

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie de la Construction
Département d'électromécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle

Mémoire de Fin d'études

Thème

Etude de fiabilité et maintenance de la pompe alimentaire
- Centrale thermique Cap-Djinet -

Présenté par :

M. Mammeri Belkacem

M. Hesas Chemseddine

Devant le jury d'examen composé de :

M. SI AHMED Hamid

Présidente de jury

M^{me} OUSSIDHOUM Samira

Examineur

M^{me} BOUSSOUM Ouiza

Promotrice

Promotion 2022/ 2023

Remerciement

En premier lieu, nous remercions Dieu tout puissant, notre créateur, qui nous a donné la force et la persévérance pour réaliser ce travail.

Nous remercions également madame Boussoum Ouiza notre promotrice de mémoire pour avoir acceptée de diriger ce travail, pour ses précieux conseil et sa disponibilité.

Nous tenons également à adresser nos remerciements à notre encadreur Mr Ait Tafati Idris qui nous a accordé son soutien, son aide indéfectible et surtout sa patience et sa gentillesse.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et valoriser notre travail.

Nous tenons ainsi à remercier

L'ensemble du personnel de la centrale de Cap-Djinet de Boumerdès et particulièrement les membres du département exploitation.

Nous tenons à remercier toute personne qui nous a encouragé de près ou de loin.

DEDICACE

Ce travail est dédié à :

*Mes chers parents qui ont sacrifié leur
modeste vie pour que je puisse étudier.*

Mes chers frères et sœurs

Mes ami(e)s sans exceptions.

Toute ma promotion.

Tous ceux qui sont chers à moi.

Mammeri Belkacem.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce travail :

A mes précieuses offres du dieu, qui doivent ma vie, ma réussite et tout mon respect. Qui ont souffert sans me laisser souffrir, qui n'ont jamais dit non à mes exigences et qui n'ont épargnée aucun effort pour me rendre heureux, mes adorables parents, Abdelkader et Djamila.

A ma grande mère Fatima que dieu la protège.

A ma chère adorable sœur : Souhila, Qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu la protège et lui offre la santé et le bonheur.

A mes chère adorables frère : Salim, sa femme Linda. Que dieu leur prête bonheur et longue vie.

A mes chères cousins : Yakhia, Abdeslam, Mahdi, Ismail, Tarik, Nazim, Meziane, Khilou, Malik et Said, et d'autres Pour leur bienveillance et leur bonté.

A mes anciens amis : Youwa, Danny, Kocela, Hakim, Katia, Katia, Lydia, Melissa à qui j'exprime ma plus grande gratitude d'avoir était toujours là pour moi.

A tous mes camarades.

A mon chère binôme Belkacem, avec qui j'ai passée d'agréables années, je te remercie d'avoir été là à mes côtés dans les bons et mauvais moments.

Hessas Chemseddine

Liste des figures

CHAPITRE I

<i>Figure I.1</i> : Vue prise par google earth pour la centrale de CAP DJINET.....	02
<i>Figure I.2</i> : Schéma synoptique d'une tranche thermique.....	04
<i>Figure I.3</i> : Vue d'un bruleur de l'extérieur et de l'intérieur.....	06
<i>Figure I.4</i> : Rotor du corps BP.....	08
<i>Figure I.5</i> : Rotor du corps MP.....	08
<i>Figure I.6</i> : Rotor du corps HP.....	09
<i>Figure I.7</i> : Alternateur.....	09
<i>Figure I.8</i> : Transformateur.....	10
<i>Figure I.9</i> : Condenseur.....	11
<i>Figure I.10</i> : Vue intérieure du condenseur.....	11
<i>Figure I.11</i> : Bâche alimentaire.....	12
<i>Figure I.12</i> : Schéma représentatif de la pompe alimentaire.....	13
<i>Figure I.13</i> : Réchauffeur HP.....	14
<i>Figure I.14</i> : Station de pompage.....	15
<i>Figure I.15</i> : Salle de commande.....	17
<i>Figure I.16</i> : Chaîne énergétique d'une centrale électrique.....	18

CHAPITRE II

<i>Figure II.1</i> : Constitution d'une pompe alimentaire.....	20
<i>Figure II.2</i> : Schéma du système de pompage.....	20
<i>Figure II.3</i> : Pompe nourricière.....	21
<i>Figure II.4</i> : Pompe nourricière	22
<i>Figure II.5</i> : Composition du moteur électrique.....	23
<i>Figure II.6</i> : Butée.....	25
<i>Figure II.7</i> : Accouplement.....	25
<i>Figure II.8</i> : Le pignon primaire.....	25
<i>Figure II.9</i> : Le pignon secondaire.....	25
<i>Figure II.10</i> : Corps d'écope.....	26
<i>Figure II.11</i> : Logement de coupleur.....	26
<i>Figure II.12</i> : Servo-commande.....	27
<i>Figure II.13</i> : Filtre d'huile.....	28

<i>Figure II.14</i> : Coupleur hydraulique.....	29
<i>Figure II.15</i> : Pompe principale.....	33
<i>Figure II.16</i> : Organigramme du démarrage du groupe motopompe par protection.....	37
<i>Figure II.17</i> : Organigramme de l'arrêt du groupe motopompe par protection.....	38
CHAPITRE III	
<i>Figure III.1</i> : Courbe en baignoire	41
<i>Figure III.2</i> : Diagramme d'ALLEN PLAIT	45
<i>Figure III.3</i> : Redressement de la courbe par translation	45
<i>Figure III.4</i> : Diagramme de fiabilité pour un système série.....	46
<i>Figure III.5</i> : Papier weibull de la pompe nourricière	49
<i>Figure III.6</i> : Papier weibull du coupleur hydraulique	51
<i>Figure III.7</i> : Papier weibull de la pompe principale	52
CHAPITRE IV	
<i>Figure IV.1</i> : Diagramme des méthodes de maintenance	57
<i>Figure IV.2</i> : Niveaux de maintenance	62
<i>Figure IV.3</i> : Courbe ABC de pareto	65
<i>Figure IV.4</i> : Courbe ABC pour la pompe alimentaire 40 RL 22 D001	67

Liste des tableaux

CHAPITRE II

<i>Tableau II.1</i> : Nomenclature de la pompe nourricière.....	23
<i>Tableau II.2</i> : Composition du moteur électrique.....	24
<i>Tableau II.3</i> : Nomenclature du coupleur hydraulique.....	30
<i>Tableau II.4</i> : Nomenclature de la pompe principale	34

CHAPITRE III

<i>Tableau III.1</i> : Calcule de fiabilité de la pompe nourricière.....	49
<i>Tableau III.2</i> : Calcul de fiabilité du coupleur hydraulique.....	50
<i>Tableau III.3</i> : Calcul de fiabilité de la pompe principale.....	52
<i>Tableau III.4</i> : Résumé du calcul de fiabilité de la pompe alimentaire	53

CHAPITRE IV

<i>Tableau IV.1</i> : Les couts de la maintenance pour la pompe alimentaire.....	66
--	----

Liste d'abréviations

BA : Borne alternateur

BU : Borne usine

HP : Haute pression

MP : moyenne pression

BP : Basse pression

S : Soutirage

RL : Circuit d'eau d'alimentation

VG : Circuit d'eau de refroidissement secondaire

TP : Transformateur élévateur principal

TS : Transformateur abaisseur de soutirage

TBF : Temps de bon fonctionnement

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement

TTR : Temps techniques de réparation

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation

ABC : Activity based costing

Sommaire

Résumé

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Cap-Djinet

1	Introduction	2
2	Situation géographique de la centrale.....	2
3	Historique	3
4	Constitution de la centrale	3
5	Caractéristiques technique de la Centrale.....	4
5.1	La chaudière	5
5.1.1	Chambre de combustion	5
5.1.2	Ballon chaudière (réservoir).....	5
5.1.3	Economiseur	5
5.1.4	Surchauffeurs et resurchauffeurs.....	6
5.1.5	Désurchauffeurs par injection d'eau	6
5.1.6	Brûleurs de combustion mixte gaz/fuel	6
5.1.7	Ventilateurs de recyclage	6
5.1.8	Ventilateurs de soufflage	7
5.1.9	Préchauffeurs d'air à vapeur	7
5.1.10	Réchauffeur rotatif d'air de combustion.....	7
5.2	Turbine	7
5.2.1	Corps BP à basse pression	7
5.2.2	Corps MP à moyen pression.....	8
5.2.3	Corps HP à haute pression.....	8
5.3	L'alternateur	9
5.4	Le transformateur	10
5.5	Le poste d'eau	10
5.5.1	Le condenseur	10
5.5.2	La bêche alimentaire	11
5.5.3	Les pompes.....	12
5.5.4	Les réchauffeurs bas pression (BP) et haute Pression (HP).....	13
5.6	Les différents auxiliaires.....	14
6	Principe de fonctionnement.....	17

7	Conclusion.....	18
---	-----------------	----

Chapitre II : Présentation de la pompe alimentaire et ses éléments

1	Introduction.....	19
2	Définition de la pompe alimentaire	19
3	Description	19
4	Composition de la pompe alimentaire.....	19
4.1	La pompe nourricière	21
4.1.1	Principe de fonctionnement.....	21
4.1.2	La nomenclature de la pompe nourricière	22
4.2	Moteur électrique	23
4.2.1	Définition.....	23
4.2.2	Principe de fonctionnement.....	23
4.2.3	La nomenclature du moteur électrique	23
4.3	Coupleur hydraulique.....	24
4.3.1	Définition.....	24
4.3.2	Description	24
4.3.3	Principe de fonctionnement.....	24
4.3.4	Composition du coupleur	25
4.3.5	Réglage de la vitesse de sortie.....	29
4.3.6	La nomenclature du coupleur hydraulique	29
4.4	Pompe principale.....	30
4.4.1	Description	30
4.4.2	Éléments constructifs.....	31
4.4.3	Accessoire de la pompe principale	31
4.4.4	La nomenclature de la pompe principale.....	33
5	Circuit d'huile de lubrification et de refroidissement du groupe motopompe alimentaire	34
5.1	Pompe nourricière.....	34
5.2	Moteur électrique	34
5.3	Coupleur hydraulique.....	35
5.4	Pompe principale.....	36
6	Mise en service du groupe motopompe alimentaire.....	36
7	Démarrage par protection du groupe motopompe alimentaire.....	37
8	Mise à l'arrêt du groupe motopompe alimentaire	37
9	Arrêt par protection du groupe motopompe alimentaire	38

10	Le principe de fonctionnement de la pompe alimentaire.....	38
11	Conclusion	39

Chapitre III : Etude de fiabilité de la pompe alimentaire

1	Introduction.....	40
2	Etude de la fiabilité.....	40
2.1	Définition	40
2.2	Objectif de fiabilité	40
2.3	Caractéristiques de la fiabilité	40
2.4	Taux de défaillance.....	40
2.5	La courbe en baignoire.....	41
2.5.1	Représentation graphique.....	41
2.5.2	Interprétation	41
3	Classement des données.....	42
3.1	Temps moyen de bon fonctionnement.....	42
3.2	Approximation de la fréquence cumulée $F(i)$	42
4	Le modèle de Weibull.....	43
4.1	Domaine d'utilisation	43
4.2	Expressions mathématiques	43
4.3	Détermination graphique des paramètres de Weibull	44
4.4	Diagramme d'ALLEN PLAIT	44
4.4.1	Procédure de réalisation	45
5	La fiabilité et la disponibilité de système en série	46
5.1	Fiabilité de système	46
5.2	Disponibilité de système	47
6	La maintenabilité.....	47
6.1	Définition	47
6.2	Les temps techniques de réparation (TTR).....	47
7	La disponibilité	48
7.1	Définition.....	48
7.2	Expression de la disponibilité	48
8	Calcul de fiabilité, disponibilité, maintenabilité de la pompe alimentaire 40 RL 22	48
8.1	La pompe nourricière	48
8.1.1	Détermination graphique des paramètres de Weibul	49
8.1.2	Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement).....	49
8.1.3	Calcul de $R(MTBF)$, $F(MTBF)$ et $\lambda(MTBF)$	50

8.1.4	Étude de maintenabilité et disponibilité	50
8.2	Le coupleur hydraulique.....	50
8.2.1	Détermination graphique des paramètres de Weibull	51
8.2.2	Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement).....	51
8.2.3	Calcul de R(MTBF), F(MTBF) et λ (MTBF)	51
8.2.4	Étude de maintenabilité et disponibilité	51
8.3	La pompe principale	52
8.3.1	Détermination graphique des paramètres de Weibull	52
8.3.2	Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement).....	53
8.3.3	Calcul de R(MTBF), F(MTBF) et λ (MTBF)	53
8.3.4	Étude de maintenabilité et disponibilité	53
9	Résumé de l'étude de fiabilité.....	53
10	Interprétations	54
11	Calcul de la fiabilité et la disponibilité totale de la pompe alimentaire.....	54
11.1	Calcul de la fiabilité	54
11.2	Calcul de la disponibilité.....	54
12	Conclusion	55

Chapitre IV : Etude de maintenance de la pompe alimentaire

1	Introduction	56
2	Définition de la maintenance.....	56
3	Les objectifs de la maintenance	56
3.1	Objectifs cout	56
3.2	Objectifs opérationnels.....	57
4	Type de la maintenance	57
5	Méthodes de maintenance	58
5.1	Maintenance corrective	58
5.1.1	La maintenance palliative (Dépannage)	58
5.1.2	La maintenance curative (Réparation).....	58
5.1.3	But de la maintenance corrective	58
5.1.4	Les opérations de la maintenance corrective.....	59
5.1.5	Avantages et inconvénients de la maintenance corrective	59
5.2	Maintenance préventive.....	59
5.2.1	Maintenance préventive systématique.....	60
5.2.2	Maintenance préventive conditionnelle.....	60

5.2.3	But de la maintenance préventive.....	60
5.2.4	Les opérations de la maintenance préventive	60
5.2.5	Avantages et inconvénients de la maintenance préventive.....	61
6	Les niveaux de maintenance.....	61
7	Méthode ABC ou analyse de PARETO	63
7.1	Introduction	63
7.2	Origine et contexte d'évolution de la méthode.....	63
7.3	Objectif de la méthode ABC	63
7.4	Méthodologie de la méthode ABC	64
7.4.1	Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites	64
7.4.2	Choisir le critère de classement.	64
7.4.3	Construire un graphique.	64
7.4.4	Déterminer les zones ABC.	64
7.4.5	Interprétation de la courbe.....	65
8	Analyses des coûts de maintenance de la pompe alimentaire 40RL22 Par la méthode ABC	65
8.1	Les couts de la maintenance selon l'historique de la pompe alimentaire 40 RL 22.....	66
8.2	Construction de la courbe ABC pour la pompe alimentaire et détermination des zones	67
8.3	Interprétation des résultats de la courbe pour la pompe alimentaire 40 RL 22	67
9	Programme de maintenance de l'installation- applications	68
9.1	Maintenance préventive systématique.....	68
9.1.1	Programme de maintenance préventive systématique pour pompe nourricière	68
9.1.2	Programme de maintenance préventive systématique pour le moteur électrique.....	68
9.1.3	Programme de maintenance préventive systématique pour le coupleur hydraulique....	69
9.1.4	Programme de maintenance préventive systématique pour la pompe principale.....	70
9.2	Maintenance préventive conditionnelle.....	71
10	Conclusion.....	71
	Conclusion générale.....	72

Références bibliographique

Annexe 01

Annexe 02

Résumé

Les systèmes de production sont devenus très importants de nos jours, soit de point de vue entreprise ou client, c'est pour ça que toutes les entreprises cherchent à satisfaire leurs clients, donnent à la sûreté de fonctionnement une grande considération dans la prise de décision. Dans ce manuscrit, nous avons introduit la fiabilité et la méthode de maintenance ABC, qui fait partie de la sûreté de fonctionnement et qui a pour but la création des plans de maintenance des différents systèmes, et nous l'avons appliqué sur un cas réel qui est la pompe alimentaire 40RL22 qui se trouve au niveau de la centrale électrique Cap-Djinet. Par la suite, nous avons proposé des actions de maintenance correctives et préventives afin d'aider les ingénieurs responsables de la maintenance à prendre les bonnes décisions en cas de dysfonctionnements ou de problèmes techniques, voir améliorer la performance de ces systèmes.

Mots clés : sûreté de fonctionnement, ABC, maintenance, 40RL22, prise de décision, dysfonctionnement, Performance.

Abstract

Production systems have become very important nowadays, either from a company or customer point of view, this is why all companies seek to satisfy their customers, give operational safety great consideration in decision making. In this manuscript, we introduced reliability and the ABC maintenance method, which is part of operational safety and which aims to create maintenance plans for the different systems, and we applied it to a real case which is the 40RL22 food pump which is located at the Cap-Djinet power plant. Subsequently, we proposed corrective and preventive maintenance actions in order to help the engineers responsible for maintenance make the right decisions in the event of malfunctions or technical problems, or even improve the performance of this system.

Key words: operational safety, ABC, maintenance, 40RL22, decision making, malfunction, Performance.

Introduction générale

Dans le monde industriel le secteur de l'énergie c'est l'un des secteurs les plus stratégiques pour l'économie, il présente une grande importance dans le développement d'un pays, pour cela, l'évolution d'une nation est basé tout d'abord sur des sources d'énergie aussi importante comme celle de l'électricité.

Les centrales thermiques sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique, cette dernière est produite par divers moyens.

La centrale thermique de cap-djinet c'est une centrale thermique à vapeur qui fait appel aux caractéristiques thermodynamiques de l'eau de mer dont le but est la transformation d'énergie. La combustion s'opère à l'intérieur d'une chaudière dans laquelle des tubes assurent une circulation d'eau. La transformation de cette dernière en vapeur entraîne une turbine associée à un alternateur producteur d'énergie électrique.

La pompe alimentaire qui sert à alimenter la chaudière en eau chaude, cette dernière sera transformée en vapeur et fournie à la turbine de la centrale thermique Cap-Djinet. Pour cela pour éviter les arrêts et les défaillances de la pompe il faut faire une étude de fiabilité pour l'amélioration en bonne maintenance. Cette pompe 40 RL 22 joue un rôle très important dans cette centrale, un arrêt de cette pompe provoque un arrêt total de production. Dans ce cas-là l'objectif de notre travail est :

- Comment étudier la fiabilité de cette pompe ?
- Comment faire la maintenance pour éviter le maximum de défaillance ?

Afin de mener bien notre étude, le travail est présenté sur quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous nous sommes intéressés à la présentation de l'unité et aux principaux éléments dans la centrale ainsi que leurs fonctionnements.
- Le deuxième chapitre a été consacré à la description de la pompe alimentaire, de ses éléments constitutifs et son fonctionnement.
- Le troisième chapitre concerne un rappel sur la fiabilité des systèmes ainsi que l'étude de la fiabilité de la pompe alimentaire -40RL22-.
- Dans le dernier chapitre nous avons présenté l'étude de maintenance et l'analyse des pannes par la méthode d'ABC.

CHAPITRE I

1 Introduction

Une centrale électrique est un site industriel de l'électricité en grande quantité. Les centrales électriques transforment des sources d'énergie naturelles en énergie électrique, afin d'alimenter en électricité des consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointain. Le réseau électrique est utilisé pour transporter et distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs.

2 Situation géographique de la centrale

La centrale est située au nord de la wilaya de Boumerdes, au bord de la mer, à 30 Km à l'est du centre de la wilaya, et a 1 Km à l'ouest de la ville de Cap-Djinet. Cette centrale est construite entre 1980a 1986 en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays.



Figure I.1 : vue prise par google earth pour la centrale de Cap-Djinet[2]

3 Historique

La centrale thermique de Cap-Djinet a été construite par un groupe Austro-allemand SIEMENS-SGP qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et du contrôle d'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole DRAGADOS à la quelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer.

Les principales entreprises Algériennes qui ont participé à la réalisation de la centrale sont : GENIE SIDER, ENCE, ETTERKIBE, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM et SOGEP.

Les principaux contrats ayant été signés en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en 1981, et les travaux de montage ont commencé en 1984. Les principales opérations sont réalisées selon le calendrier suivant :

- Travaux de génie civil : 1984- 1985.
- Montage mécanique : 1984- 1986.
- Montage électrique : 1984- 1986.

La mise en service des groupes de production s'est déroulée comme suit :

- Groupe 1 en Décembre 1985.
- Groupe 2 en Avril 1986.
- Groupe 3 en Septembre 1986.
- Groupe 4 en Décembre 1986.

Donc la centrale de Cap-Djinet est venue renforcer le parc de production d'énergie électrique en 1986 avec une puissance de 672MW. Elle se compose de 4 monoblocs de type thermique à vapeur d'une puissance de 176MW chacun.

La première fourniture d'énergie électrique au réseau s'est effectuée le 17 Juin 1986.[3]

4 Constitution de la centrale

La Centrale de Cap-Djinet se compose de 4 tranches de type thermique vapeur d'une puissance unitaire de 176 MW Borne alternateur (BA). La puissance totale installée est de 704 MW borne alternateur (BA). La puissance fournie au réseau est de 672 MW borne usine (BU). La consommation totale des auxiliaires des 4 tranches et des auxiliaires communs est d'environ 32 MW comprenant des installations communes :

- Station de pompage d'eau de mer.
- Poste de détente gaz naturel.
- Poste fuel.
- Station de dessalement et de déminéralisation d'eau de mer.

- Station d'électro-chloration.
- Salle de compresseurs d'air comprimé de travail et de régulation

Et pour chaque groupe :

- Générateur de vapeur.
- Turbine à vapeur.
- Condenseur.
- Alternateur.
- Auxiliaires électriques.
- Salle de commande centralisée.
- Transformateur principal d'évacuation de l'énergie.
- Dessalement de l'eau de mer.

5 Caractéristiques technique de la Centrale

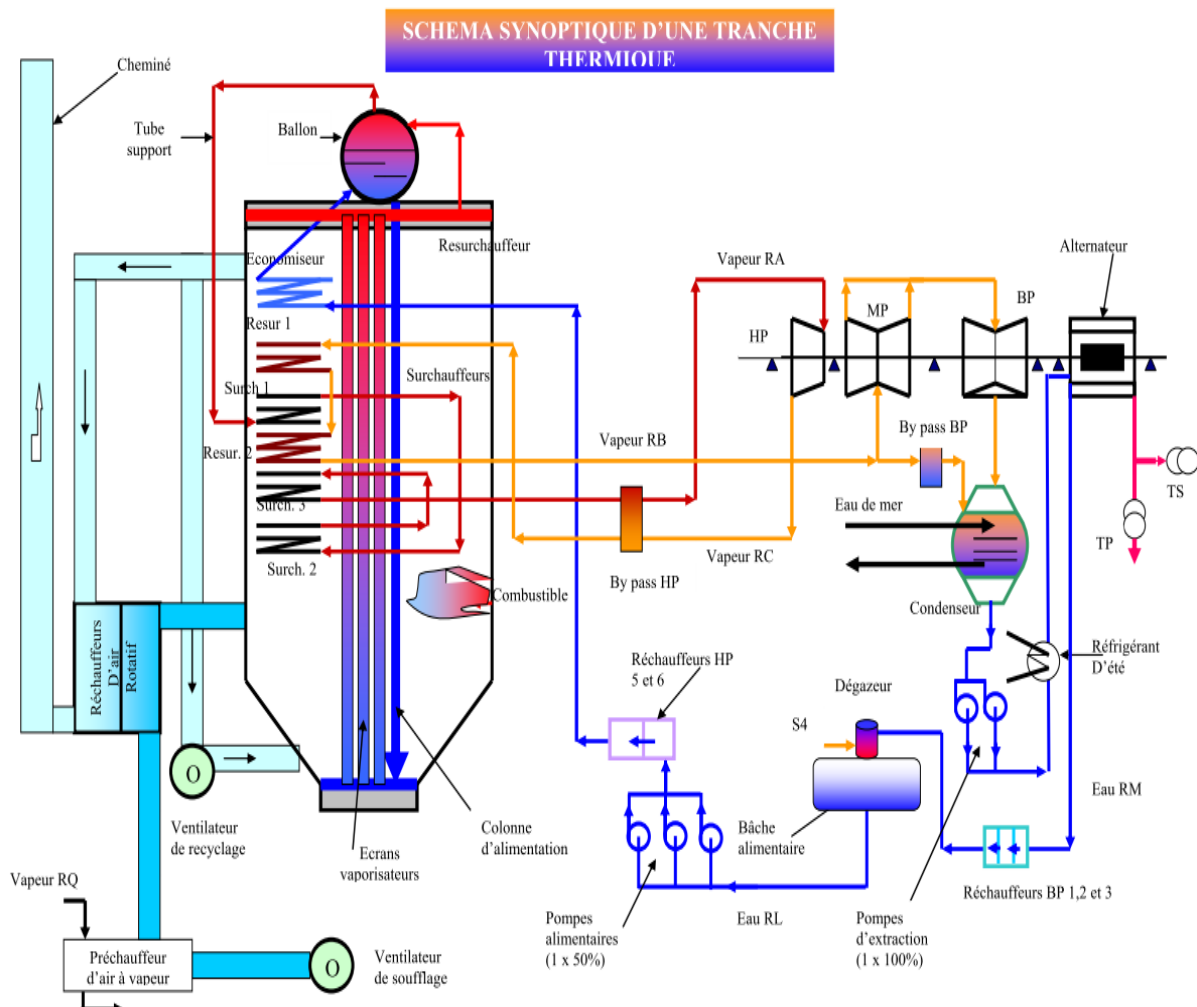


Figure I.2 : Une synoptique d'une tranche thermique[4]

5.1 La chaudière

Le rôle de ce générateur de vapeur est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état de vapeur surchauffée, à haute pression, en vue d'alimenter la turbine .Il est à circulation naturelle, doté d'une chambre de combustion, avec surchauffe.

Les générateurs de vapeur sont de type à circulation naturelle (Circulation naturelle de l'eau et de la vapeur, l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau).

Les caractéristiques de la chaudière (voir l'annexe 01) [1]

La chaudière décompose en plusieurs organes :

5.1.1 Chambre de combustion

Formée par les tubes écrans (faisceaux vaporisateurs) et (04) Colonnes de descentes les tubes écrans constituant les parois de la chambre de combustion, sont alimentés à leur partie inférieure par quatre colonnes dites de descente. La chaleur reçue par ces tubes, Essentiellement par rayonnements, est transmise à l'eau en vue de sa vaporisation.

5.1.2 Ballon chaudière (réservoir)

C'est un réservoir placé au-dessus de la chambre de la combustion, qui renferme de l'eau à l'état liquide provenant de l'économiseur alimentant les tubes écrans vaporisateurs et de l'eau à l'état vapeur provenant des tubes écrans pour l'alimentation des surchauffeurs.

Les caractéristiques du ballon chaudière (voir l'annexe 01) [1]

5.1.3 Economiseur

C'est un échangeur de chaleur ; constitué d'un serpentín en fin de parcours des gaz de combustion, l'eau en provenance du poste de réchauffage, alimenté par des soutirages de la turbine, se réchauffe dans l'économiseur avant son introduction dans le ballon, à une température inférieure à celle d'ébullition.

Les caractéristiques de l'économiseur (voir l'annexe 01) [1]

5.1.4 Surchauffeurs et resurchauffeurs

Les surchauffeurs, au nombre de trois (primaire, secondaire et tertiaire), permettant grâce à la récupération de la chaleur sensible des fumées provenant du foyer, d'élever la température de la vapeur au-delà du point de saturation pour atteindre la valeur de 540°C, et ce, afin d'éliminer l'humidité contenue dans cette vapeur et donc d'améliorer le rendement de la turbine et ainsi diminuer la consommation du combustible.

Les caractéristiques des surchauffeurs et des resurchauffeurs (voir l'annexe 01) [1]

5.1.5 Désurchauffeurs par injection d'eau

Une partie de l'eau d'alimentation est déviée avant son entrée dans l'économiseur dans un circuit annexe et elle sera injectée dans la vapeur surchauffée à un étage intermédiaire de surchauffe.

Elle sert au réglage de la température de vapeur à la sortie du dernier surchauffeur.

L'injection de cette eau de désurchauffe dans la vapeur se fait par pulvérisation dans un mélange appelé désurchauffeur.

5.1.6 Brûleurs de combustion mixte gaz/fuel

Le générateur de vapeur est équipé de huit brûleurs fonctionnent au gaz naturel ou au fuel léger. Ils sont disposés sur quatre étages de la face avant de la chaudière.

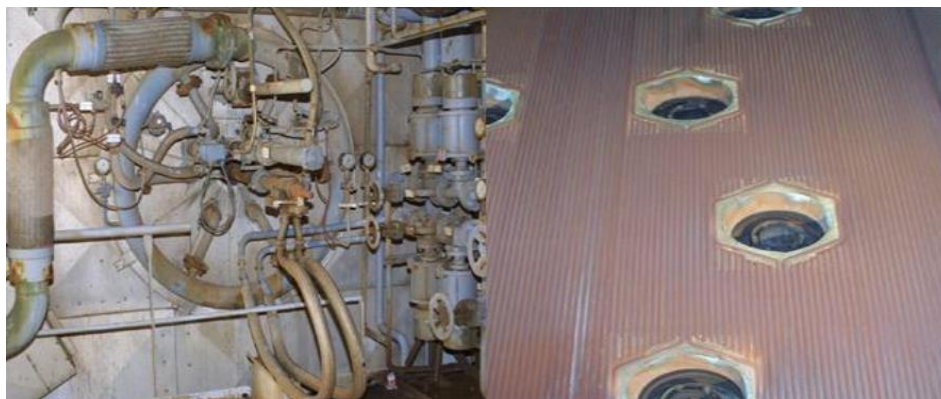


Figure I.3 : Vue d'un brûleur de l'extérieur et de l'intérieur[5]

5.1.7 Ventilateurs de recyclage

Ils ont pour rôle de recycler, en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la T° à la sortie du resurchauffeur.

5.1.8 Ventilateurs de soufflage

Ils ont pour rôle de fournir l'air de combustion nécessaire au générateur de vapeur.

5.1.9 Préchauffeurs d'air à vapeur

Ils servent à augmenter la température d'air de combustion à environ 85°C qui est nécessaire au générateur de vapeur.

5.1.10 Réchauffeur rotatif d'air de combustion

Il sert à réchauffer l'air de combustion à environ 350°C par récupération de chaleur des fumées.

5.2 Turbine

La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre. Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur. La turbine est composée de 03 corps, haute pression (HP), moyen pression (MP) et à basse pression (BP). Elle comporte 06 soutirages qui alimentent 03 réchauffeurs à BP, 02 soutirages à MP et 01 soutirage à HP. Le rotor de la turbine est accouplé avec l'alternateur.

Les caractéristiques de la turbine (voir l'annexe 01) [1]

La turbine se compose de 03 corps :

5.2.1 Corps BP à basse pression

Une turbine à vapeur comporte un ou plusieurs étages, composés chacun de deux aubages, ou grilles d'aubes, dont l'un est fixe et l'autre est mobile.

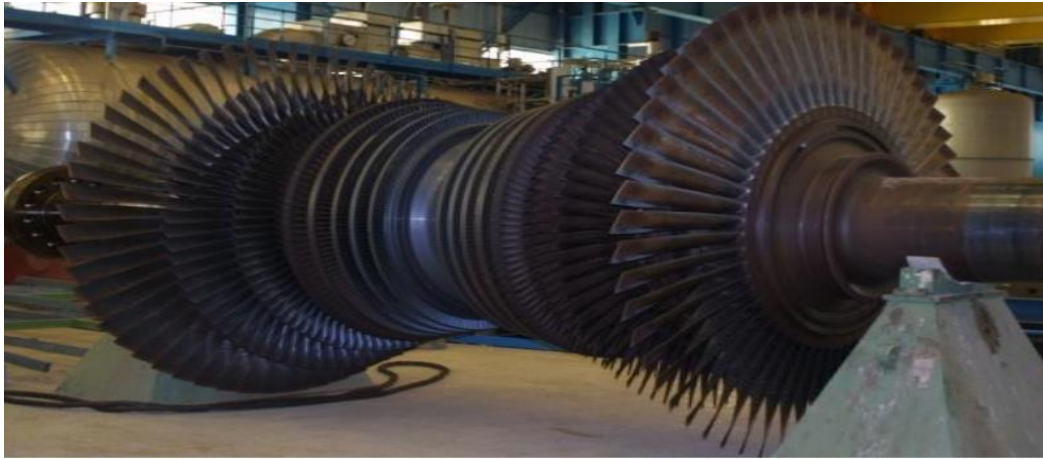


Figure I.4 : Rotor du corps BP[5]

Les Caractéristiques du corps BP (voir l'annexe 01) [1]

5.2.2 Corps MP à moyen pression



Figure I.5 : Rotor du corps MP

Les caractéristiques du corps MP (voir l'annexe 01) [1]

5.2.3 Corps HP à haute pression



Figure I.6 : Rotor du corps HP

Les caractéristiques du corps HP (voir l'annexe 01) [1]

5.3 L'alternateur

C'est un générateur d'électricité. Il sert à transformer l'énergie mécanique produite par l'arbre de la turbine en énergie électrique. C'est un alternateur à pôles lisses et le courant électrique créé est un courant alternatif triphasé.

les caractéristiques de l'alternateur (voir l'annexe 01) [1]

Cette transformation dégage une grande quantité de chaleur, d'où la nécessité de refroidir l'alternateur. Le refroidissement se fait par un circuit fermé à Hydrogène qui est lui-même refroidi à l'eau déminéralisée.

- Système de l'alternateur

L'alternateur comprend les éléments suivants :

- Enroulements stationnaires du stator.
- Rotor.
- Enroulement de champ du rotor



Figure I.7 : alternateur

5.4 Le transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

Vu que la tension au niveau de l'alternateur est faible, le courant électrique est très important, il est nécessaire de réduire les pertes par effet Joule en passant par un transformateur de tension. Dans le cas présent on utilise un transformateur de 15,5 KV à 220 KV, et une puissance de 220 MW à travers un disjoncteur coupleur. Le refroidissement du transformateur se fait par une circulation forcée d'huile en circuit fermé qui est lui-même refroidie par l'air.



Figure I.8 : transformateur

5.5 Le poste d'eau

Le poste d'eau comprend l'ensemble des appareils depuis l'échappement de la turbine jusqu'à l'entrée de l'économiseur de la chaudière et est constitué des éléments suivants :

5.5.1 Le condenseur

Le condenseur utilisé est un échangeur à échange par surface, il est placé sous le corps basse pression (BP) de la turbine. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans lesquelles passe l'eau de refroidissement de mer. L'échange de chaleur est de types fluides séparés à faisceaux tubulaires.



Figure I.9 : le condenseur

Les caractéristiques du condenseur (voir l'annexe 01) sont [1]



Figure I.10 : Vue intérieure du condenseur

5.5.2 La bêche alimentaire

C'est un réservoir cylindrique où a lieu le dégazage de l'eau, l'eau sortant des réchauffeurs basse pression (BP) se conduit vers la bêche alimentaire, cette dernière joue le rôle d'un échangeur à mélange (réchauffeur), l'eau est chauffée alors par le soutirage (S4) du corps moyenne pression (MP) de la turbine. L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression de soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine. Le niveau de l'eau et de vapeur reste constant pendant le fonctionnement du groupe. La bêche alimentaire appelée aussi "la bêche dégazant" parce qu'elle dégage les gaz étrangers incondensables vers l'atmosphère avec deux (02) tuyauteries d'évacuation.



Figure I.11 : la bache alimentaire

Les caractéristiques de la bache alimentaire (voir l'annexe 01) [1]

5.5.3 Les pompes

➤ Les pompes d'extraction :

Ce sont des pompes centrifuges, leur rôle est d'acheminer l'eau condensée (condensât) jusqu'à la bache alimentaire en traversant les trois (03) réchauffeurs basses pression (BP), les réfrigérants d'été, le condenseur de buées ainsi que les éjecteurs de service.

On trouve deux (02) pompes par groupe, l'une en marche et l'autre en réserve en cas de panne, avec une tension de 6,3 KV et une puissance de 300 KW.

Les caractéristiques des pompes d'extraction (voir l'annexe 01) [1]

➤ Les pompes d'alimentations

Elles ont pour rôle d'aspirer de l'eau de la bache alimentaire pour refouler dans le réservoir de la chaudière en traversant les réchauffeurs haute pression (HP) et l'économiseur du générateur de vapeur.

On distingue deux types de pompes :

- **Trois pompes nourricières**

Ce sont de type centrifuge à un étage, elles servent à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 5 bars jusqu'à 11 bars avec un débit de 261,6 t/h.

- **Trois pompes principales**

Ce sont de type centrifuge radial à 06 étages, elles sont placées en aval des pompes nourricières servant à augmenter la pression de l'eau de 11 bars jusqu'à 177 bars.

Pour chaque groupe, on trouve trois (03) pompes nourricières liées à trois (03) pompes principales, seulement deux d'entre elles sont suffisantes pour un fonctionnement normal.

Chaque groupe de pompes d'eau d'alimentation est commandé par un moteur commun d'une tension de 6,3 KV et une puissance de 3000 KW.

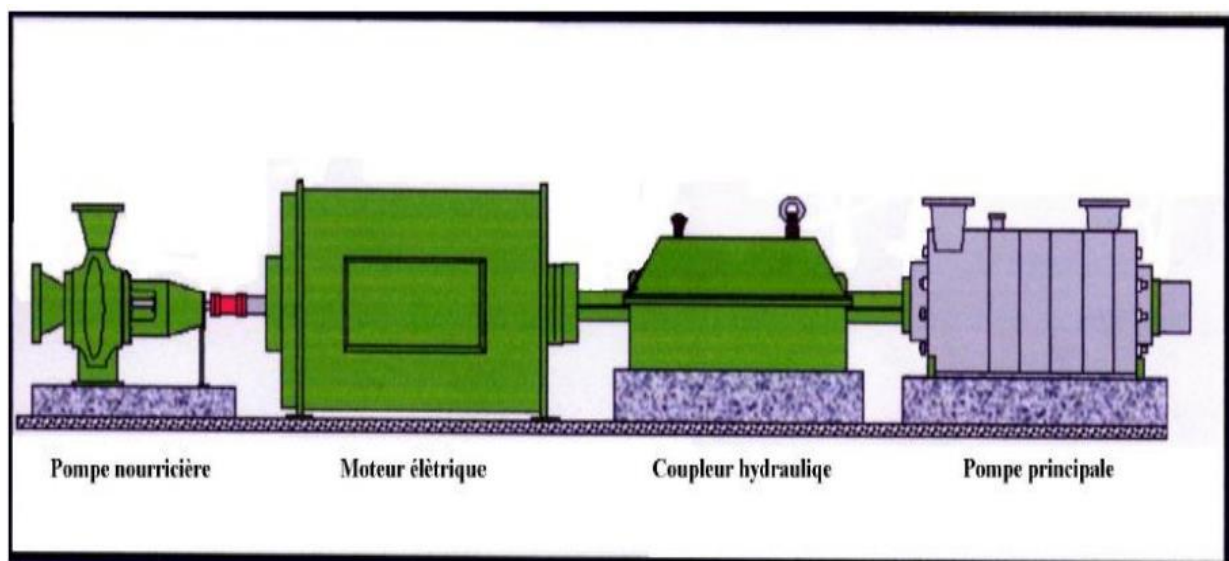


Figure I.12 : schéma représentatif de la pompe alimentaire[1]

- **Deux pompes de circulation** de 12 000 m³/h chacune, qui refoulent l'eau de mer jusqu'au condenseur.

5.5.4 Les réchauffeurs bas pression (BP) et haute Pression (HP)

- **Les réchauffeurs basses pression (BP)**

Le rôle de ces trois (03) réchauffeurs est de réchauffer le condensât lors de son transfert vers la bache alimentaire. Ils sont alimentés par les trois (03) sous tirages (S1), (S2) et (S3) qui viennent du corps (BP) de la turbine. Les réchauffeurs utilisés sont des échangeurs de chaleurs à échange par surface. Ils sont positionnés horizontalement en tube (en forme U), et

l'écoulement de condensât se fait en cascade, dans le coté tube circule le condensât principal et dans le coté enveloppe circule la vapeur, et la température dépasse les 100 °C.

- **Les réchauffeurs haute pression (HP)**

Ils sont de nombre de deux (02), leurs rôle est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par les deux soutirages (S5) et (S6) provenant respectivement du corps moyen pression (MP) et haute pression (HP) de la turbine.

Les réchauffeurs utilisés sont des échangeurs de chaleurs à échange par surface. Ils sont positionnés verticalement avec tubes courbés en forme de serpent, dans le coté enveloppe circule la vapeur, et dans le coté tube circule l'eau d'alimentation (condensât) avec une pression de 160 bars et une température de 145 °C.



Figure I.13 : réchauffeur HP

5.6 Les différents auxiliaires

- **Une station de production d'hydrogène**

Son rôle est de produire l'hydrogène nécessaire pour le refroidissement des quatre (04) alternateurs de la centrale.

- **Un poste de détente gaz**

Il est composé de deux (02) lignes de filtration gaz, ainsi que trois (03) lignes de régulation pour la détente gaz, de 60 à 6 bars.

- **Un poste de stockage du fuel**

Ce sont deux (02) réservoirs d'une capacité de 10000 m³ chacun. Utilisée en cas d'absence de gaz ou en cas d'incidents sur la conduite d'alimentation de gaz.

- **Une station de pompage de l'eau de mer**

Trois conduites de 03 mètres de diamètres sont installées à une profondeur de 06 mètres de la surface de la terre avec une longueur de 900 mètres dans la mer, ce qui permet à l'eau de passer automatiquement vers le bassin par la différence de potentiel (de niveau). La filtration d'eau de mer s'effectue en deux étapes :

- 1)- une première filtration s'effectue au niveau des grilles à grappins pour stopper et récupérer les gros déchets et organismes arrivant avec l'eau de mer.
- 2)- une deuxième filtration s'effectue au niveau des tambours filtrants pour la récupération des organismes de petite taille qui n'ont pas pu être stoppés par les grilles à grappins.



Figure I.14 : station de pompage

- **Une unité d'électro chloration**

Elle a pour rôle de protéger le circuit d'eau de mer (condenseur, conduites ...) contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins. Elle se fait par injection d'une quantité de 150 kg/h d'hypochlorite de Sodium. En condition de chloration continue, 104000 m³/h d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

- **Une unité de dessalement**

Quatre (04) unités de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de 336 m³/jour pour chacune sont utilisées. L'eau de mer est vaporisée pour lui enlever le sel puis condensée, en suite stockée dans deux bâches d'une capacité de 2700 m³ chacune.

- **Une unité de déminéralisation**

Deux chaînes de déminéralisation (Filtres à lit mélangés) de 40 m³/h chacune parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle et le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux (02) réservoirs de 1500 m³ Chacun.

- **Eau de réfrigération secondaire (déminéralisée)**

C'est l'eau déminéralisée stockée dans une bache de 5 m³ circulant en circuit fermé. Il sert au refroidissement de certains organes tel que (huile de graissage pompe alimentaire, huile de graissage turbine, huile de graissage compresseur d'air, huile de graissage réchauffeur rotatif...Etc. Rejet qui aboutit à la mer.

- **Système de surveillance d'alarme et d'analyse**

Pour paraître une bonne conduite de groupe de production des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau de l'eau, vibration ...), des différents équipements du groupe sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil. Pour une meilleure analyse en cas d'incident un consigneur d'état est installé, il permet d'enregistrer l'alarme dans un ordre chronologique.

- **Salle de commande centralisée**

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande. La salle de commande pour chaque paire de tranches comprend :

- ✓ Deux (2) pupitres de conduite
 - ✓ Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes des commandes et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres
- Un tableau synoptique schématise les auxiliaires électriques.



Figure I.15 : salle de commande

6 Principe de fonctionnement

Dans une centrale thermique à vapeur, la production de l'énergie électrique comporte trois phases.

1. La transformation de l'énergie chimique du combustible en énergie calorifique de la vapeur dans la chaudière.
2. La transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique par la turbine.
3. La transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique par l'alternateur.

Le condensât est extrait par la pompe d'extraction pour l'acheminer vers la bêche alimentaire en passant par le réfrigérateur d'été, les réfrigérants d'hydrogène de l'alternateur et par les réchauffeurs BP.

L'eau d'alimentation de bêche alimentaire sera refoulée par la pompe alimentaire vers la partie inférieure du ballon chaudière en passant par les réchauffeurs HP 5 et 6 pour le réchauffeur à une température de 250°C sous une pression de 164.3 bars avant d'être introduite dans l'économiseur de 300°C et une pression de 160 bars.

Ce mélange (eau, vapeur) sera vaporisé en descendant dans des colonnes d'alimentation qui traversant les huit brûleurs qui fonctionnent en présence d'oxygène fournis par le ventilateur de soufflage, la vapeur prend une température de 540°C et une pression de 160 bars.

La vapeur est canalisée dans les écrans vaporisateurs jusqu'à la partie supérieure du ballon chaudière et s'achemine vers le corps HP de la turbine en passant par les trois surchauffeurs. La vapeur RC se rend au corps BP de la turbine après le passage par des resurchauffeurs 1 et 2 où elle est portée à 540°C et 48 bars puis vers le corps MP. A la sortie de corps MP la vapeur à une pression de 30 bars. L'effet de la vapeur dans les trois corps de la turbine est de fournir l'énergie mécanique au l'alternateur qui produit l'énergie électrique.

- 168 MW sont évacués à travers un transformateur élévateur principal (TP) : (15.5 kV/225 KV).
- 8 MW servent à l'alimentation des auxiliaires du groupe .L'alimentation se fait à travers un transformateur abaisseur de soutirage (TS) : (15.5 kV/6.3 kV).
- Le disjoncteur machine BBC à commande d'air comprimé (P=30 bars), sert à protéger l'alternateur contre les défauts électriques.
- Disjoncteurs ligne 220 KV à gaz SF6 à commande hydraulique (P=315 bars), sert à protéger le groupe contre les défauts extérieurs.

Tous ses auxiliaires sont alimentés à travers le transformateur de soutirage.

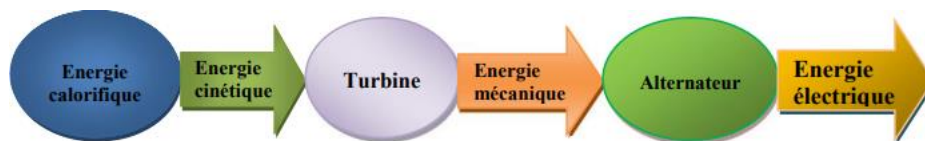


Figure I.16 : Chaîne énergétique d'une centrale électrique

7 Conclusion

Dans ce chapitre on fait une présentation générale sur la centrale thermique de Cap-Djinet et leur principe de fonctionnement et ont passé on détaille dans ses auxiliaires principaux. Dans le chapitre suivant nous allons représenter un élément très important dans le circuit d'eau d'alimentation (la pompe alimentaire).

CHAPITRE II

1 Introduction

Le pompage est une opération d'une très haute importance soit pour le transport d'eau soit pour le maintien de pression. Pour assurer cette opération, des pompes sont conçues et maintenues adéquatement pour le cheminement d'eau à la centrale. Donc les pompes est le cœur de l'industrie thermique.

2 Définition de la pompe alimentaire

C'est l'ensemble de tous les mécanismes (pompe, moteur...) qui sert à alimenter la chaudière (ballon chaudière) en eau à partir de bêche alimentaire.

3 Description [1]

Chaque unité de production est équipée de trois pompes alimentaires identique, au cours de fonctionnement normal deux pompes en service assure 50% du débit d'eau nécessaire pour chacune, et la troisième pompe est en présélectionnée.

La nomenclature de ces pompes est : 10 RL 12 /22/32 A/B/C/D[6]

10 : Est réservé pour la tranche 10.

RL : C'est la nomenclature de circuit eau d'alimentation

12 /22/32 : C'est l'ordonnancement de ces pompes sur le site.

A : pompe nourricière.

B : pompe principale.

C : moteur électrique.

D : coupleur hydraulique.

4 Composition de la pompe alimentaire

Les pompes alimentaires sont composées selon l'ordre de placement sur le site, d'une pompe nourricière, moteur asynchrone triphasé, un coupleur hydraulique et une pompe principale. L'ensemble a une longueur de 8513 mm, et un poids de 2 tonnes.

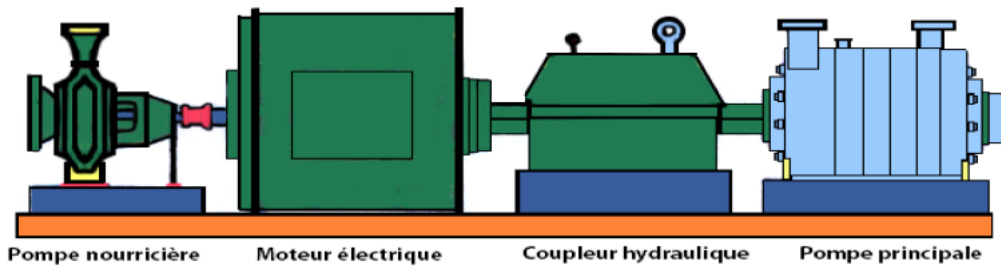


Figure II.1 : Constitution d'une pompe alimentaire

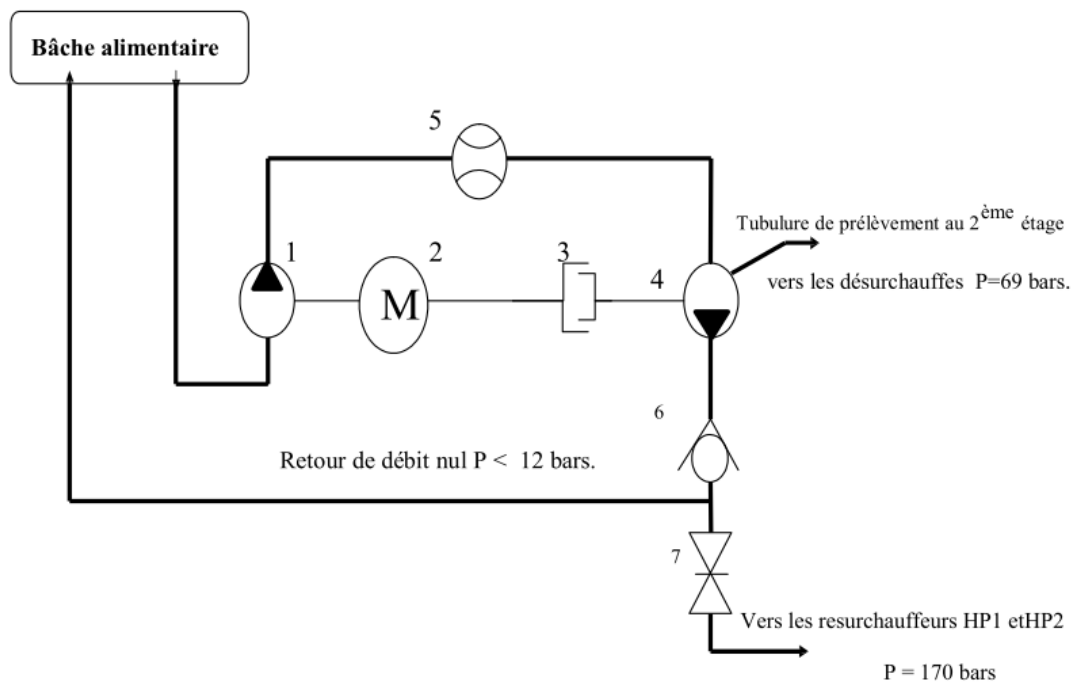


Figure II.2 : Schéma du système de pompage[2]

- 1-Pompe nourricière.
- 2-Moteur électrique.
- 3-Coupleur hydraulique.
- 4-pompe principale.
- 5-Débitmètre.
- 6-Clapet anti retour.
- 7-Vanne motorisée.

4.1 La pompe nourricière

La pompe nourricière est une pompe de rôle à augmenter la pression de l'eau d'alimentation, c'est une pompe centrifuge à un seul étage.



Figure II.3: photo la pompe nourricière

4.1.1 Principe de fonctionnement

La pompe nourricière fonctionne suivant le principe d'une mise en rotation du fluide pompé dans une roue tournante à grande vitesse (1492 tr/min).

A la sortie de la roue, le fluide est canalisé dans un diffuseur. Puis, il est ralenti dans une volute et la pression dynamique acquise au niveau de la roue (énergie de vitesse ou cinétique) est transformée en pression statique (énergie de pression).

L'énergie de fluide celle provenant de la force centrifuge. Le débit pompe est fonction de :

- Vitesse de rotation $N(t/min)$ de la roue (régime de la pompe).
- Diamètre de la roue (vitesse périphérique).
- Caractéristiques du fluide (la viscosité, la température, et la densité).
- Différence de pression entre aspiration et refoulement.

➤ Les caractéristiques techniques de la pompe nourricière (voir l'annexe 01) [1]

La pompe nourricière est montée en charge (bac d'aspiration situé au-dessus de la pompe).

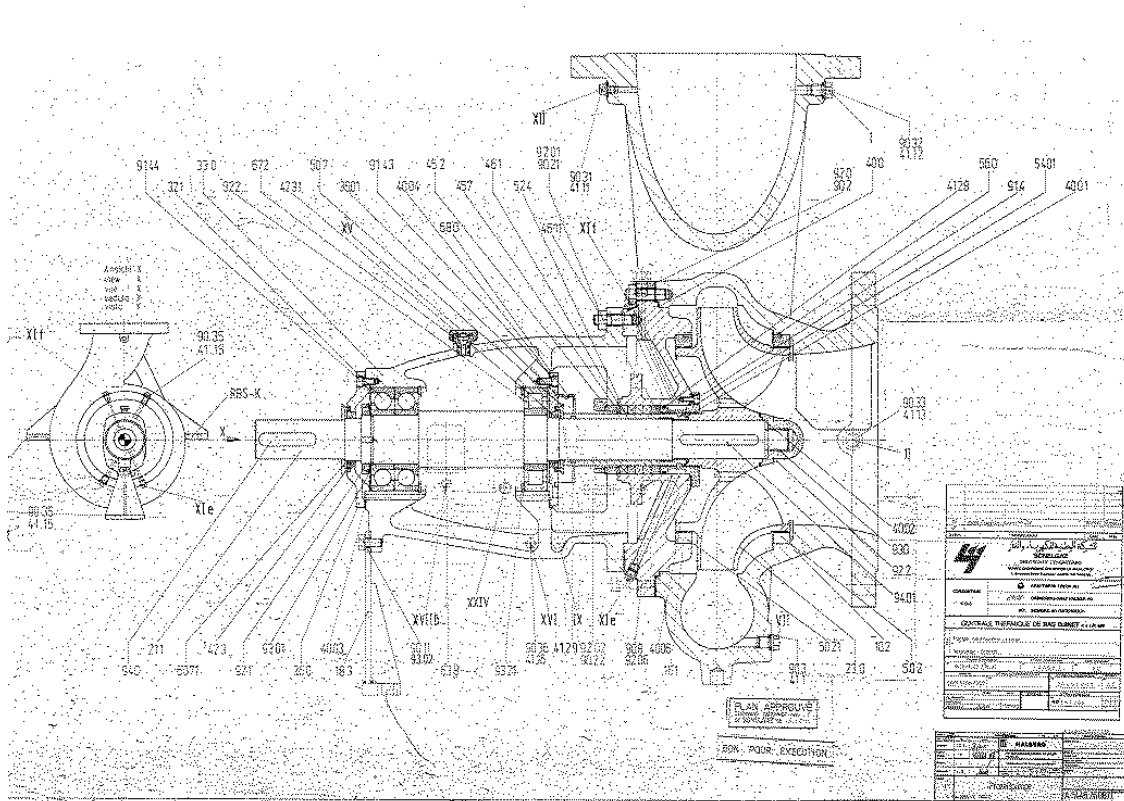


Figure II.4 : Pompe nourricière[1]

4.1.2 La nomenclature de la pompe nourricière [7]

Repère	Désignation
10.2	Corps à volute
16.1	Fond de corps
18.3	Béquille
21.1	Arbre de la pompe
23.0	Roue
32.1	Roulement à billes
32.2	Roulement à rouleaux
33.0	Corps-paliers
36.0 / 01	Couvercle de palier
41.28	Joint torique
42.3 / 31	Racleur d'huile
45.7	Bague de serrage
46.1 / 11	Garniture de presse-étoupe
50.7 / 71	Déflecteur
52.4	Chemise d'arbre
68.0	Douille de refroidissement

90.11	Tôle déflectrice
90.2 / 21 / 22	Vis a six pans
90.3 / 31 / 32 / 33 / 35 / 36	Goujon
90.8	Bouchon fileté
92.1	Vis a décollage
92.2	Ecrou a rainure
93.0 / 01 / 02	Ecrou de roue
93.0 / 01 / 02	Rondelle de blocage
93.21	Circlips
94.0 / 01	Clavette

Tableau II.1 : Nomenclature de la pompe nourricière

4.2 Moteur électrique

4.2.1 Définition

Le moteur électrique est une machine asynchrone triphasée composé d'une partie fixe (stator) et d'une partie mobile (rotor). Il a pour but de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

4.2.2 Principe de fonctionnement

On alimente un système de trois bobines décalées de 120° dans l'espace par un système de trois courants triphasés. Il se crée dans l'entrefer un champ magnétique tournant qui engendre un couple de force sur le rotor. Ce couple de forces agissant sur le rotor tend à rattraper le champ tournant. Le rotor tourne donc dans le même sens que le champ tournant.

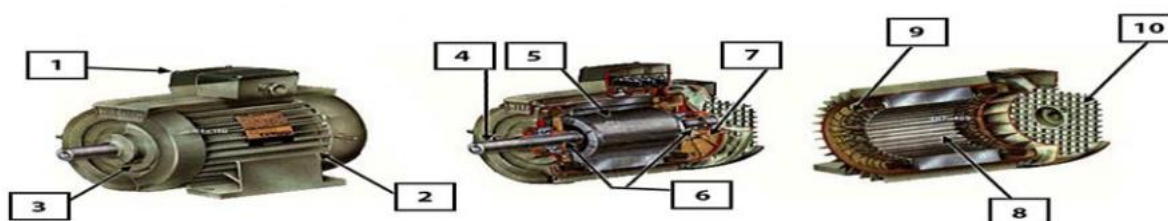


Figure II.5 : Moteur électrique[6]

4.2.3 La nomenclature du moteur électrique

éléments	Constitutifs
1	Plaque à bornes
2	Carcasse
3	Flasque avant coté accouplement

4	Arbre du moteur
5	Rotor
6	Roulements
7	Ventilateur
8	Stator
9	Bobinage
10	flasque arrière coté ventilateur

Tableau II.2 : Composition du moteur électrique[6]

➤ **Les caractéristiques techniques de notre moteur (voir l'annexe 01) [1]**

4.3 Coupleur hydraulique

4.3.1 Définition

C'est un organe utilisé pour la transmission du mouvement entre deux machines. c'est un transformateur d'énergie mécanique en énergie hydraulique.

4.3.2 Description

Les coupleurs réglables unissent la transmission mécanique (multiplicateur) et le coupleur réglable dans un seul carter. La vitesse de la machine menante est transmise à la vitesse primaire requise au coupleur hydraulique par la multiplication de l'engrenage.

Le carter en fonte grise est vissé à la fondation tandis que le réservoir d'huile déride au carter rentre dans le trou de la fondation.

La servocommande pour le déplacement hydraulique de l'écope est montée au carter de coupleur et les instruments de surveillance sont bien disposés sur un tableau d'instrumentation fixe au carter.

4.3.3 Principe de fonctionnement

Le couple de la machine menante est transmis par un accouplement à l'arbre d'entrée. Entre cet arbre et l'arbre primaire la transmission de couple est faite par des engrenages cylindriques à dentures hélicoïdales. Ce couple accélère le fluide qui se trouve dans la roue primaire (roue pompe) du coupleur.

La vitesse de fluide est ralentie par la roue secondaire (roue turbine), ainsi le couple est transmis à l'arbre secondaire (arbre de sortie). La condition de l'établissement du circuit d'huile de fonctionnement est une différence de pression entre la roue primaire et secondaire, il est alors nécessaire que la vitesse de la roue secondaire soit inférieure à celle de la roue

primaire. Pour la transmission de la puissance une déperdition (glissement de 2.7%) est donc nécessaire.

Donc on constate que :

- Si la quantité d'huile augmente, le glissement diminue par conséquent la vitesse de sortie augmente.
- Si la quantité d'huile diminue, le glissement augmente et la vitesse de la sortie diminue.

4.3.4 Composition du coupleur

- **Transmission mécanique**

Le couple de la machine menant est transmis par un accouplement à l'arbre d'entrée de ce dernier par des engrenages à l'arbre primaire. Le pignon de l'arbre primaire est enfoncé directement sur l'arbre correspondant moyennant un joint ajustement serré est logé au carter radialement et axialement par des butées.



Figure II.6 : butée



Figure II.7 : accouplement



Figure II.8 : Le pignon primaire



Figure II.9 : Le pignon secondaire

- **Rotor**

Le rotor comprend l'arbre primaire, la roue primaire, l'arbre secondaire.

- **Corps d'écope**

Le corps de l'écope a une fonction multiple.

Logement de l'écope et de la commande de l'écope ainsi que celui des paliers et butées, refoulement de l'huile enlevée au carter d'huile de fonctionnement.

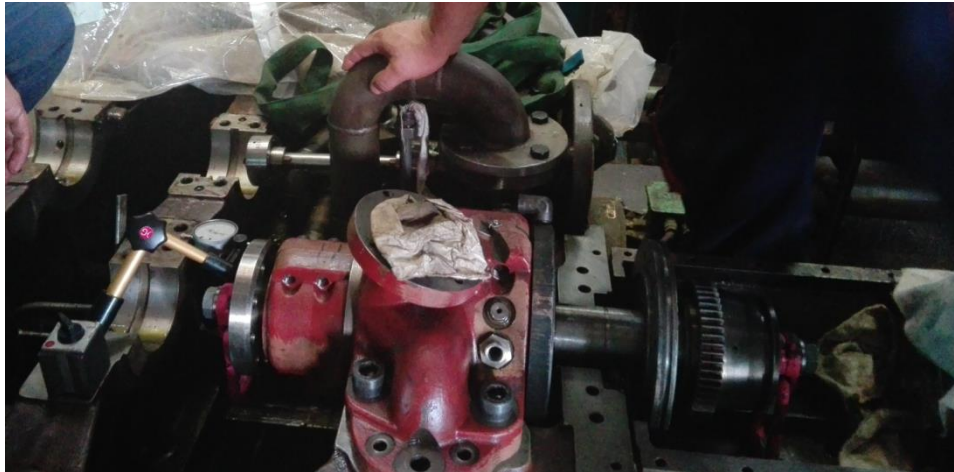


Figure II.10 : Corps d'écope

- **Logement**

Les arbres d'entrées, primaire et secondaire du coupleur sont logés dans les paliers lisses, pour faciliter le montage.

Les paliers sont exécutés en deux pièces et pourvus d'un coussinet pour les deux sens de rotation. Les jeux des paliers sont choisis de sorte qu'un film suffisant est assuré pour toute condition de régime admissible et qu'un remplacement sans finissage des paliers.

Les butées sont des paliers oscillant à segment, pour assurer une bonne force portante.



Figure II.11 : Logement de coupleur

- **Servo-commande**

Pour maintenir les charges sur la servo-commande à un niveau assez bas, le déplacement de l'écope se fait par commande séquentielle hydraulique.



Figure II.12 : servo-commande

- **Pompe principale**

La pompe principale c'est une pompe à engrenage alimentant les circuits de fonctionnement et de graissage est entraînée à partir de l'arbre d'entrée par un accouplement. La pompe aspire l'huile par la conduite d'aspiration, et ensuite elle la refoule au circuit d'huile.

- **Pompe de graissage auxiliaire**

La pompe à engrenage logée dans des paliers lisses est entraînée par un moteur électrique moyennant un accouplement élastique. La pompe de graissage auxiliaire à commande électrique assure l'alimentation en huile de graissage pendant le démarrage et en cas de panne.

- **Filtre d'huile**

Le filtre d'huile est un filtre double à commutation. Lorsque le levier de reversement est bien mis, ce n'est qu'un demi-filtre qui est en service pour le filtrage de l'huile.



Figure II.13 : filtre d'huile

- **Réfrigérant d'huile**

Le réfrigérant d'huile est constitué par un faisceau de tube en cupronickel ou autre alliage selon la nature de l'eau de réfrigérant. L'installation comprend deux réfrigérant (un réfrigèrent d'huile de service et un réfrigèrent d'huile de graissage)

- **Soupape de mise en circuit**

C'est la soupape de mise en circuit qui assure l'alimentation du circuit d'huile de graissage en huile sous pression requise pour la lubrification des paliers et des engrenages.

- **Limiteur de pression**

Après avoir démonté le bouchon fileté, le limiteur de pression peut être ajustée de dehors en tournant la vis d'ajustage. La pression d'huile de fonctionnement est ajustée moyennant le limiteur de pression à environ 1.7 bar.

- **Soupape de réglage de température**

La soupape de réglage de température est ajustée à un certain débit minimum. Pour les températures d'huile de fonctionnement en montée, la soupape s'ouvre, le débit d'huile de fonctionnement augmente et le dégagement de la chaleur de déperdition qui se produit dans le coupleur se fait plus vite, il en résulte une stabilisation de la température d'huile de fonctionnement.

➤ **Les caractéristiques techniques du coupleur hydraulique[1]**

4.3.5 Réglage de la vitesse de sortie

- Pour augmenter la vitesse de sortie :

L'écope s'éloigne du niveau d'huile existant dans le coupleur, la quantité d'huile enlevée diminue, le débit de pompe de remplissage utilisé pour remplir la chambre de travail (chambre d'accouplement), donc la transmission sera maximum.

- Pour diminuer la vitesse de sortie :

L'écope s'immerge dans l'huile, la quantité d'huile enlevée augmente, donc la vitesse de sortie diminue.

L'huile enlevée et le surplus d'huile sont refoulés vers le carter d'huile.

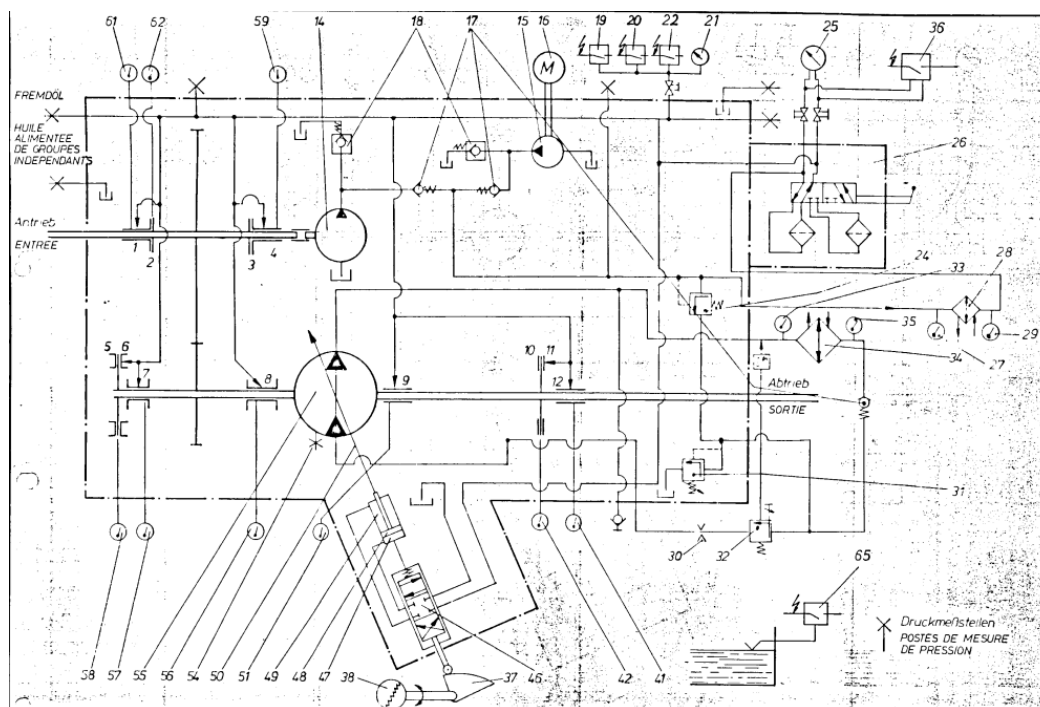


Figure II.14 : coupleur hydraulique[1]

4.3.6 La nomenclature du coupleur hydraulique[6] [7]

Repère	Désignation
01 / 04 / 07 / 08 / 09 / 12	Palier
02 / 03 / 05 / 06 / 10 / 11	Butée
14	Pompe à commande mécanique
15	Pompe auxiliaire
16	Moteur électrique
17	Soupape de retenue

18	Soupape de purge
24	Soupape de mise en circuit
26	Filtre double à commutation
28	Réfrigérant d'huile de graissage
30	Diaphragme
31	Limiteur de pression
32	Soupape de réglage de température
34	Réfrigérant d'huile de fonctionnement
36	Manostat de pression différentielle
37	Came
38	Servo-commande
41 / 42 / 51	Thermomètre
46	Soupape de contrôle
47 / 49	Chambre sous pression
48	Piston de l'écope
50	Ecope
54	Bouchon fusible
55	Coupleur réglable
56 / 57 / 58 / 59 / 61 / 62	Thermomètres

Tableau II.3 : La nomenclature du coupleur hydraulique.

4.4 Pompe principale

C'est une pompe centrifuge multicellulaire à six (6) étages avec aspiration radiale et refoulement radial. Après le 2ème étage une tubulure de prélèvement est prévue sur la pompe pour injection de désurchauffe des resurchauffeurs comme 2ème secoure après les ventilateurs de recyclage pour maintenir la température de vapeur à 540°C.

4.4.1 Description

C'est une pompe centrifuge multicellulaire à six étages au quels associe un diffuseur avec aspiration radiale et refoulement radiale. L'entraînement de la pompe se fait par un moteur électrique de puissance 3000kw et vitesse de rotation de 1492 tr/mn.

La pompe alimente la chaudière par l'eau chaude dessalé et déminéralisée qui est aspirer verticalement par rapport à l'axe de son arbre avec une pression de 11 bars, une fois arrivée au diffuseur sa pression va augmenter.

De cette manière l'eau continue son écoulement à travers les autres étages jusqu'à au sixième étages, sa pression atteint 160bars qui quitte la pompe à travers le corps de refoulement. L'étanchéité entre les étages est assurée par des joints toriques disposés entre les étages.

4.4.2 Éléments constructifs

- **Corps d'aspiration et de refoulement**

Ils sont fabriqués par le procédé de moulage. Les corps d'aspiration et de refoulement doivent résister aux efforts de pression du fluide pompé et ceux dus à l'assemblage, aux vibrations des corps et à la dilatation des éléments de la pompe.

Le corps d'aspiration est destiné à guider le liquide à l'entrée de la pompe, et le corps refoulement est destiné à récupérer l'eau qui quittera le dernier étage de la pompe et de la dirigé vers les conduites de refoulement servent comme des brides de fixation des conduites d'aspiration et de refoulement.

- **Arbre**

Il est en acier fortement allié au chrome pour assurer une bonne résistance et résisté à la torsion et flexion et une bonne tenue aux vibrations et aussi dans le but de prolonger sa durée de service dans le but protéger l'arbre contre l'usure.

- **Paliers lisses**

Ils sont au nombre de deux et chaque palier lisse de la pompe est fabriqué sous forme de deux coussinets. Les paliers lisses de droite et de gauche servent à supporter et guider le rotor dans sa rotation.

Pour contrôler le bon fonctionnement de paliers lisses à l'entrée et à la sortie sur chaque palier lisse est installé un capteur de température.

- **Diffuseur [3]**

Pour éviter les pertes de charge importante, on limite la vitesse de circulation à une vitesse voisine de 2m/s comme la vitesse de sortie à l'impulseur est de 50m/s, on prévoit un diffuseur pour réduire progressivement cette vitesse.

Le rôle du diffuseur est donc d'augmenter la vitesse statique en faisant chuter la vitesse du liquide. Dans le cas d'une pompe multicellulaire, la pression double d'un étage à l'autre.

4.4.3 Accessoire de la pompe principale[1]

Divers tuyauteries sont équipées sur la pompe notamment :

- Tuyauterie de retour des fuites du dispositif d'équilibrage :

Elle va de boîte de garniture cotée refoulement au corps d'aspiration de la pompe. Elle ne comporte ni diaphragme ni robinet, mais seulement un orifice de vidange et un manomètre.

- Tuyauterie d'eau de refroidissement secondaire(VG) :

Sont montées en usine dans les limites d'encombrement du la plaque support de pompe.

Les éléments à refroidir :

- ✓ Huile de graissage des paliers lisse : lubrifiée par bague de graissage ou sous pression (l'entrée d'huile 40°C, la sortie d'huile 45°C).
- ✓ Les boîtes à garniture mécanique : coté aspiration et coté refoulement réglé le débit (eau de refroidissement) pour obtenir une température de sortie d'eau de 40-50°C.
- ✓ Fouloir de presse-étoupe.

- Tuyauterie débit nul :

Un dispositif de débit nul évite la pompe à tout échauffement dangereux au faible débit, à cet effet, une soupape de décharge vers la bêche alimentaire est équipée au refoulement de la pompe.

Cette soupape s'œuvre quand l'écart de température entrée et sortie de la pompe atteint une certaine valeur (25°C par exemple) et se ferme quand cet écart redescend à une valeur nettement inférieure à 5°C. Si l'on ferme complètement la soupape de réglage située au refoulement, on annule le débit de refoulement de la pompe, la pression s'élève dans le corps de la pompe et atteint sa valeur maximale.

L'eau contenue dans la pompe n'étant pas renouvelée, il est brassé par les roues ce qui apporte une dépense d'énergie transformée en chaleur.

Cette chaleur est donc transmise à l'eau et à la pompe, il en résulte :

- ✓ Une augmentation de la température de l'eau qui peut atteindre sa température d'ébullition correspondant a sa pression. (formation des bulles de vapeur amenant la cavitation, donc la détérioration plus au moins rapide de la pompe).
- ✓ Augmentation de la température des pièces internes de la pompe (dilatation anormale).

➤ Les caractéristiques techniques de la pompe principale (voir l'annexe 01)[1]

A cause de la grande hauteur manométrique de refoulement, la poussée axiale est très élevée, pour équilibrer cette poussée on utilise soit :

- Un disque d'équilibrage.

- Un tambour d'équilibrage.
- Une butée à patins. (patin à roulettes).

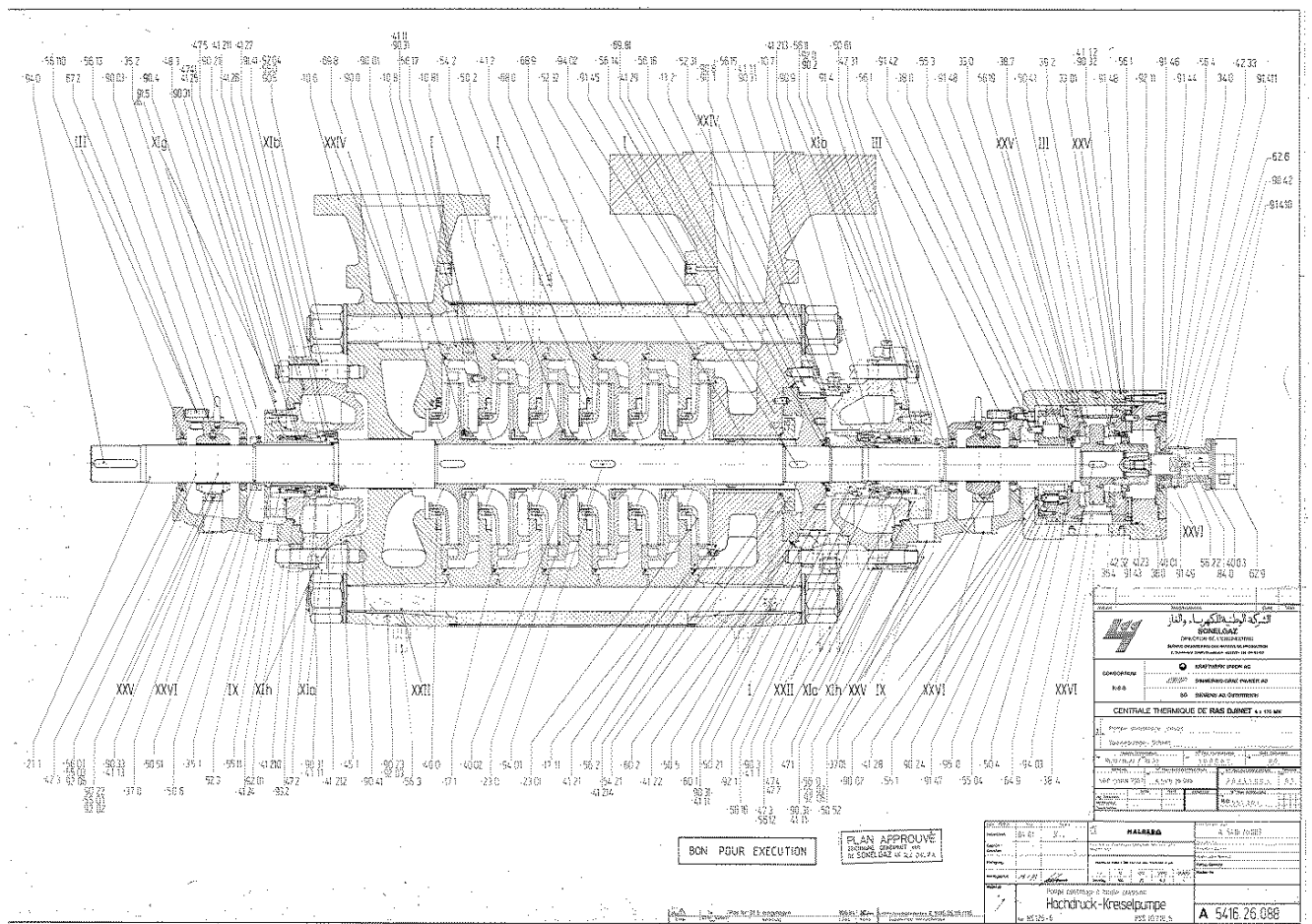


Figure II.15 : pompe principale[1]

4.4.4 La nomenclature de la pompe principale[6] [7]

Repère	Désignation
10.6	Corps d'aspiration
10.7	Corps de refoulement
10.8 / 81	Cops d'étage
17.1 / 11	Diffuseur
21.1	Arbre de pompe
23.0 / 01	Roue
35.1	Corps de palier partie inférieur
35.2	Corps de palier partie supérieur
35.4	Carter de butée
38.0	Composant de butée
45.1	Corps de boîte à garniture
47.1	Couvercle de garniture

47.7	Ressort
50.2 / 21	Bague d'usure sur le corps
52.3 / 31 / 32	Chemise d'arbre
56.3	Rondelle d'entretoise
60.1	Disque d'équilibrage
60.2	Contre disque d'équilibrage
62.9	Transmetteur de vitesse
84.0	Accouplement
90.4 / 41 / 42	Vis sans tête partiellement filetée
90.8	Vis de décollage
91.4 / 41 / 42 / 43 / 44 / 45 / 46 / 47 / 48	Vis à tête à six pans creux
92.0 / 01 / 02 / 03 / 04 / 05 / 06	Ecrou
92.1 / 11	Ecrou d'arbre

Tableau II.4 : La nomenclature de la pompe principale.

5 Circuit d'huile de lubrification et de refroidissement du groupe motopompe alimentaire

5.1 Pompe nourricière

a) Refroidissement de la boîte à garniture

Il est indispensable de refroidir la boîte à garniture pour éviter la marche à sec des tresses due à l'évaporation du liquide. Le robinet de réglage du débit d'eau à prévoir sur la tuyauterie de sortie, devra être réglé pour que l'échauffement de l'eau de refroidissement ne dépasse pas 15°C.

b) Lubrification des paliers

Remplir le corps du palier par le trou de remplissage jusqu'à ce que l'huile arrive au trait repère du voyant. Lorsque un contrôle automatique du niveau d'huile a été livré avec la pompe, visser ce dernier dans le trou correspondant et le remplir comme suite :

Abattre dans le réservoir et le remplir d'huile et basculer rapidement dans la position normale pour que l'huile s'écoule dans le corps de palier, répéter cette opération jusqu'à ce que l'huile ne s'écoule plus du réservoir, à ce moment le niveau d'huile désiré est atteint dans le corps de paliers.

5.2 Moteur électrique

a) Lubrification des paliers

Les paliers à glissement à graissage forcé doivent être raccordés à une installation d'alimentation en huile. Il importe de veiller à ce que les paliers ne soient alimentés que d'huile à dynamo pure dans la gamme de température de 10°C à 40°C au maximum. Le débit requis d'huile réfrigérante, la qualité d'huile ainsi que la pression d'huile nécessaire avant le palier est indiqué sur la plaque de lubrification. L'huile réfrigérante est amenée directement à la coquille de coussinet.

b) Refroidissement

- **Aération extérieur:**

Le circuit de refroidissement extérieur des moteurs à refroidissement tubulaire est ventilé d'après le principe de la ventilation forcée par des ventilateurs radiaux.

- **Ventilation intérieur:**

Les ventilateurs intérieurs conduisent l'air réchauffé vers les tubes de refroidissement ou s'effectue l'échange de chaleur. Des conduites aériennes spéciales assurent un refroidissement efficace de tous les organes actifs du moteur. L'aération intérieure est assurée par des ventilateurs axiaux, équipés de pale d'une forme spéciale pour réduire les pertes par ventilateur qui fonction du sens de rotation.

5.3 Coupleur hydraulique

a) Circuit d'huile de fonctionnement

Le circuit d'huile de fonctionnement entre le coupleur réglable et le réfrigérant forme un système fermé. L'huile de fonctionnement est refoulée par la pression dynamique à l'écope à partir du rotor à l'échangeur thermique et retournée au coupleur. Le circuit d'huile de fonctionnement est alimenté en huile excédentaire venue du circuit d'huile de graissage par l'intermédiaire de la soupape de mise en circuit.

Le limiteur de pression maintient la pression d'huile de fonctionnement avant la soupape de réglage de température au niveau de l'ordre de 1.7 bar.

b) Circuit d'huile de graissage

L'huile est refoulée par la pompe principale (pompe à engrenage) à travers l'échangeur thermique et le filtre aux différents points de lubrification.

Une pompe de graissage auxiliaire à commande électrique (pompe à engrenage) est montée pour assurer l'alimentation en huile de graissage pendant le démarrage. La pompe de graissage auxiliaire s'arrête dès que le refoulement est assuré par la pompe mécanique (principale).

La pompe de graissage auxiliaire est mise en circuit lorsque :

- ✓ A la suite d'une panne.
- ✓ La pression de graissage tombe à environ 1 bar.

5.4 Pompe principale

a) Lubrification des paliers

Les coussinets de ces paliers, en deux demi-coquilles, peuvent être enlevés facilement après démontage du chapeau de palier. En outre, les paliers à bague de graissage possèdent des couvercles démontables sur les chambres des circulations d'eau de refroidissement. Les paliers lubrifiés sous pression d'huile sont alimentés par une installation spéciale.

6 Mise en service du groupe motopompe alimentaire

Avant qu'elle soit mise en marche il doit satisfaire aux conditions et avec l'ordonnancement suivantes :

- ✓ Vérifier le niveau d'huile.
- ✓ Mettre la pompe auxiliaire de pré graissage en service.
- ✓ Ouvrir la conduite d'arrivée d'eau de refroidissement du réfrigérant d'huile.
- ✓ Ouvrir la tuyauterie de débit nul 10RL12 D001 à 100%.
- ✓ Ouvrir la vanne d'aspiration 10RL11 S001 à 100%.
- ✓ Mettre le moteur d'entraînement en marche.
- ✓ Mettre le coupleur à zéro(0), libération de la pompe principale.
- ✓ La vanne de refoulement soit fermée 10RL22 S001.
- ✓ La soupape alimentaire soit fermée 10RL50 S003.
- ✓ Mettre les réchauffeurs HP5, HP6 sur by-pass.
- ✓ Mettre le moteur d'entraînement en marche.

7 Démarrage par protection du groupe motopompe alimentaire

Pour que le groupe motopompe qui est à l'arrêt réponde au signal de démarrage par protection il faut que les conditions citées dans l'organigramme doivent elle satisfaites.

-Voici l'organigramme de démarrage du groupe motopompe par protection :

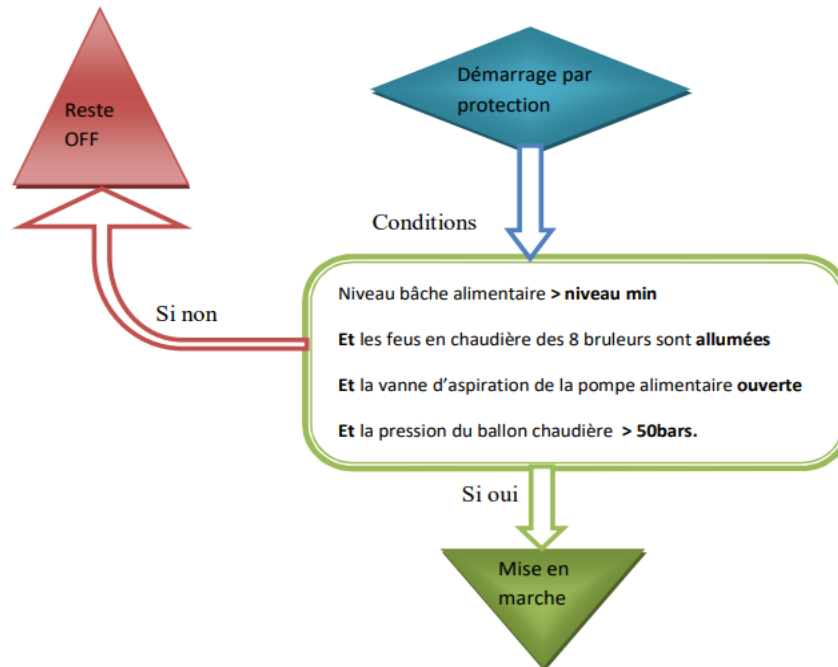


Figure II.16 : Organigramme du démarrage du groupe motopompe par protection [8]

8 Mise à l'arrêt du groupe motopompe alimentaire

Pendant la période dont la pompe fonctionne avec la vanne de refoulement 10RL13 S001 partiellement ou totalement fermée :

- ✓ Ouvrir la tuyauterie de débit nul 10RL12 D001 (refoulement vers la bache alimentaire).
- ✓ 10 RL12 S001 mettre en position à 0%.
- ✓ Fermée la vanne de refoulement 10RL13 S001.
- ✓ Arrêter le moteur d'entraînement.

Après quelques minutes :

- ✓ Arrêter la pompe auxiliaire de pré graissage.
- ✓ Fermer le circuit d'eau de refroidissement secondaire (VG).

9 Arrêt par protection du groupe motopompe alimentaire

Dans ce cas, si l'une des conditions citées dans l'organigramme est satisfaite, le groupe motopompe répond au signal de l'arrêt par protection, donc la mise hors service du groupe motopompe alimentaire.

-Voici l'organigramme de l'arrêt du groupe motopompe par protection :

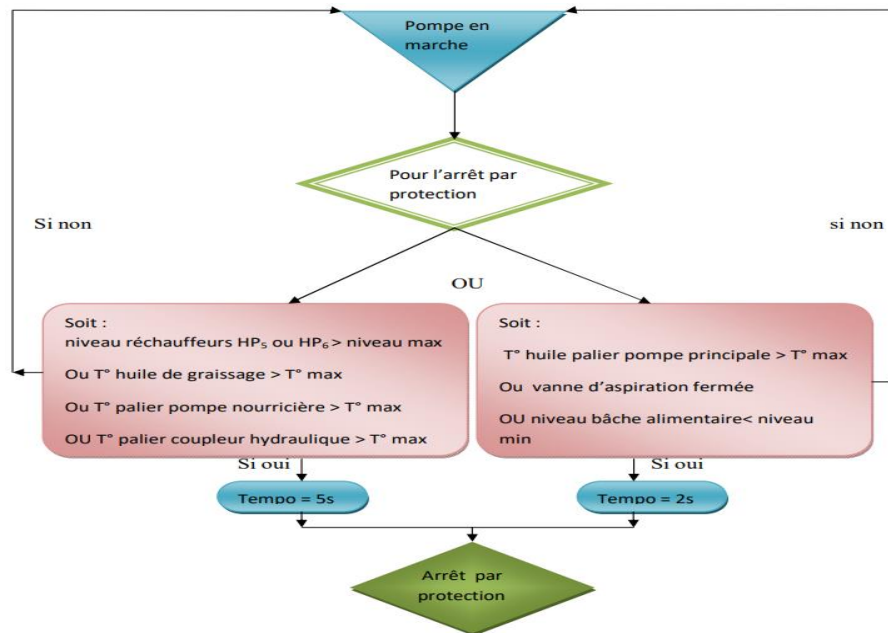


Figure II.17 : Organigramme de l'arrêt du groupe motopompe par protection [8]

10 Le principe de fonctionnement de la pompe alimentaire

Les pompes alimentaires aspirent l'eau de la bache alimentaire pour le refouler dans le réservoir de la chaudière en traversant les réchauffeurs HP et l'économiseur du générateur de vapeur. Les pompes alimentaires doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir de la chaudière (ballon chaudière) entre deux limites bien définies avec une pression de 160 bars.

11 Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une présentation de la pompe alimentaire ou on a donné une description générale sur les différents composants ainsi que leurs principes de fonctionnement dans le groupe alimentaire.

D'après l'étude descriptive qu'on a faite sur la pompe alimentaire, on a constaté que cette dernière est un organe vital pour une tranche de production de l'électricité dans la centrale thermique de CAP-DJINET.

A partir de ca pour avoir une meilleur assurance de la production de l'énergie électrique d'une manière régulière et continu on doit assurer une grande disponibilité et une meilleure fiabilité de la pompe alimentaire.

CHAPITRE III

1 Introduction

La fiabilité s'intéresse à tout ce qu'il faut faire pour qu'un produit fonctionne sans défaillance, ou avec une fréquence de défaillance suffisamment faible pour être acceptable dans l'usage prévu. Sa conservation concerne la maintenabilité qui s'occupe de ce qu'il faut faire pour qu'un produit soit ramené dans des conditions aussi proches que possible de celles prévues au début de son fonctionnement.

2 Etude de la fiabilité

2.1 Définition

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions d'utilisation données, pendant une période de temps donné. [9]

2.2 Objectif de fiabilité

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit, améliorer ses performances tout au long de la mission, déterminer la stratégie d'entretien et calculer le risque pris.

2.3 Caractéristiques de la fiabilité

Nous avons la modélisation suivante :

Un dispositif, mis en marche pour la première fois, tombera en panne inévitablement à un instant T_f , non connu à priori.

T_f est une variable aléatoire continue qui représente la durée de vie (le temps de bon fonctionnement) du dispositif. Pour T_f on associe une fonction de répartition $F(t)$ et une fonction de distribution $f(t)$.

2.4 Taux de défaillance

L'indicateur principal de la fiabilité est le taux de défaillance $\lambda(t)$ qui est le nombre de défaillance par élément et par unité de temps.

L'évolution du temps de défaillance d'un produit pendant toute sa durée de vie est caractérisée par ce qu'on appelle en analyse de fiabilité la courbe en baignoire.[10]

2.5 La courbe en baignoire [11]

L'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ se présente sous la forme d'une courbe dite en Baignoire.

2.5.1 Représentation graphique

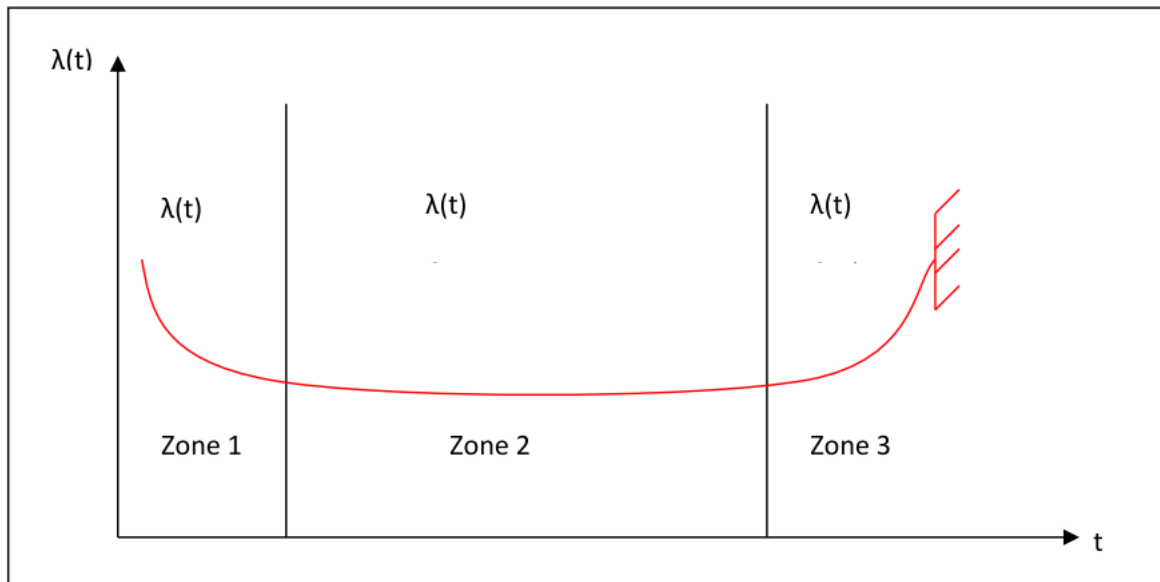


Figure III.1 : Courbe en baignoire

2.5.2 Interprétation

Nous distinguons trois périodes de vie :

- **Zone 1 (Jeunesse)** : (défaillance précoce).

Période de jeunesse, pannes précoces où apparaissent les défauts de fabrication ou de conception. Elles doivent disparaître rapidement. Le taux d'avarie décroît en fonction du temps.

- **Zone 2 (Maturité)** : (période de vie utile, défaillances aléatoires).

C'est la zone de maturité ou de pleine activité du produit pour laquelle le taux de défaillance λ est sensiblement constant. C'est également le domaine des défaillances imprévisibles se produisant de façon aléatoire.

- **Zone 3 (Vieillesse)**

C'est la période de fin de vie du produit caractérisé par des défaillances dues à l'âge ou à l'usure des composants. λ croît rapidement avec le temps, du fait de la dégradation du matérielle (usure mécanique, phénomène de fatigue et dérive des composant électrique ...

A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit.

3 Classement des données

Les données d'études de fiabilité seront calculées sur la base de données statistique fournie par l'exploitation, à partir d'un ensemble de valeurs recueillies par l'observation.

Ces données proviennent des historiques de défaillances. Sur un historique le TBF est l'intervalle du temps écoulé entre des pannes repérées par leurs dates. Dans tous les cas, nous calculerons les TBF et les classerons par ordre croissant.

3.1 Temps moyen de bon fonctionnement

C'est la moyenne des temps de bon fonctionnement, notée MTBF, entre deux défaillances successives correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T_f .

$$MTBF = E(T_f) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

3.2 Approximation de la fréquence cumulée $F(i)$

- Si $N > 50$: on regroupe les TBF par classe. Dans ce cas la fréquence cumulée de défaillance est calculé comme suit :

$$F(i) = \frac{i}{N}$$

- Si $20 < N < 50$: on donne un rang i à chaque défaillance. On utilise la formule de l'approximation des rangs moyens, donc :

$$F(i) = \frac{i}{N + 1}$$

- Si $N < 20$: on utilise la formule de l'approximation des rangs médians :

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

4 Le modèle de Weibull

4.1 Domaine d'utilisation

Le modèle de Weibull est très souple, car la loi à trois paramètres qui permettent d'ajuster correctement toutes sortes de résultats expérimentaux ou opérationnels, contrairement au modèle exponentiel, la loi de Weibull couvre les cas où le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster aux périodes de jeunesse et aux différentes formes vieillissement.

La détermination des paramètres de Weibull permettra de connaître l'état du matériel, et d'évaluer la MTBF et l'écart type. Les résultats permettant d'estimer la fonction de répartition $F(t)$ correspondante à chaque instant t .

4.2 Expressions mathématiques

Soit la variable aléatoire continue t distribuée suivant une loi de WEIBULL.

- γ : paramètre de position (d'origine des temps)

Lorsqu'on n'a utilisé que des composants neufs, $\gamma = 0$.

- β : paramètre de forme

Il définit le type de phénomène de dégradation en cause.

- η : paramètre d'échelle

- La fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- La fonction de défaillance

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Donc :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- Densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- MTBF :

$$\text{MTBF} = A\eta + \gamma$$

- L'expression de taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Le taux de défaillance est une fonction dépendante de temps, avec une allure liée au paramètre de forme.

- Si $\beta = 1$: $\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{1-1} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta}$

le taux de défaillance constant.

- Si $\beta < 1$: le taux de défaillance décroît avec le temps.
- Si $\beta > 1$: le taux de défaillance est croissant en fonction de temps

4.3 Détermination graphique des paramètres de Weibull

L'historique de fonctionnement des équipements permet de déterminer le temps de bon fonctionnement (TBF), ou les durées de vie des composants, par conséquent les fonctions des fréquences cumulées de défaillance qu'on note F (i).

Pour déterminer ces paramètres on va utiliser le diagramme d'ALLEN PLAIT.

4.4 Diagramme d'ALLEN PLAIT

Ce graphique à échelle fonctionnelle gradué de la façon suivante :

Il comporte quatre axes :

- Sur l'axe (A) : axe des temps sur lequel on porte les valeurs t_i des TBF
- Sur l'axe (B) : valeurs des probabilités de défaillance F_i calculées par la méthode des rangs moyens ou des rangs médians. On estime $R(t)$ par $R(t) = 1 - F(t)$.
- Sur l'axe (a) : axe des temps en logarithmes népériens : $\ln(t)$
- Sur l'axe (b) : axe qui permet l'évaluation de β

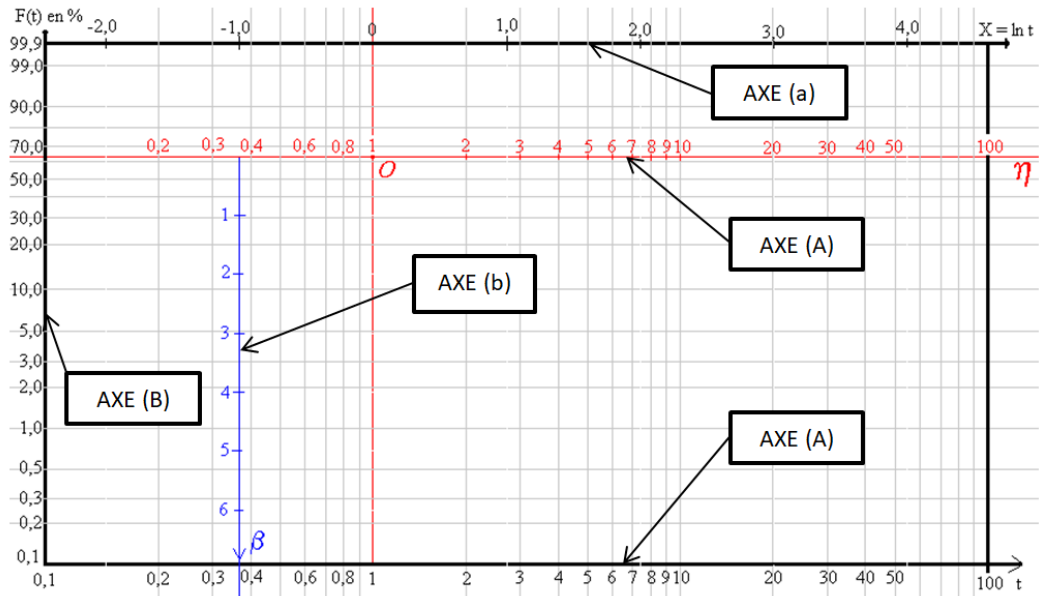


Figure III.2 : Diagramme d'ALLEN PLAIT [12]

4.4.1 Procédure de réalisation

- 1-Préparation des données.
- 2-Tracé des nuages des points (F (i), t).
- 3-Tracé de la courbe de régression du nuage (D1) (on espère avoir une droite).
- 4-Translation de la droite (D1) à la droite de passage par l'axe de plan (X, Y).

Recherche de γ :

Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

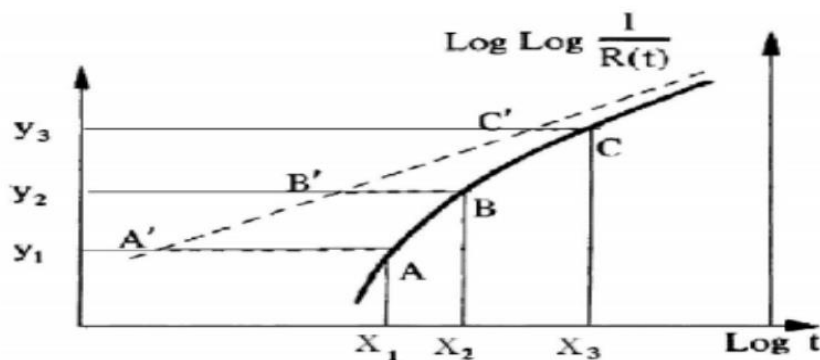


Figure III.3 : Redressement de la courbe par translation. [13]

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$\gamma = \frac{X_1 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2}$$

Considérons les points : A(X1, Y1) ; B(X2, Y2) ; C(X3, Y3)

$$\text{Et : } \begin{cases} Y3 > Y2 > Y1 \\ 2Y2 = Y1 + Y3 \end{cases}$$

En arrangeant on obtient

$$\gamma = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

Recherche de η :

Il se lit à l'intersection de la droite (D1) avec l'axe (A).

Recherche de β :

Il représente la pente de la droite (D1) de régression des nuages des points (F (i), t). Pour l'obtenir, on fait passer une droite (D2) parallèle à la droite (D1) et coupe l'axe A au point 1 et on lit la valeur de β sur l'axe (b).

5 La fiabilité et la disponibilité de système en série

5.1 Fiabilité de système [14]

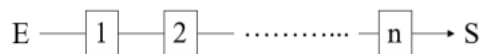


Figure III.4 : Diagramme de fiabilité pour un système série

Les composantes sont montées en série lorsque le système fonctionne si et seulement si toutes les composantes fonctionnent.

La fonction de fiabilité du système est définie par :

$$\begin{aligned} R(t) &= p(T_1 > t \text{ et } T_2 > t \text{ et } \dots \text{ et } T_n > t) \\ &= p(T_1 > t) \times p(T_2 > t) \times \dots \times p(T_n > t) \end{aligned}$$

Car T_1, T_2, \dots, T_n sont indépendantes.

Donc :

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^{n=4} R_i(t)$$

5.2 Disponibilité de système [15]

Dans le système en série, l'arrêt d'une unité implique l'arrêt de l'ensemble. Dans ce cas la disponibilité opérationnelle de la ligne sera :

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n=4} [DU_i] - n + 1}$$

6 La maintenabilité

6.1 Définition

La maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli, pendant un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque l'exploitation et la maintenance sont accomplies dans des conditions données, avec des moyens prescrits. [16]

6.2 Les temps techniques de réparation (TTR)

Avant de quantifier la maintenabilité, il convient de parler des temps d'intervention dits temps techniques de réparation.

Le temps technique de réparation d'une intervention se compose en général de la somme des temps des pannes, La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation (MTTR).

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N}$$

N : Nombre des pannes.

7 La disponibilité

7.1 Définition

La disponibilité est l'aptitude d'un dispositif à être en état d'accomplir une fonction requise, à un instant donné, dans des conditions données et pendant un intervalle de temps donné, compte tenu du système de soutien mis en place. [16]

7.2 Expression de la disponibilité

La disponibilité, notée $D(t)$ est fonction du temps paramétré par λ et μ supposés constants, donc (phénomènes totalement aléatoires) indépendants du temps.

Avec une telle hypothèse, on montre facilement que :

Le taux de défaillance :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Le taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda}, \text{ ou } D = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

8 Calcule de fiabilité, disponibilité, maintenabilité de la pompe alimentaire 40 RL 22

Dans les tableaux suivants, nous avons les temps de bon fonctionnement (TBF) et les durées des pannes (TTR) classées par ordre croissant extraire des fiches historiques des équipements de la pompe alimentaire.

8.1 La pompe nourricière

Le tableau suivant représente une classification des TBF en ordre croissant de la pompe nourricière durant la période (2010-2015) :

Nous avons $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance

$$F(i) = (i - 0,3) / (N + 0,4)$$

$$R(i) = 1 - F(i)$$

Rang	TBF(h)	TTR(h)	F(t) (%)	R(t) (%)	$\lambda(t) 10^{-4}$ (déf/h)
1	865,5	62	10,93	89,07	1,48
2	1628	29	26,56	73,44	1,58
3	2987,9	48	42,18	57,82	1,67
4	5176,7	96	57,81	42,19	1,77
5	8548,5	57	73,43	26,57	1,86
6	15331,5	144	89,06	10,94	1,97

Tableau III.1 : Calcul de fiabilité de la pompe nourricière

8.1.1 Détermination graphique des paramètres de Weibull

Ce graph suivant représente le nuage des points des TBF on fonction de F(t) :

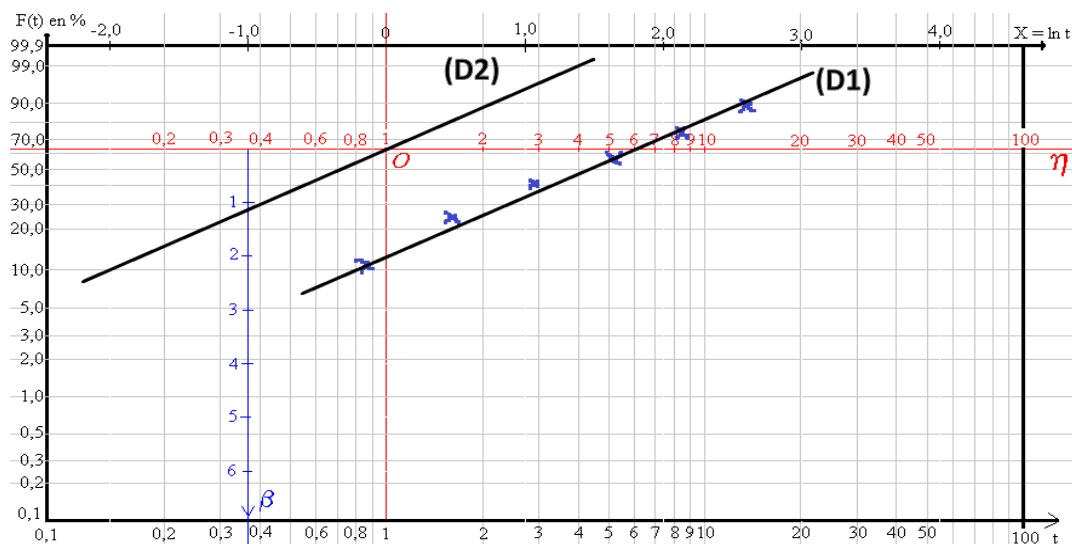


Figure III.5 : papier weibull de la pompe nourricière

Nous remarquons sur le papier d'Allan plait que les points constituent une droite et cela implique que $\gamma = 0$ et on détermine $\eta = 6100$ heures, $\beta = 1,1$

8.1.2 Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement)

Usage des tables numériques (voir l'annexe 02)

$$MTBF = A\eta + \gamma$$

Pour $\beta=1.1$ on aura $A = 0.964$ donc : $MTBF = 5880,4$ heures

8.1.3 Calcul de R(MTBF), F(MTBF) et λ (MTBF)

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow R(\text{MTBF}) = 0,38$$

$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow F(\text{MTBF}) = 0,62$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \longrightarrow \lambda(\text{MTBF}) = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ panne /h}$$

8.1.4 Étude de maintenabilité et disponibilité

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \longrightarrow MTTR = 72,6 \text{ heures}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \longrightarrow D = 98,78 \%$$

8.2 Le coupleur hydraulique

Ce tableau représente une classification des TBF en ordre croissant de la pompe principale durant la période (2010-2015) :

Nous avons $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance

$$F(i) = (i-0,3) / (N+0,4)$$

$$R(i) = 1 - F(i)$$

Rang	TBF(h)	TTR(h)	F(t) (%)	R(t) (%)	$\lambda(t) 10^{-4}$ (déf/h)
1	2874,4	360	15,90	84,1	0,69
2	7207,1	28	38,63	61,37	1,10
3	12083,6	34	61,36	38,46	1,42
4	16827,3	115	84,09	15,91	1,68

Tableau III.2 : calcul de fiabilité du coupleur hydraulique.

8.2.1 Détermination graphique des paramètres de Weibul

Ce graph suivant représente le nuage des points des TBF on fonction de F(t) :

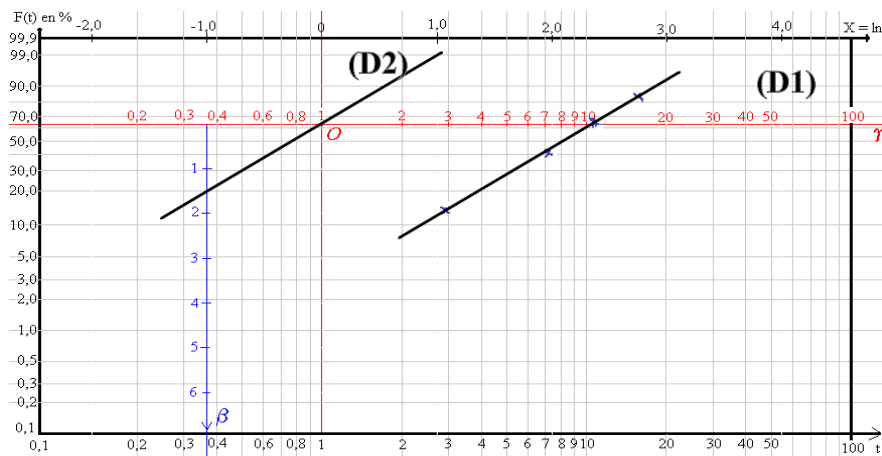


Figure III.6 : papier weibull du coupleur hydraulique

Nous remarquons sur le papier d’Allan plait que les points constituent une droite et cela implique que $\gamma = 0$ et on détermine $\eta = 11000$ heures, $\beta = 1,5$

8.2.2 Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement)

Usage des tables numériques (voir l’annexe 02)

$$MTBF = A\eta + \gamma$$

Pour $\beta=1.5$ on aura $A = 0.902$ donc :

$$MTBF = 9922 \text{ heures}$$

8.2.3 Calcul de R(MTBF), F(MTBF) et λ (MTBF)

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \longrightarrow \quad R(MTBF) = 0,42$$

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \longrightarrow \quad F(MTBF) = 0,58$$

$$\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \longrightarrow \quad \lambda(MTBF) = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ panne /h}$$

8.2.4 Étude de maintenabilité et disponibilité

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad \longrightarrow \quad MTTR = 135,25 \text{ heures}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \longrightarrow \quad D = 98,65 \%$$

8.3 La pompe principale

Ce tableau représente une classification des TBF en ordre croissant de la pompe principale durant la période (2010-2015) :

Nous avons $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance

$$F(i) = (i - 0,3) / (N + 0,4)$$

$$R(i) = 1 - F(i)$$

Rang	TBF(h)	TTR(h)	F(t) (%)	R(t) (%)	$\lambda(t) 10^{-4}$ (déf/h)
1	2504,3	240	15,90	84,1	0,86
2	5561,2	120	38,63	61,37	1,18
3	9530,3	72	61,36	38,46	1,47
4	17378	405	84,09	15,91	1,87

Tableau III.3: calcul de fiabilité de la pompe principale.

8.3.1 Détermination graphique des paramètres de Weibull

Ce graph suivant représente le nuage des points des TBF on fonction de F(t) :

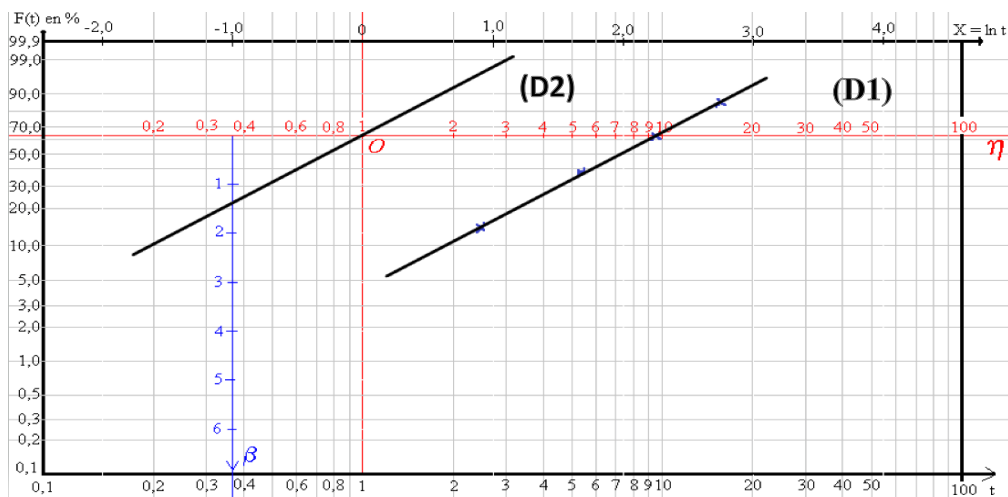


Figure III.7 : papier weibull de la pompe principale

Nous remarquons sur le papier d'Allan plait que les points constituent une droite et cela implique que $\gamma = 0$ et on détermine $\eta = 9500$ heures, $\beta = 1,4$

8.3.2 Recherche de MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement)

Usage des tables numériques (voir l'annexe 02)

$$MTBF = A\eta + \gamma$$

Pour $\beta=1.4$ on aura $A=0.911$ donc :

$$MTBF = 8654,5 \text{ heures}$$

8.3.3 Calcul de R(MTBF), F(MTBF) et λ (MTBF)

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow R(MTBF) = 0,41$$

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \longrightarrow F(MTBF) = 0,59$$

$$\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \longrightarrow \lambda(MTBF) = 1,41 * 10^{-4} \text{ panne /h}$$

8.3.4 Étude de maintenabilité et disponibilité

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \longrightarrow MTTR = 209,25 \text{ heures}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \longrightarrow D = 97,63 \%$$

9 Résumé de l'étude de fiabilité

équipement	Paramètre d'échelle η	Paramètre de forme β	Paramètre de position γ	MTBF (h)	R(MTBF)	λ (MTBF) p/h*10 ⁻⁴	D(%)
Pompe nourricière	6100	1,1	0	5880,4	0,38	1,79	98,78
Moteur électrique	/	/	/	/	0,99	0	99,99
Coupleur hydraulique	11000	1,5	0	9922	0,42	1,29	98,65
Pompe principale	9500	1,4	0	8654,5	0,41	1,41	97,63

Tableau III.4 : résumé du calcul de fiabilité de la pompe alimentaire

10 Interprétations

Le moteur électrique a une fiabilité de 99.99% et cela implique que le taux de défaillance tend vers zéro.

Le paramètre β montre que la pompe nourricière sort du période de la vie utile et entre dans la période de vieillesse. Par contre la pompe principale et le coupleur hydraulique montrent une fatigue de ces organes.

Le paramètre γ montre qu'on est dans le cas d'une droite dans le modèle de Weibull.

Le MTBF de chacun des machine montre la concordance avec le paramètre d'échelle η et le paramètre de forme β .

La colonne de fiabilité montre que la pompe nourricière est plus indisponible que la pompe principale et le coupleur hydraulique.

Les résultats montes la disponibilité de 3 éléments est acceptable par contre la fiabilité est faible.

11 Calcul de la fiabilité et la disponibilité totale de la pompe alimentaire

Le système est composé de quatre composantes qui sont liés en série

11.1 Calcul de la fiabilité

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^{n=4} R_i(t)$$

Pour $t=3000$ h :

$$R_s(3000) = \prod_{i=1}^{n=4} R_i(3000)$$

$$R_s(3000) = 0,6324 * 0,8672 * 0,8194 * 0,9999 \quad \longrightarrow \quad R_s(3000) = 44,89 \%$$

11.2 Calcul de la disponibilité

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n=4} \left[\frac{1}{DU_i} \right] - n + 1}$$

$$D_s = \frac{1}{\frac{1}{0,9878} + \frac{1}{0,9865} + \frac{1}{0,999} + \frac{1}{0,9763} - 4 + 1} \quad \longrightarrow \quad D_s = 95,11 \%$$

12 Conclusion

L'étude de fiabilité nous permet de connaître l'état de la pompe alimentaire en fonction de β et le comportement du matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$ et $\lambda(t)$.

L'étude de maintenabilité permet de rechercher une meilleure combinaison entre délai, moyen et garanti de réparation.

Nous avons trouvé que malgré la pompe principale, le coupleur et la pompe nourricière sont en période de vieillesse, la disponibilité reste acceptable.

D'après l'étude dans ce chapitre la fiabilité de la pompe principale, le coupleur et la pompe nourricière est jugée très insuffisante. Dans ce cas nous avons proposé la gestion maintenance par la méthode ABC comme un remède pour améliorer les paramètres de maintenance en général.

CHAPITRE IV

1 Introduction

Les installations, les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples telles que l'usure, déformations dues au fonctionnement, et ou action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphériques...). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement (panne), diminuer les capacités de production, mettre en péril la sécurité des personnes provoquer des rebus ou diminuer la qualité, augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation de l'énergie etc.) diminuer la valeur marchande de ces moyens.

Dans tous les cas, les détériorations engendrent des coûts direct ou indirect supplémentaires. La maintenance c'est donc effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite et réparation, amélioration etc. qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

2 Définition de la maintenance

La maintenance c'est toutes les activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans les conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Maintenir c'est effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, etc.) qui permettant de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production. [17]

3 Les objectifs de la maintenance [18]

La fonction maintenance joue un rôle central dans l'entreprise. Elle contribue à augmenter la productivité et à diminuer les coûts engendrés par les arrêts de production causés par les pannes ; assurer un bon état prépondérant dans l'entreprise grâce à ces objectifs qui sont :

3.1 Objectifs cout

- Minimisée les dépenses de maintenance
- Assurer la maintenance dans les limites de budget

3.2 Objectifs opérationnels

- Maintenir le bien durable dans un état de fonctionnement acceptable
- Assurer la disponibilité maximale à un coût raisonnable
- Eliminer les pannes à tous moments et aux meilleurs coûts
- Augmenter la durée de vie de bien
- Assurer au bien des performances de haute qualité et dans état propre
- Garder le rendement maximum de bien
- Supprimer les causes d'accidents graves
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production
- Diminuer le temps d'arrêt de la machine.

4 Type de la maintenance [19]

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut donc être informé d'une part des objectifs de la direction et des enjeux de l'entreprise, et d'autre part il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels, le comportement du matériel en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

Le diagramme suivant synthétise selon la norme NF EN 13306 les méthodes de maintenance.

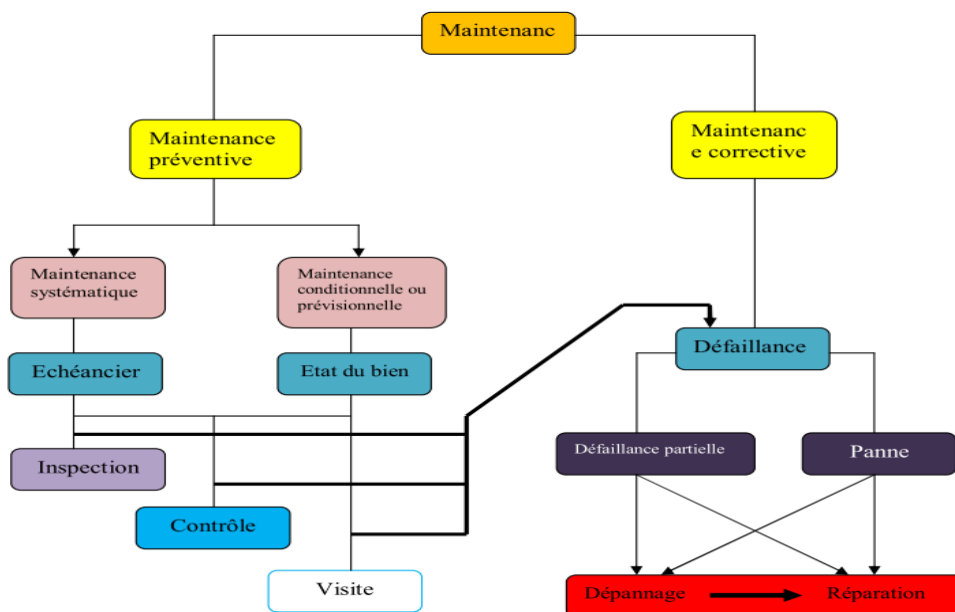


Figure IV.1 : Diagramme des méthodes de maintenance

5 Méthodes de maintenance

5.1 Maintenance corrective

La maintenance corrective est définie comme « une maintenance effectuée après défaillance ». Elle correspond à une attitude passive d'attente de la panne ou de l'incident ; la réaction consiste alors à éliminer le défaut, grâce à un dépannage ou une réparation. La défaillance peut être partielle, la fonction du matériel est alors altérée ; ou bien la défaillance est totale, à ce moment le matériel est complètement à l'arrêt (panne).

5.1.1 La maintenance palliative (Dépannage)

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement une fonction ou partie d'une fonction, elle est appelée couramment dépannage.

5.1.2 La maintenance curative (Réparation)

Est un ensemble d'activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Les activités pouvant être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

5.1.3 But de la maintenance corrective

- Minimiser les coûts indirects.
- Contribuer à assurer la production prévue et améliorer la qualité des opérations.
- Optimiser le temps de l'immobilisation du matériel.
- Maintenir le potentiel du matériel.
- Assurer la continuité de la fabrication.
- Maintenir de stock des pièces de rechange pour répondre à ces besoins de telle façon et éviter tout stock mort et toute rupture de stock.

5.1.4 Les opérations de la maintenance corrective [19]

- **Détection** : Action de déceler au moyen d'une surveillance accrue - continue ou non l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.
- **Localisation** : Action conduisant à rechercher précisément l'élément ou les éléments par lequel ou pour lesquelles la défaillance se manifeste.
- **Diagnostic** : Identification de la cause de la ou des défaillances à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.
- **Dépannage** : Action sur un bien en panne, en vue de le remettre provisoirement en état de fonctionnement.
- **Réparation** : Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

5.1.5 Avantages et inconvénients de la maintenance corrective

Avantage:

- budget de maintenance moyen.
- Minimise les coûts directs.
- Les frais de gestion de stock moins importants.

Inconvénient:

- Temps d'arrêts et d'interventions sont relativement longs.
- Coût indirect élevé.
- Achat de pièces de rechange à prix élevé.

5.2 Maintenance préventive [20]

C'est une maintenance effectuée avant l'apparition de la défaillance, selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation de service rendu.

C'est une intervention de maintenance prévue et programmée périodiquement ; cette période est déterminée soit par le constructeur soit par l'utilisateur.

La maintenance préventive s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise.

Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser les pannes probables.

Il existe deux formes de maintenance préventive :

5.2.1 Maintenance préventive systématique

c'est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage (quantité produite, km...). Elle vise à minimiser les arrêts par des opérations planifiées de remplacement, de réglage ou de contrôle avant l'apparition d'une panne catastrophique.

5.2.2 Maintenance préventive conditionnelle

c'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé ou déjà établi. Le contrôle le plus utilisé en maintenance c'est le contrôle visuel, il permet de suivre l'évolution des critères imposés.

5.2.3 But de la maintenance préventive

Les buts de la maintenance préventive sont :

- Augmenter la durée de vie matérielle.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêts en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et prévoir les interventions de maintenance corrective coûteuse.
- Eviter les consommations anormales d'énergie du lubrifiant.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Faciliter les coûts de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

5.2.4 Les opérations de la maintenance préventive [19]

- **Inspection** : Activité de surveillance consistant à relever périodiquement les anomalies et à exécuter les réglages simples.
- **Contrôle** : Il correspond à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivi d'un jugement.
- **Visite**: Consiste en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments d'un bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance.

5.2.5 Avantages et inconvénients de la maintenance préventive**Avantage :**

- Bonne préparation de la maintenance.
- Durée d'immobilisation du matériel minimisée.
- Coûts directe et indirecte acceptable.
- Bonne révision des besoins (pièces, personnel...).

Inconvénient :

- Frais de gestion de stocks important.
- Préparation et planification nécessite un budget important.

6 Les niveaux de maintenance [19]

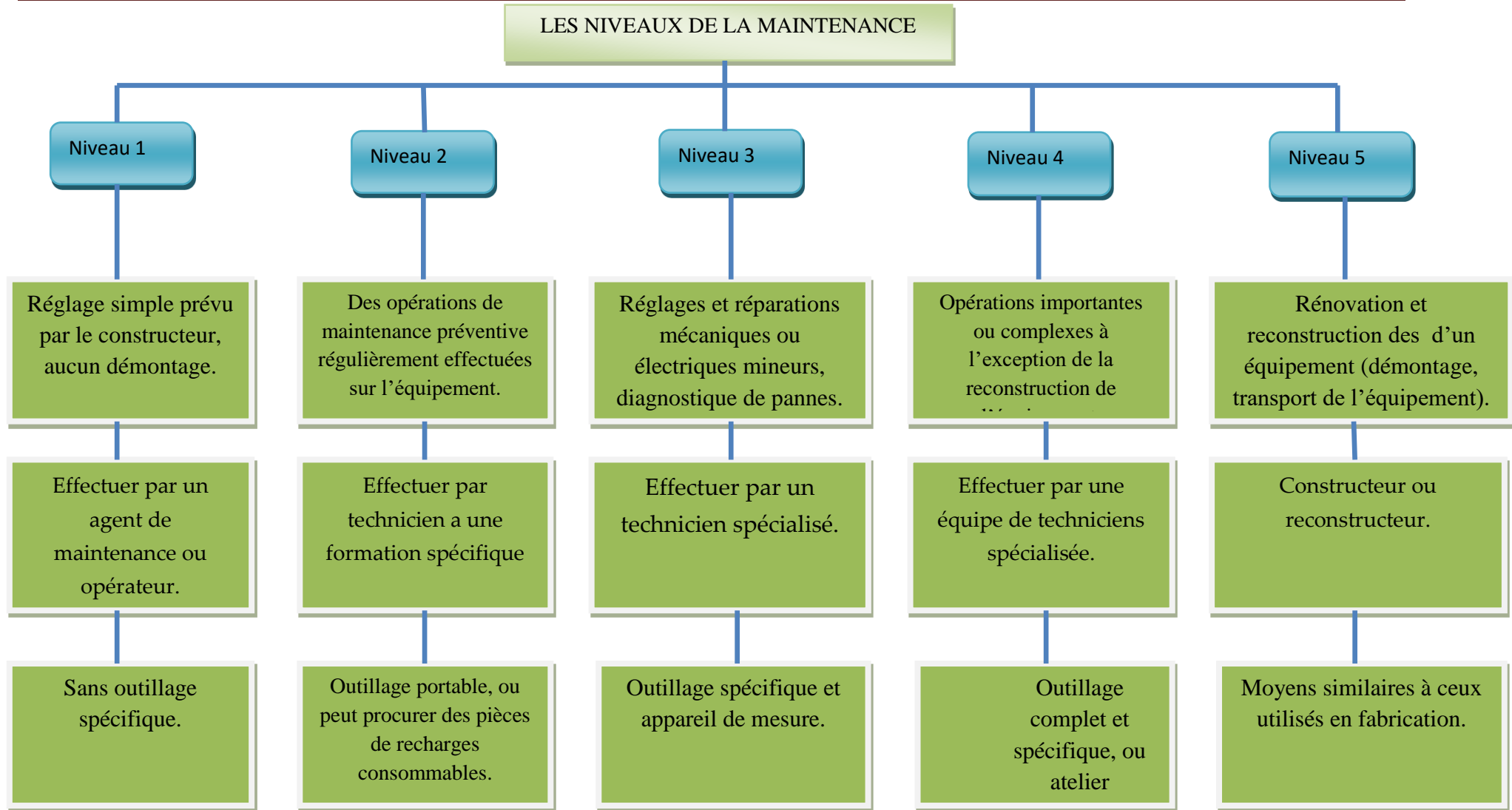


Figure IV.2 : Les niveaux de la maintenance

7 Méthode ABC ou analyse de PARETO

7.1 Introduction

Cette évolution a accru la demande en matière d'outil de contrôle de gestion assurant la mise en œuvre de la stratégie et le pilotage de l'entreprise. L'une des évolutions nouvelles ces dernières années est la comptabilité à base d'activité ABC. Centrée sur les processus et ses activités ; elle apporte une connaissance pertinente des coûts des produits par une affectation plus rigoureuse des charges indirectes au travers des activités.

Pour ce faire, elle rattache les coûts aux activités, puis attribue les coûts des activités aux produits selon l'utilisation qu'ils font de l'activité établie en fonction de bases de répartition variant selon la nature de cette activité.

7.2 Origine et contexte d'évolution de la méthode [21]

La comptabilité par activité ou la méthode ABC (Activity based costing) est une technique de calcul et d'analyse des coûts et aussi de gestion, fondée sur l'analyse des activités.

Apparue aux Etats-Unis au milieu des années 80 grâce aux travaux de CAMI en 1989 (Computer Aided Manufacturing International).

La méthode ABC a été dictée par les changements intervenus durant les dernières décennies, caractérisés par :

- L'évolution du contexte économique.
- L'évolution de la structure des entreprises.
- L'évolution des modes de production.

7.3 Objectif de la méthode ABC

Les objectifs de la méthode ABC sont en nombre de quatre et seront présentés selon leur importance :

- Obtenir des coûts plus précis
- Rendre visible des activités cachées
- Rendre variable des charges fixe
- Donner un modèle de fonctionnement pertinent et cohérent

7.4 Méthodologie de la méthode ABC

Les éléments étudiés sont classés par ordre d'importance selon un critère déterminé. Ces éléments peuvent être des machines, des causes de pannes, des articles en stock ... Les critères les plus fréquents sont les coûts et les temps, mais aussi le nombre d'accidents, de rebuts, de kilomètres parcourus, la valeur consommée annuellement ... [22]

L'étude suppose obligatoirement que l'on dispose d'un historique d'une période antérieure ou de prévisions. Pour une analyse donnée, l'application de la loi de Pareto impose plusieurs étapes :

7.4.1 Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites

Ces éléments peuvent être des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes, etc.

7.4.2 Choisir le critère de classement.

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts, etc.).

7.4.3 Construire un graphique.

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudié.

7.4.4 Déterminer les zones ABC.

Il s'agit de délimiter, sur la courbe obtenue, des zones fonction de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

Zone A : les plus défaillants

Zone B : les moyennement défaillants

Zone C : les moins défaillants

Ce classement s'applique lorsqu'on veut faire apparaître les éléments les plus défaillants.

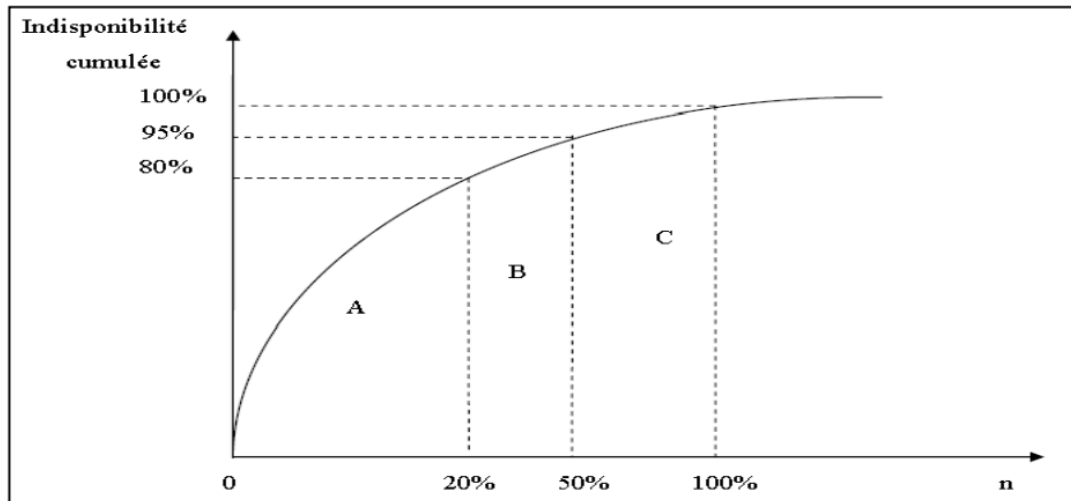


Figure IV.3 La courbe ABC de Pareto [23]

7.4.5 Interprétation de la courbe

Zone A: Dans la majorité des cas nous constatons qu'environ 20% des pannes représentent 80 % des coûts, ceci constitue la zone des priorités.

Zone B: Dans cette tranche, les 30 % de pannes suivantes ne contiennent que 15 % supplémentaires.

Zone C: Enfin, dans cette tranche, les 50 % de pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

Les résultats obtenus permettent de prendre des décisions en matière de maintenance.

Pour les éléments de la catégorie A, nous améliorons la fiabilité de ces équipements et nous prévoyons des stocks de pièces de rechange avec une plus grande attention.

Pour les éléments de la catégorie B, nous serons moins exigeants sur les méthodes de prévention. Enfin ceux de la catégorie C n'exigeront pas ou peu de maintenance préventive.

8 Analyses des coûts de maintenance de la pompe alimentaire 40RL22 Par la méthode ABC

Dans ce qui suit nous allons procéder à l'application de la méthode ABC, Faisant référence aux coûts de la maintenance faite sur la pompe alimentaire, La méthode ABC a comme objectif de déterminer quelle sont les 20% des pannes qui représentent 80% du critère d'analyse qui est pour notre cas le coût de la maintenance.

8.1 Les couts de la maintenance selon l'historique de la pompe alimentaire 40 RL 22

Le tableau suivant représente les coûts de la maintenance et les coûts cumulés, pourcentages cumulés et le pourcentage des classements des coûts, selon l'historique de la pompe alimentaire 40 RL 22 :

La panne	Les coûts (€)	Les couts Cumulés (€)	% couts Cumulés	% référence
Vibration élevées palier N°7	22011,82	22011,82	27,94	06,66
Température palier coupleur élevée	20519,00	42530,82	53,98	13,33
Réparation garniture mécanique	18326,95	60857,77	77,25	20,00
Fuite d'huile au niveau de l'accouplement	5324,22	66181,99	84,01	26,66
Fuite d'eau par bride d'aspiration	2980,32	69162,31	87,80	33,33
Fuite d'huile par le palier de moteur	2400,61	71562,92	90,84	40,00
Elimination fuite d'huile	1700,85	73263,77	93,00	46,66
Elimination fuite d'eau	1658,16	74921,93	95,10	53,33
Percement sur conduite de vidange	966,70	75888,63	96,33	60,00
Température palier N°2 élevée et fuite d'huile	750,42	76639,05	97,28	66,66
Débloccage de la vanne de vidange	694,12	77333,17	98,16	73,33
Inspection visuelle et nettoyage moteur 6,3 KV	555,00	77888,17	98,87	80,00
Température élevée sur palier pompe nourricier	500,39	78388,56	99,50	86,66
Vibration sur palier de pompe nourricier	219,4	78607,76	99,78	93,33
Inspection pompe nourricier	167,59	78775,55	100	100

Tableau IV.1 : Les couts de la maintenance pour la pompe alimentaire

8.2 Construction de la courbe ABC pour la pompe alimentaire et détermination des zones

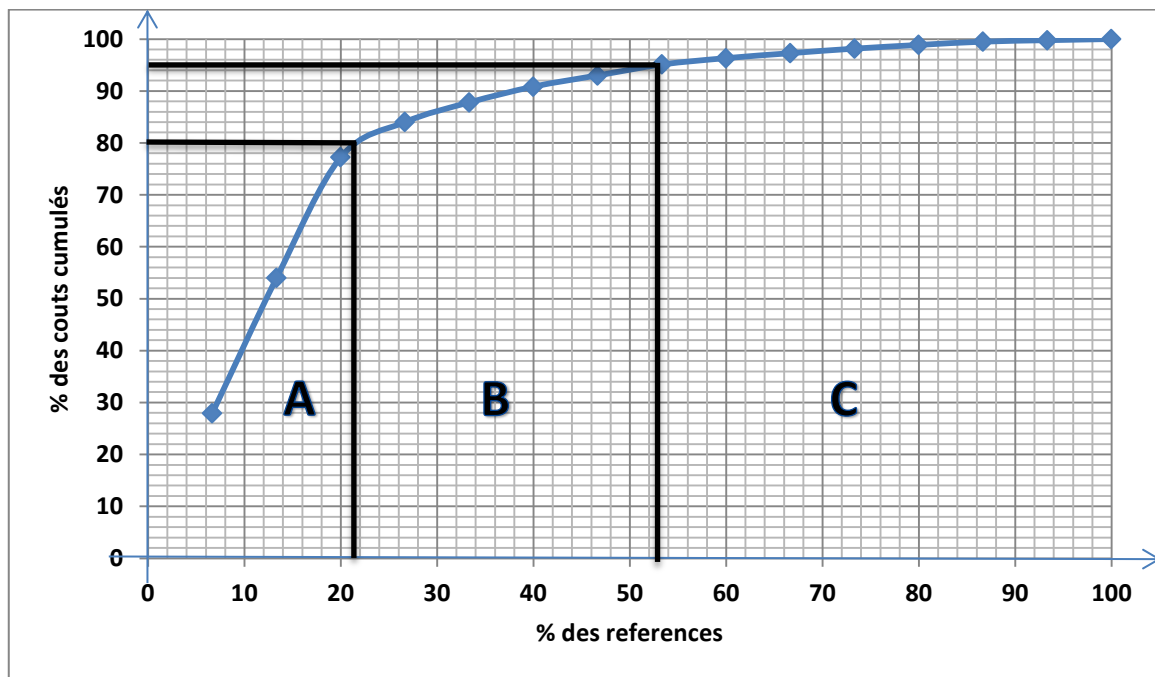


Figure IV.4 La courbe ABC pour la pompe alimentaire 40 RL 22

8.3 Interprétation des résultats de la courbe pour la pompe alimentaire 40 RL 22

D'après la courbe ABC de la figure IV.4 nous constatons que les 3 éléments de la classe (A) à savoir :

- Vibration élevées palier N°6
- Température palier coupleur élevée
- Réparation garniture mécanique pompe principale

Représentent 77,25% des frais de maintenance et seulement 20% des éléments à maintenir.

Les quatre éléments de la classe B à savoir :

- fuite d'huile au niveau de l'accouplement
- Fuite d'eau par bride d'aspiration
- Fuite d'huile par le palier de moteur
- Elimination fuite d'huile

Représentent 15,75 % des couts de maintenance et 26,66% des éléments à maintenir.

Les huit éléments restant de la classe C représente seulement 07% des coûts de maintenance et 53,34% des éléments à maintenir.

9 Programme de maintenance de l'installation- applications

Pour maintenir le groupe motopompe alimentaire (pompe nourricière, moteur électrique, coupleur hydraulique, pompe principale) en bon état de fonctionnement, le constructeur exige un programme de maintenance comme suite :

9.1 Maintenance préventive systématique

9.1.1 Programme de maintenance préventive systématique pour pompe nourricière

❖ Révision journalière de la pompe nourricière, temps prévu 1 heure

Les opérations à effectuer :

- Contrôle le niveau de bruit.
- Contrôle des températures des paliers.
- Contrôle visuelle des fuites par presse-étoupe.

❖ Révision semestrielle de la pompe nourricière, temps prévu 4 heures

Les opérations à effectuer

- Faire une vidange de bain de graissage.
- Nettoyage et remplissage d'huile.

❖ Révision annuelle de la pompe nourricière, temps prévu 8 heures

Les opérations à effectuer :

- Démontage de l'accouplement pour expertise des tampons en caoutchouc
- Corriger l'alignement des arbres (pompe-moteur).
- Contrôler les tampons, et remplacer s'ils sont usés jusqu'au 2/3 de leurs Epaisseur.

9.1.2 Programme de maintenance préventive systématique pour le moteur électrique

❖ Révision systématique trimestrielle, temps prévu 4 heures

Les opérations à effectuer :

- Ouvrir le disjoncteur de 6, 3 K V.
- Démontage du capot ventilateur.
- Nettoyage à l'air comprimé (7 bars).

9.1.3 Programme de maintenance préventive systématique pour le coupleur hydraulique

Une surveillance continue du coupleur hydraulique réglable en tenant compte des températures, de la pression de graissage et de niveau d'huile admissibles est de garantie d'une marche sans pannes.

❖ Révision journalière, temps prévu 4 heures

Les opérations à effectuer :

- Contrôle le niveau d'huile de graissage (l'aide d'un voyant).
- Contrôler l'étanchéité des tuyauteries et des accouplements.
- Contrôle des températures des paliers.
- Contrôle de la pression d'huile de graissage.
- Contrôle la pression différentielle en amont et en aval de filtre à huile.
- Contrôle des températures d'huile de fonctionnement et de graissage.

❖ Révision semestrielle, temps prévu 4 heures

Les opérations à effectuer :

- Nettoyage des reniflards des rincer avec l'huile.
- Contrôle d'étanchéité des tuyauteries d'huile de graissage.
- Contrôle du bon fonctionnement du cerveau commande, nettoyage et graissage de la came.
- Inverser les deux filtres d'huile au moyen d'un robinet.

❖ Révision annuelle, temps prévu 8 heures

Les opérations à effectuer :

- Analyse de vieillissement d'huile de fonctionnement.
- Contrôle et entretien des accouplements entrés et sortie.
- Contrôle de l'alignement du coupleur réglable.
- Vérifier si l'unité est bien fixée sur la fondation.
- Contrôle visuelle (corrosion, état générale, profil des dents etc.).
- Démontage et nettoyage du cartouche du filtre métallique d'huile de graissage (à l'aide du gas-oil et air comprimé).

9.1.4 Programme de maintenance préventive systématique pour la pompe principale**❖ Révision journalière de la pompe principale, temps prévu 1 heure**

Les opérations à effectuer :

- Contrôle visuelle des fuites.
- Surveiller la température des paliers.
- Contrôle le niveau de bruit.
- Régler le débit de refroidissement de la boîte de garniture mécanique.

❖ Révision semestrielle de la pompe principale, temps prévu 4heures

Les opérations à effectuer :

Démontage et nettoyage des filtres tamis de la garniture mécanique coté aspiration et refoulement de la pompe alimentaire.

❖ Révision générale chaque cinq ans, temps prévu un mois (30 jours)

Les opérations à effectuer :

- Retirer les conduit le liquide d'eau de refroidissement de la garniture du presse étoupe.
- Enlever les vis de fixation.
- Desserrer les écrous des goujons du corps à volute.
- Desserrer les écrous de blocage de la roue et retirer la roue avec les joints.
- démontage de la garniture à tresses.
- Déposer la chemise d'arbre, le fouloir et le déflecteur (volute).

❖ Expertise générale :

Toutes les pièces démontées sont à nettoyer et l'usure est à contrôler.

- Remplacer toutes les pièces usées.
- Vérifier les différents joints.
- Si les joints sont à remplacer, ne pas utiliser des joints d'épaisseur différentes.
- Si la garniture de presse étoupe est usée, l'enlever complètement, nettoyer à fond la chemise d'arbre et le logement correspondant de la boîte à garniture.
- Vérifier que l'état de surface de la chemise d'arbre est encore impeccable, la changée si elle est rayée.

9.2 Maintenance préventive conditionnelle

Son principe est consisté, à partir de différentes techniques basées sur la mesure de paramètres physique, tels que :

- Contrôle vibration (deux fois par mois).
- Contrôle thermographie infrarouge (une fois par mois).
- Contrôle d'huile (une fois par mois).
- Analyse des particules (une fois chaque six mois).
- Contrôle de bruit (une fois par mois).

10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différent rôles et objectif de la fonction maintenance et la maintenance préventive appliquée sur la pompe alimentaire, ainsi que l'analyse des couts de maintenance par la méthode ABC.

D'après l'analyse ABC que nous avons appliqué sur la pompe alimentaire 40 RL 22 nous concluons que : Pour diminuer les couts de cette pompe il faut agir et faire un effort en priorité sur les éléments suivants : garniture mécanique pompe principale, Vibration palier N°6 et température des paliers coupleur. Et nous pouvons élargir jusqu'à la fuite d'huile au niveau de l'accouplement car il est appartenir d'un même élément.

Et pour se faire nous avons proposé les solutions suivantes :

-Contrôle de vibration des paliers chaque semaine.
-Choisir une bonne huile de graissage et faire l'analyse de vieillissement d'huile chaque 4 mois.

-Démontage et nettoyage des filtres tamis de la garniture mécanique chaque 1 mois au lieu de 3 mois.

-Contrôle d'étanchéité des tuyauteries d'huiles de graissage chaque 1 mois au lieu de 3 mois.

Donc une surveillance et une maintenance préventive systématique sont préconisées pour notre unité (pompe alimentaire).

Conclusion général

Le travail que nous avons effectué s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études avec l'appui du stage pratique à la centrale thermique de RAS DJINET, ce travail nous a permis de découvrir la réalité de l'activité d'un complexe industriel.

Ce qui a été pour nous très bénéfique, et nous a permis de découvrir de nouvelles technologies dans le domaine industriel et d'enrichir nos connaissances intellectuelles en pratiquant sur le terrain les théories acquises au cours de notre formation.

L'étude de fiabilité nous a permis de mettre en évidence le comportement de la pompe alimentaire et de localiser le maillon le moins fiable de notre système qui est la pompe nourricière et le maillon le moins disponible qui est la pompe principale.

Le bon fonctionnement de la pompe alimentaire dépend du programme de maintenance préventive dont le but est de maintenir les équipements en bon état de marche. Une estimation des couts de maintenance est faite en utilisant la méthode ABC, les résultats obtenus nous ont permis de savoir quels sont les éléments de la pompe alimentaire à maintenir en priorité car ce sont les éléments qui représentent le pourcentage des coûts de maintenance les plus importants.

Finalement, nous souhaitons que ce mémoire puisse servir comme outil de travail pour les étudiants à venir, et qu'il sera amélioré et complété pour rendre son utilité plus complète.

Annexe 01

Les caractéristiques de la chaudière [1]

- Capacité de vaporisation540 t /h
- Température dans le foyer.....900 °C
- Température de vapeur surchauffée.....540 °C
- Pression à la sortie des surchauffeurs.....147 bar
- Température de la vapeur resurchauffé.....535 °C
- Température de l'eau d'alimentation.....246 °C
-

Les caractéristiques du ballon chaudière [1]

- Pression de service.....160 bar
- Température347 C°
- Volume d'eau.....26.3m³
- Longueur total.....1300 mm
-

Les caractéristiques de l'économiseur [1]

- Surface d'échange.....2080 m²
- Volume d'eau.....10.5 m³
- Pression d'entrée164.4 bar
- Débit d'eau d'alimentation.....523 t/h
- Débit des fumées traversant l'économiseur.....550 t/h

Les caractéristiques des surchauffeurs et des resurchauffeurs [1]

Surchauffeurs primaires	
Timbre	172 bar
Pression de service	160 bar
Surface de chauffe	1565 m ²
Température de sortie	427 °C
Surchauffeurs secondaires	
Timbre	172 bar
Pression de service	150 bar
Surface de chauffe	581 m ²
Température de sortie	485 °C

Surchauffeurs finals	
Timbre	172 bars
Pression de service	145.6 bars
Surface de chauffe	538 m ²
Température de sortie	540°C
Resurchauffeurs primaires	
Timbre	48 bars
Pression de service	39 bars
Surface de chauffe	929 m ²
Volume d'eau	18.96 m ³
Resurchauffeurs secondaires	
Timbre	48 bars
Pression de service	37 bars
Surface de chauffe	929 m ²
Volume d'eau	10.11 m ³
Température de sortie	540 °C

Les caractéristiques de la turbine [1]

- Longueur.....16,125 m
- Largeur.....13 m
- Poids.....500*103 Kg
- Puissances.....176 MW
- Pression.....138,2 bars
- Température de la vapeur à l'entrée.....535 °C
- Vitesse de rotation.....3000 tr/min

Les caractéristiques du corps BP[1]

- Corps.....à double flux
- Nombre d'étage.....2*8
- Pression d'admission.....5.5 bars
- Température d'admission de la vapeur....282 °C
- Débit de vapeur.....406 t/h
- Hauteur de l'ailette du dernier étage.....676. 3mm
- Poids du corps BP équipé.....138.103 Kg

Les caractéristiques du corps MP [1]

- Corps.....à double flux
- Nombre d'étage.....2*19 (à réaction)
- Pression d'admission.....35.9 bars
- Température d'admission de la vapeur.....535°C
- Débit de vapeur.....467.9 t/h.

Les caractéristiques du corps HP [1]

- Corps.....à simple flux
- Débit de vapeur.....532 t/h
- Pression de vapeur.....138 bars
- Température de vapeur.....535 °C
- Nombre d'étages.....24 (01 à action et 23 à réaction).

Les caractéristiques de l'alternateur [1]

- La puissance maximale produite.....176 MW.
- La tension..... 15,5 KV.
- La fréquence.....50 Hz.
- L'intensité du courant..... 8195 A

Les caractéristiques du condenseur [1]

- Débit de vapeur : 98.25 Kg/s
- Débit d'eau de refroidissement : 6500 Kg/s
- Pression du condenseur : 0.05 bars
- Capacité du puits entrée/sortie : eau de mer 6 à 8 °C
- Nombre de tube : 14848 tubes
- Surface d'échange : 10101 m²
- Diamètre extérieur des tubes : 19 mm
- Diamètre intérieur des tubes : 17.6 mm
- Longueur des tubes : 11490 mm
- Hauteur de la boîte à eau : 2600 mm
- Matériau des tubes : titanes
- La vitesse de l'eau à l'intérieur des tubes : 1.8m/s.

Les caractéristiques de la bache alimentaire sont[1]

- Volume total.....163 m³

- Diamètre de l'enveloppe.....3.6 m
- Longueur de la bâche.....16.5 m
- A la sortie de la bâche.....T= 151°C
P= 4.9 bars
- Débit.....145.34 Kg/s (cas de la plein charge)

Les caractéristiques des pompes d'extraction[1]

- Pression de service (hauteur totale) :.....16,8 bars.
- Pression (hauteur à débit nul) :.....19, 7 bars.
- Débit nominal :.....414 m³/h.
- Température de sortie :.....33 °C

Les caractéristiques techniques de la pompe nourricière [1]

- Vitesse de rotationN = 1492 tr/mn
- Pression d'aspiration.....Pa = 5 bars
- Pression de refoulement.....Pr = 11 bars
- Fluide refoulé.....Eau d'alimentation
- Débit refoulé.....Q = 261,6 t/h
- Température de fluide.....T° = 152°C

Les caractéristiques techniques de notre moteur [1]

- Puissance nominale.....3000kW.
- Tension nominale.....6,3kv.
- L'intensité nominale.....330A.
- Vitesse nominale.....1492tr /mn.
- Niveau de bruit.....95db(A).
- Temps de démarrage.....5 secondes.
- Type de palier.....lisse (coussinets).
- Facteur de puissance.....cos φ = 0.86
- Couplage en étoile.
- Sens de rotation à droite.

➤ Les caractéristiques techniques du coupleur hydraulique[1]

- Vitesse de moteur d'entraînement.....N = 1490tr/mn
- Rapport d'engrenage.....R = 3.6
- Vitesse d'entrée.....N = 5380tr/mn

- Glissement a plein charge..... $G = 2.7\%$
- Vitesse de sortie..... $N = 5234\text{tr/mn}$
- Volume de remplissage de bac d'huile..... $V = 600\text{L}$
- Quantité d'huile de graissage nécessaire aux groupes indépendant..... $Q = 50\text{L/mn}$

➤ **Les caractéristiques techniques de la pompe principale [1]**

- Fluide refoulé.....Eau d'alimentation.
- Température de fluide..... $T = 152^\circ\text{c}$.
- Pression d'aspiration..... $P_a = 11\text{ bars}$.
- Pression de refoulement..... $P_r = 160\text{ bars}$.
- Débit d'eau refoulé..... $Q = 261.6\text{ t/h}$.
- Vitesse de rotation..... $N = 3500\text{-}5200\text{ tr /mn}$.

Annexe 02

Recherche de la MTBF : usage des tables numériques LOI DE WEIBULL : $MTBF = A\eta + \gamma$

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Références bibliographique

Références Bibliographique

- [1] service de formation professionnelle. Documentation de la centrale thermique Cap-Djinet, (manuelle thechnique). n.d.
 - [2] <https://earth.google.com/web/search/CapDjinetPowerPlant> 2023, consulté Mai 2023
 - [3] Halberg, Siemens, Voith. Documentation de constructeur 1981.
 - [4] Sara H. Rapport de stage principe de fonctionnement d'une centrale-thermique à vapeur cap-djinet. 2018.
 - [5] Haddad N. Influence des parametres d'entré et de sortie sur le fonctionnement de la centrale de Cap-Djinet 2015.
 - [6] Nedjar F, Arous M. Etude et maintenance d'une pompe alimentaire de la centrale thermique Cap-Djinet 2010.
 - [7] Touel A el aziz, Houmer W. Etude de la fiabilité et la maintenance d'une pompe alimentaire au niveau de la centrale Cap-Djinet 2015.
 - [8] Bouamara D. régulation automatique d'une pompe alimentaire au niveau de la centrale Cap-Djinet 2009.
 - [9] CLAUDE HASERD : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, Edition AFNOR ,2eme Edition, paris (1986).
 - [10] Andrieu, C.R. (2002). Fiabilité mécanique des structures soumises à des phénomènes Physiques dépendant du temps. PhD thesis, Université Blaise Pascal.
 - [11] TOUEL .A et HOUMER. W; (étude de la fiabilité de la pompe alimentaire) mémoire de fin d'étude du diplôme de master académique, boumerdes 2016.
 - [12] Carroll K.J., "On the use and utility of the Weibull model in the analysis of survival data", Controlled Clinical Trials, vol. 24, 2003, p. 682-701.
 - [13] Barger P. Evaluation et Validation de La Fiabilité et de la disponibilité des Systèmes D'Automatisation à Intelligence Distribuée, en Phase Dynamique. Thèse de Doctorat de l'UHP Nancy 1, France, 2003
 - [14] Olivier Basile. Modélisation de la fiabilité des équipements mécaniques. Travail de fin d'études, Faculté Polytechnique de Mons, 2001.
 - [15] <https://www.umc.edu.dz/images/cours/polycopi>, consulté le 27/07/2023
 - [16] P. Lyonnet . Ingénierie de la Fiabilité. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris 2006.
 - [17] François Monchy 345 «Maintenance méthode et organisation» - Paris2003.
-

Références bibliographique

- [18] <https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/G%20Transport/Introduction%20%C3%A0%20la%20Maintenance%20conditionnelle.pdf>, consulté le 08/08/2023
- [19] C. Rachid ; « La maintenance industrielle » ; MENTOURI de Constantine, 2003/2004.
- [20] (Etude technologique d'une pompe alimentaire) Mémoire de fin d'étude du diplôme de technicien supérieur en Maintenance industrielle, boumerdes 2011
- [21] https://www.academia.edu/36308442/La_M%C3%A9thode_ABC, consulté le 08/14/23
- [22] Documentation de division maintenance de la Région de RHOURE ROUSS
- [23] I. RABAR & Y.KACI; « Planification De La Maintenance Du Réapprovisionnement En Matériels Roulant De Servitude Existant A L'Aéroport Houari Boumediene » ; P.F.E Ingénieur RO ; USTHB.2003.
-