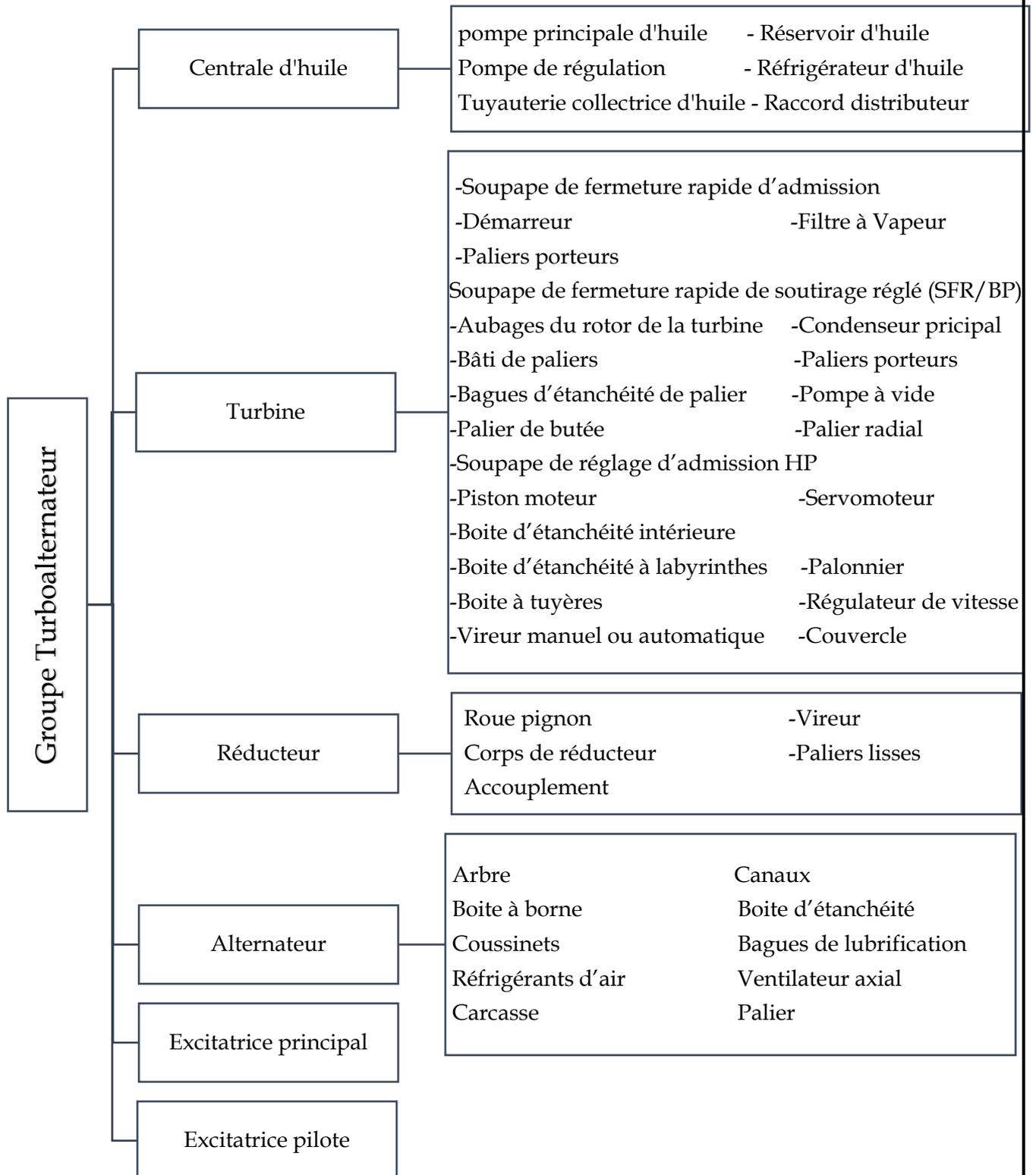


Figure 7 diagramme bête à corne :

Fonctions	Significations
FP	Transformer le flux de vapeur en énergie mécanique pour le transformer à son tour en énergie électrique et alimenter le réseau de l'utilisateur.
FC1	Bon fonctionnement
FC2	S'adapter à la vapeur
FC3	Enregistrement des données relatifs déplacement, température, dilatation, etc.
FC4	S'adapter au milieu ambiant
FC5	Respecter les normes

TABLEAU 5 DECOMPOSITION FONCTIONNELLE

### c. Décomposition structurelle



#### d. Tableau des fonctions

Elément	Fonction
Soupape de fermeture rapide d'admission (SFR/HP)	Arrête la Vapeur à l'entrée de la turbine
Démarrreur	Sert à l'ouverture de la SFR/HP
Filtre à Vapeur	Empêche les impuretés de parvenir à l'intérieur de la turbine
Soupape de fermeture rapide de soutirage réglé (SFR/BP)	Empêche le retour de la Vapeur de la tuyauterie de soutirage
Aubages du rotor de la turbine	Transforment l'énergie thermique de la Vapeur en énergie mécanique (détente)
Distributeur d'inversion	Contrôle l'admission et le retour d'huile du vérin dans la colonne à volant.
Bâti de paliers	Servir d'appui au corps de la turbine et permettre le logement du rotor
Paliers porteurs	Support le rotor de la turbine
Bagues d'étanchéité de palier	Ferme le bâti de côté corps de la turbine
Palier de butée	Absorbe la poussée axiale du rotor
Palier radial	Maintenir le rotor de la turbine centré par apport à l'enveloppe externe
Soupape de réglage de réglage d'admission BP	Adapte le débit de Vapeur à la charge demandée de la turbine
Servomoteur	Soulève et abaisse le palonnier BP
Soupape de réglage d'admission HP	Adapte le débit de Vapeur traversant la turbine à la puissance demandée
Piston moteur	Active la soupape à fermeture rapide
Palonnier	Actionne les soupapes de réglage
Boite d'étanchéité intérieure	Sert à la compensation de la poussée axiale résultant des forces exercées par la Vapeur sur l'aubage
Boite d'étanchéité à labyrinthes	Permettre de limiter dans une large mesure les fuite de Vapeur
Pompe principale d'huile	Alimente le circuit d'huile de la turbine pendant la marche normale
Pompe de régulation	Alimente le circuit d'huile de la turbine pendant la marche normale
Réfrigérants d'huile	Refroidir l'huile avec l'eau douce
Condenseur principal	Faire condenser la Vapeur s'échappant de la turbine
Pompe à vide	Extraire les gaz non condensables au niveau du condenseur
Boite à tuyères	Laisser pénétrer la Vapeur vers l'étage de réglage
Régulateur de vitesse	Maintenir constante la vitesse de rotation de la

	turbine
Vireur manuel ou automatique	Sert à virer l'arbre de la turbine Après chaque arrêt et avant chaque Démarrage (pour éviter sa déformation)
Corps du réducteur	Assure une position du pignon par rapport à la roue dentée invariable
Tuyauterie collectrice d'huile	Permettre le retour d'huile de lubrification
Couvercle	Permet un contrôle rapide de l'engrenage
Palier lisses	Support les arbres du réducteur
Accouplement	Permet le transfert du mouvement de la turbine au réducteur
Raccord distributeur	Amène l'huile nécessaire de graissage aux différents paliers
Arbre	Supporter les pièces tournantes (ventilateurs + enroulements)
Canaux	Permettre la circulation de l'air de refroidissement
Boite à borne	Rétablir la liaison entre l'enroulement statorique et le câble d'alimentation
Boite d'étanchéité	Empêche la sortie d'huile et la pénétration de la poussière
Coussinets	Permet le logement de l'arbre
Bagues de lubrification	Amène l'huile sur l'arbre à partir de la chambre à huile du palier
Réfrigérants d'air	Refroidir l'air chaud sortant de la machine
Ventilateur axial	Aspirer l'air de refroidissement venant de la chambre d'amenée d'air
Carcasse	Support des pièces fixes
Palier	Support de l'arbre de t'alternateur

Tableau 6: Les composants du GTA et leurs fonctions

AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ			<u>Système</u> : Groupe Turbo-Alternateur 1 <u>Equipe</u> : Mr Fadol , Mr kollach , Elouarti	Atelier : centrale thermique, Maroc Phosphore 1 ,				Action corrective / Nouvelle criticité	
équipement	Fonctionnement	Mode de défaillance	Causes	Effet de la défaillance	F	G	D	C	Action corrective
Premier sous ensemble : le réducteur									
Roulements	Guider l'arbre moteur et récepteur en mouvement	Bruits de fonctionnement inhabituels et cycliques	Roulement endommagés	Diminution de vitesse Blocage de l'arbre	2	3	2	12	Contrôler la lubrification Remplacer les roulements
Accouplement	Transmission de mouvement mécanique	Vibrations excessives	Mauvais alignement d'accouplement jeu incorrecte dans l'accouplement	Blocage d'arbre Grippage des roulements	3	3	2	18	Vérifier l'accouplement et la fixation de la boulonnerie
pignons	transmettre le mouvement	Usure	vieillessement	mouvement retardé ou chute de tension	2	2	1	4	contrôle systématique
		blocage	détérioration des roulements	arrêt du cycle	1	4	4	16	contrôle systématique

Sous ensemble deux :Turbine									
Soupape	Régulation de l'admission vapeur	Dégradation de la soupape	Joint et pré-étoupe Dégradé	Problème d'ouverture de soupape	3	2	1	6	Changement des Joints presse- étoupes et réglage des soupapes
Boite d'étanchéité à labyrinthes	Etanchéité	Dégradation du joint	Vibrations	Fuite de vapeur importante	2	2	3	12	Changement du joint contrôle régulier
Soupape de fermeture rapide de soutirage réglé	Empêche le retour de la Vapeur de la tuyauterie de soutirage	Détérioration des soupape	Pression d'échappement	baisse de température / pression	2	3	1	6	Contrôle régulier du soupape

Aubages du rotor de la turbine	Transforment l'énergie thermique de la Vapeur en énergie mécanique	Erosion	*Pénétration des solides particules de la vapeur *Pénétration des gouttelette	Taux d'usure élevé Formation de fractures usure des ailettes	2	3	3	18	Vérifier la température et pression de la vapeur
		Fissuration	Fatigue /Vibration	Usure des ailettes	2	3	3	18	Changement des ailettes
		Entartrage	Vapeur très sèche	Baisse de performance Baisse du débit massique	2	3	3	18	Contrôler la pression et température du vapeur
Sous ensemble trois : centrale d'huile									
Réfrigérateur d'huile	Refroidir l'huile avec l'eau douce	Colmatage / Fuites	Faisceaux pliés/ Perçage	Vérifier l'état du radiateur souffler les faisceaux	4	3	1	12	Vérifier l'état du Réfrigérateur souffler les faisceaux
Distributeur	Diriger l'huile sous pression aux unités de commande	Pas de transfert	Défaillance electro-aimant	Arrêt de l'unité concerné	1	4	3	12	Changement de distributeur

Pompe Principale d'huile	Envoyer le liquide de refroidissement sous pression dans le circuit	Colmatage / bruyante	Impuretés / roulements défectueux Hélice cassée	Elévation de la température du système	1	4	3	12	Nettoyage de la pompe
Filtre à huile	Réduire les impuretés	Défectueux	Eléments filtrant déchirés, impuretés	Mauvais fonctionnement du moteur	2	3	3	18	Changement du filtre
Réservoir d'huile	Stocker l'huile de graissage	Fuites	Mauvais état du joint, perçage, usure	Chauffage, grippage, coulage	2	3	1	6	Vérifier l'état du carter
Sous ensemble Quatre : exitatrice									
Rotor et stator	Créer un champ magnétique nécessaire à la création du courant	Court-circuit	Humidité des enroulements, Mauvaise isolation	Variation du champ, Variation du courant	2	4	2	16	Vérifier l'isolement des enroulements

Sous ensemble cinq : alternateur									
Bobinage	Production de courant électrique	Court-circuit	Dégradation d'une phase	Arrêt de GTA	3	3	2	18	Vérifier systématiquement Les serrages des câbles électriques -Changement des cosses
Carcasse de l'alternateur	Protection de l'alternateur	Echauffement excessif de la carcasse	Fonctionnement de l'alternateur en surcharge	Arrêt de l'alternateur	3	2	3	18	Vérifier les entrées et sorties d'air d'alternateur et les appareils de contrôle
Jeu de barre	Câblage et transmission de courant électrique	Mauvaise connexion électrique	Corrosion oxydation des cosses	Chute de tension	3	3	2	18	Changement des cosses

## 6. Résultats de l'étude :

A partir du tableau ci-dessus, j'ai pu hiérarchiser les causes des pannes pertinentes selon leurs criticités. Après, et avec l'aide du groupe constitué, nous avons fixé le seuil de criticité limite à 10, au-delà duquel nous caractérisons les défaillances dangereuses.

Pour exploiter les résultats de mon analyse AMDEC, nous avons procédé de la manière suivante :

Proposer des solutions techniques pour arriver à réduire la criticité des modes de défaillances pénalisants et par la suite atteindre un taux de disponibilité maximal.

Déterminer une politique de maintenance en se basant sur les actions que j'ai préconisé dans mon analyse AMDEC.

C'est à partir de ces actions que je vais établir le plan de maintenance corrective et préventive.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, j'ai décomposé les équipements de l'atelier central, afin de m'arrêter sur chaque élément, pour déterminer les modes de défaillance, la criticité, et les actions à engager.

Les résultats que j'ai obtenus montrent que le revêtement, les roulements du palier sont bien à la tête de la liste des éléments critiques, avec une criticité dépassant 10, valeur que j'ai fixée avec notre groupe de travail.

Puisque la réduction de la criticité est parmi mes objectifs, j'ai proposé des actions correctives pour l'ensemble des éléments. Ces actions sont à mettre en application pour un meilleur fonctionnement et une durée de vie optimale.

**Chapitre 4**

*Elaboration des plans de  
Maintenance et de  
révision*

## I. Plan de maintenance préventive :

### Introduction

Le plan de maintenance est parmi les fruits de l'étude critique de la maintenance des pompes et de l'analyse AMDEC réalisées précédemment.

Ce plan contient les éléments les plus critiques de la pompe, en indiquant le type de maintenance à effectuer, les actions à mener, la périodicité ainsi qu'une estimation des ressources à engager et quelques remarques à prendre en considération.

#### 1. Définition :

Selon la norme NF X 60-010, c'est « un document énonçant les modes opératoires, les ressources et la séquence des activités liées à la maintenance d'un bien ».

#### 2. Objectifs :

L'établissement du plan de maintenance permet d'atteindre les objectifs suivants :

- ☞ Garantir une continuité de service
- ☞ Garantir un niveau de disponibilité connu à un coût global maîtrisé
- ☞ Maintenir une qualité de service contractuelle
- ☞ Prévenir les risques

#### 3. Démarche d'établissement du plan de maintenance :

J'ai établi les documents constituant le plan de maintenance en suivant une démarche méthodique.

J'ai commencé par un découpage de la pompe en sous-ensembles fonctionnelles, pour faire ensuite une analyse AMDEC . Puis, j'ai classé les actions préventives et correctives issues de cette analyse. Nous avons procédé ensuite à l'établissement des documents formant le plan de maintenance.

## II. Plan de maintenance :

Le plan de maintenance regroupe les intentions d'intervention de maintenance préventive et corrective. Il est très utile dans la mesure où il permet la planification de l'ensemble des travaux qui

doivent être exécutés afin de diminuer la criticité et d'éliminer les causes potentielles des modes de défaillances susceptibles d'apparaître sur l'équipement concerné.

Plan de maintenance préventive systématique :

Composant	MTBF	MTTR
Roulements	50 000 h	2h à 4h
Clapet	10ans	-----
Cartouche filtre d'aspiration	5ans	8h à 16h
Disque d'équilibrage	10ans	-----
Arbre de la pompe	10ans	-----
Les tresses	1an	<b>&lt;= 6h</b>
Les joints	10ans	-----

TABLEAU 7 LISTE DE COMPOSANTS ET LEURS MTBF

Opération	Fréquence	Temps Nécessaire
Contrôle de température de paliers	1 semaine	15 min
Contrôle de vibration des paliers.	1 mois	30min
Contrôle de la bonne étanchéité des paliers	Mensuel	15 min
Contrôle du serrage des vis des flasques des paliers	Mensuel	15 min
Changement des tresses d'étanchéités	3 mois	1h
Contrôle de l'état d'usure et du serrage des boulons de fixation du Fouloir	3 mois	15 min
Contrôle de la fixation de la pompe	1 mois	30min
Contrôle de la garniture d'étanchéité	1 semaine	10min
Contrôle fonctionnement du ventilateur de refroidissement	1mois	10min
Contrôle de transmission	6 mois	1h
Contrôle de la pression de refoulement	1 semaine	10min
Contrôle du circuit de refroidissement boîte à garniture	1 mois	30min
Contrôle de la pression différentielle du filtre	Chaque jour	10min
Changement des tampons de l'accouplement	3 mois	30 min
Contrôle de l'état des moyeux de l'accouplement	3 mois	30 min
Contrôle visuel du jeu entre les manchons d'accouplement GV (Le jeu doit être de : $3\pm 1$ mm)	1 mois	15 min
Contrôle du serrage des boulons de fixation de la	1 mois	10 min

lanterne et de la bride d'adaptation		
Contrôle du bouchage (par encrassement) et de l'état du reniflard	2 mois	15 min
Contrôle du niveau vibratoire du moteur électrique (Seuil Admis. = 2,8 mm/s); (Seuil d'alarme = 4,5 mm/s)	3 mois	15 min
Contrôle de la température du moteur électrique par thermographie infrarouge (Seuil d'alarme = 70 °C)	Mensuel	15 min
Contrôle de l'ampérage du moteur électrique	Mensuel	20 min
Contrôle auditif du bruit du moteur	1 / semaine	10 min

Tableau 8: : plan de maintenance préventive

### III. Plan de Révision du GTA :

Le plan de sont parmi les fruits de l'étude critique de la maintenance du groupe turbo-alternateur et de l'analyse AMDEC réalisées précédemment.

Ce plan contient les éléments les plus critique à prendre en considération lors des révisions des GTA, en indiquant le groupe de maintenance, les actions à mener, la périodicité ainsi qu'une estimation des ressources à engager et quelques remarques à prendre en considération.

<b>N° Equipement: Groupe turboalternateur</b>	<b>Désignation Equipement : Turbine</b>		<b>N° equipement :</b>
<b>Référence Intervention : Plan de révision</b>	<b>Désignation Intervention : Grande révision</b>		<b>Gamme N°: GTA001-M</b>

phase	Description des phases	Durée (H)	COMPETENCES					
			Méca	Elect	Instr	Pro	GC	Autre (*)
10	Nettoyage de la turbine	8	2					SIEMENS
20	Dépose de la cabine de la turbine	8	2					SIEMENS
30	Dépose du calorifuge turbine	1	2					SIEMENS
40	Déconnexion tuyauteries vapeur admission et échappement	2	4					SIEMENS
50	Dépose des capteurs des paliers	4			2			SIEMENS
60	Ouverture paliers	4	4					SIEMENS
70	inspection paliers	16	4					SIEMENS
80	Inspection butée	4	4					SIEMENS
90	contrôle des jeux des paliers	2	2					SIEMENS
100	nettoyage des paliers	2	4					SIEMENS
110	vérifier le système de survitesse mécanique	2	4					SIEMENS
120	dépose et retournement du 1/2 stator supérieur	2	4					SIEMENS
130	dépose du rotor	2	4					SIEMENS
140	dépose des labyrinthes et des garnitures d'étanchéité	1	4					SIEMENS
150	contrôler l'état du rotor	1	4					SIEMENS
160	nettoyer le 1/2 stator inférieur	2	4					SIEMENS
170	nettoyer le 1/2 stator supérieur	4	2					SIEMENS

180	vérifier le plan de joint horizontal	2	2					SIEMENS
190	nettoyer la boulonnerie du plan de joint	4	4					SIEMENS
200	nettoyer et réparer les tiges filetées du plan de joint	4	4					SIEMENS
210	réinstaller le rotor	10	4					SIEMENS
220	installer des nouveaux labyrinthes et garnitures d'étanchéité	4	3					SIEMENS
230	faire le joint du plan de joint	4	3					SIEMENS
240	repose du 1/2 stator supérieur	4	3					SIEMENS
250	serrage au couple de la boulonnerie du plan de joint x	4	3					SIEMENS
260	installation des paliers	4	3					SIEMENS
270	fermeture des paliers	2	3					SIEMENS
280	installation des capteurs des paliers	1			2			SIEMENS
290	repose calorifuge turbine	6	3					SIEMENS
300	Dépose de l'accouplement turbine - réducteur	4	3					SIEMENS
310	Nettoyage et vérification de l'accouplement turbine - réducteur	4	3					SIEMENS
320	remontage accouplement turbine - réducteur	6	3					SIEMENS
330	Démontage de la vanne VFR	3	2					SIEMENS
340	Révision Vanne VFR	16	2					SIEMENS
350	contrôle de l'état du filtre vapeur interne de VFR	4	3					SIEMENS
360	nettoyage boulonnerie et remontage de la vanne de VFR	2	3					SIEMENS
370	Démontage de servomoteur	2	2					SIEMENS
380	Révision de servomoteur	8	2					SIEMENS
390	Remontage de servomoteur	1	2					SIEMENS
400	inspection du circuit d'huile de commande	4	3					SIEMENS

410	Démontage des soupapes de réglage	4	3					SIEMENS
420	Révision des clapets de contrôle et des sièges	4	3					SIEMENS
430	contrôle mécanique de la tringlerie et des axes, graissage	3	3					SIEMENS
440	Remontage des soupapes de réglage	2	2					SIEMENS
450	Contrôle étanchéité vapeur	4	2					SIEMENS
460	Contrôle Système d'huile remplacement des filtres à huile	4	2					SIEMENS
470	contrôle pompe attelée	4	2					SIEMENS
480	contrôle pompe auxiliaire	4	2					SIEMENS
490	vidanger, nettoyer et remplir le réservoir d'huile si nécessaire	5	2					SIEMENS
500	Alignement contrôle de l'alignement	8	2					SIEMENS
510	essais des sécurités de déclenchement (survitesses méca, VFR, manque d'huile,..)	10	2	1	1		1	SIEMENS
520	vérification du bon déroulement de la séquence de démarrage	4			2			SIEMENS
530	vérification des paramètres de fonctionnement en régime établi	4			2			SIEMENS

<b>Equipement: Groupe turboalternateur</b>	<b>Désignation Equipement : Réducteur</b>		<b>N° équipement :</b>
<b>Référence Intervention : Plan de révision</b>	<b>Désignation Intervention : Grande révision</b>		<b>Gamme N°: GTA001-M</b>

phase	Description des phases	Durée	COMPETENCES					
		(H)	Méca	Elect	Instr	Pro	GC	Autre (*)
10	Dépose de l'accouplement réducteur - soufflante	4	2					SIMENS
20	nettoyage et vérification de l'accouplement réducteur - soufflante	1	2					SIMENS
30	remontage accouplement	2	2					SIMENS
40	Dépose des capteurs	4			2			SIMENS
50	Ouverture carter du réducteur	4	2					SIMENS
60	vérification palier DE arbre GV	16	2					SIMENS
70	vérification palier NDE arbre GV	4	2					SIMENS
80	vérification palier DE arbre PV	2	2					SIMENS
90	vérification palier NDE arbre PV	2	2					SIMENS
100	Enlever la roue dentée	4	2					SIMENS
110	enlever l'arbre pignon	4	2					SIMENS
120	vérifier les capteurs de température	2	2					SIMENS
130	vérifier les jeux de paliers	2	2					SIMENS
140	vérifier l'état de surface des engrenages	2	2					SIMENS
150	nettoyer le plan de joint	2	2					SIMENS
160	réinstaller palier DE arbre GV	1	2					SIMENS
170	réinstaller palier NDE arbre GV	1	2					SIMENS
180	réinstaller palier DE arbre PV	2	2					SIMENS
190	réinstaller palier NDE arbre PV	4	2					SIMENS
200	remonter la roue dentée	2	2					SIMENS

210	remonter l'arbre pignon	4	2					SIMENS
220	refermer le carter supérieur	16	2					SIMENS
230	repose des capteurs	1,5			2			SIMENS

<b>Equipement: Groupe turboalternateur</b>	<b>Désignation Equipement : ALTERNATEUR</b>
<b>Référence Intervention : Plan N° KWU 1R18</b>	<b>Désignation Intervention : Grande révision</b>

phase	Description des phases	Durée (H)	COMPETENCES					
			Méca	Elect	Pro	GC	Instr	Autre (*)
10	Dépose des capteurs	1					2	SIMENS
20	Ouverture carter des paliers	2	2					SIMENS
30	vérification des paliers radiaux	4	2					SIMENS
40	contrôle des jeux de palier	4	2					SIMENS
50	nettoyer les paliers	16	2					SIMENS
60	installation des paliers radiaux	4	2					SIMENS
70	Changement des chican d'huile	2	2					SIMENS
80	fermeture carter des paliers	2	2					SIMENS
90	repose des capteurs	4					2	SIMENS
100	Démontage des refroidisseurs	2	2	2				SIMENS
110	Contrôle des refroidisseurs	4	2	2				SIMENS
120	Remontage des refroidisseurs	2	2	2				SIMENS

## **Conclusion générale :**

Ce travail a pour but d'exposer les résultats, auxquels nous avons abouti durant notre projet de fin d'étude, dans l'intention de montrer mon apport au sujet.

Ce stage m'a permis de travailler sur un projet très intéressant pour l'entreprise qui consiste l'amélioration de la performance de maintenance au sein de l'organisme, du côté technique et augmenter la fiabilité de ces équipements, minimiser les arrêts imprévus, et réduire la gravité des pannes et augmenter la disponibilité par la réduction des arrêts dû aux pannes.

J'ai commencé par une présentation de l'organisme d'accueil, et des différents procédés suivis ainsi que les différents ateliers et procédé de production d'acide phosphorique. Ceci a permis d'avoir une idée sur les conditions, dans lesquelles, les pompes les turbo-alternateurs ; objet de notre étude ; fonctionnent.

Ensuite j'ai procédé mon étude par une analyse d'historique des pannes. Ce chapitre m'a donné l'occasion de soulever les différents pannes rencontrés à l'atelier central et de faire une analyse par fréquence, capables d'améliorer le rendement, non pas des pompes seulement, mais de l'installation toute entière.

L'analyse des causes de pannes est une tâche nécessaire, pour bien comprendre l'origine des défaillances. Pour cela, j'ai appliqué la méthode AMDEC, qui m'a aidé à savoir les modes critiques pour chaque élément et sous éléments, et proposer des actions pour réduire la criticité, et estimer la nouvelle valeur de cette dernière. Parmi les résultats de notre analyse AMDEC, l'élaboration d'un plan de maintenance assez complet, dans le but d'organiser la maintenance et améliorer son efficacité pour les pompes, et l'élaboration d'un plan de révision annuelle pour les turbo-alternateurs.

## *Bibliographie :*

- *Dossier constructeur de la pompe multicellulaire*
- *Dossier constructeur des GTA*
- *Dossier des fiches de suivi des équipements.*

## *Webographie :*

- *Wikipédia*
- *www.axessequalité.com*
- *www.qualibloge.fr*
- *www.qualité.ooreka.f*