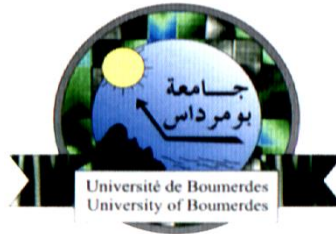


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : électromécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle

THEME

Etude de Fiabilité et Application de l'analyse AMDEC sur la Pompe Alimentaire du Groupe (04) de la Central Thermique de RAS DJINET

Présenté par :

- Mme DRIF Akila
- Mme TAOURIRT Asma

Promotrice : Mme. ATMANI Doria

Encadreur : Mr. Kalai Samir

Promotion 2022- 2023

ملخص

أصبحت الصيانة الصناعية ذات أهمية متزايدة وظهرت كوظيفة رئيسية لشركات الإنتاج الحديثة. عملنا مكرس للدراسة النظرية ، وتحليل هذه الموثوقية للعناصر الحرجة على Sonalgaz CAP-DJINET والعملية لموثوقية المعدات في محطة الطاقة الحرارية ، أساس الأدوات المتطورة

في مشروع نهاية الدراسة هذا؛ استخدمنا قوانين الموثوقية وطرق التحليل المبنية على أدوات مثل المعروفة في الموثوقية. على وجه Weibull الخاص قانون

لإكمال دراستنا. لقد حددنا الطرق الرسومية والتحليلية لتحديد المعلمات الحرجة المستخدمة لتقييم معدل تدهور المعدات على مستوى عنصر الترشيح والضخ بالمصنع ولتحديد نوع الصيانة المطبقة. أخيرًا، قمنا بالتحقق من صحة عملنا من خلال دراسة عملية (AMDEC).

أتاحت لنا هذه الدراسة إيجاد نتائج تتناسب مع الواقع العملي على مستوى الشركة، وهو أمر له تأثير إيجابي على مستوى محطة الطاقة الحرارية والتي سيتم استخدامها ومتابعتها من قبل المحطات الأخرى العاملة

الكلمات المفتاحية: التشخيص، الموثوقية، الفشل، معدل الفشل، الصيانة، النماذج الصناعية، التحليل، أدوات الموثوقية

Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and is emerging as a key function of modern production companies. Our work is devoted to the theoretical and practical study of the reliability of equipment at the Sonalgaz *Cap-Djinet* thermal power plant. We have used in this study, reliability laws and analysis methods based on tools widely used in the reliability of mechanical and hydraulic components, in particular the Weibull law.

In order to concretize our study, we defined the graphic and analytical methods to determine the critical parameters used for the evaluation of the rate of degradation of the equipment at the level of the elements of filtration and pumping of the power station. Finally, we validated our work by a practical analysis: FMECA.

This study allowed us to find results in accordance with the practical reality at the level of the company, something that has a positive impact at the level of the thermal power station and which will be used and followed by the other stations in operation.

Keywords: reliability, failure, failure rate, maintenance, analysis models, reliability tools.

Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se relève être une fonction clé des entreprises de production moderne. Notre travail est consacré à l'étude théorique et pratique de la fiabilité des équipements au niveau de la centrale thermique Sonalgaz *Cap-Djinet*. Nous avons utilisé dans ce projet de fin d'étude, les lois de fiabilité et les méthodes d'analyse en se basant sur des outils largement utilisés dans la fiabilité des composant mécaniques et hydrauliques, en particulier la loi Weibull.

Afin de concrétiser notre étude, nous avons défini les méthodes graphiques et analytiques pour déterminer les paramètres critiques utilisés pour l'évaluation du taux de dégradation des équipements au niveau des éléments de filtration et pompage de la centrale. Enfin, nous avons validé notre travail par une analyse pratique : l'AMDEC.

Cette étude nous a permis de trouver des résultats en conformité avec la réalité pratique au niveau de l'entrepris chose qui en un impact positif au niveau du central thermique et qui sera utilisé et suivi par les autres stations en exploitions.

Mot clés : fiabilité, défaillance, taux de défaillance, maintenance, modèles d'analyse, outils de fiabilité.

Remerciement



Nous tenons en premier lieu à remercier notre Dieu pour son aide qu'il nous accordée afin de mener notre travail à terme.

Nous remercions en premier lieu notre professeure et promotrice « Mme. ATMANI DORIA » pour son aide, ses conseils et ses suggestions.

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers « Mr. KALAI Samir » a eu la gentillesse d'encadré notre mémoire.

Tous nos remerciements vont aussi à tous les membre de jury d'avoir accepté d' examiner ce travail.

A tous professeurs qui nous ont enseigné.

Nous adressons aussi nos remerciements à « Melle AMIRA AICHAOUI » pour son aide.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.





Dédicace

Je tiens à dédier ce présent travail à mon très cher mari

Qui m'a soutenu et encouragé,

A mes enfants : MARIA, YANIS, RACIM et ELINÉ.

À mes chers parents pour leur encouragement.

À mes chers frères et leur épouses.

À mes chères sœurs qui ont attendu ce grand jour impatiemment.

A ma belle mère.

Mes belles sœurs et frères.

A mes nièces et mes neveux.

A mon binôme TAO'URIRT ASMA.

A la famille DRIF ET KHRAIMECHE en générale.

Sans oublier mes amis de L'INGM et CF.

DRIF AKILA



Dédicaces

*Enfin, je suis arrivé au bout de ma carrière universitaire,
Elhamdoliallah est venu le grand le jour " ma soutenance ".*

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, flamme de mon
cœur, ma vie et mon bonheur : mes parents que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
me voir réussir, à toi mon marié*

*A Mes très chers sœurs et mon frère qui m'ont chaleureusement
supporté, encouragé et aidé tout au long de mon parcours.*

A ma belle-famille « ABAZIZ »

A mon binôme DRIF AKILA

Sans oublier mes meilleurs amis et mes chers collègues de L'INGM

ASMA

Sommaire

Introduction générale.....	1
I.1 Historique.....	3
I.2 Situation géographique	3
I.2.1 Choix du site.....	4
I.2.2 Représentation graphique du site	4
I.3 Description de la centrale : partie technologique	6
I.3.1 Générateur de vapeur	6
I.3.2 La Turbine	7
I.3.3 Pompes.....	8
I.3.4 Ventilateurs.....	8
I.3.5 Alternateurs (SIEMENS).....	9
I.3.6 Auxiliaires électrique	10
I.3.7 Salle de commande	10
I.3.8 Transformateur principal d'évacuation d'énergie.....	11
I.3.9 Unité Dessalement de l'eau de mer	12
I.3.10 Unité Déminéralisation	12
I.3.11 Electro chloration	12
I.3.12 Station de filtrage et de pompage d'eau de mer	13
I.4 Principe de fonctionnement.....	14
Chapitre II DESCRIPTION DE LA POMPE ALIMENTAIRE	17
II.1 Introduction	17
II.2 Généralités sur les pompes	17
II.2.1 Pompes volumétriques	17
II.2.2 Turbopompe.....	19
II.3 La pompe alimentaire	21
II.3.3 Les conditions de fonctionnement des pompes alimentaires	21
II.3.4 Constitution de la pompe alimentaire.....	22
II.3.5 Graissage des pompes alimentaires	23
II.3.6 Principe de fonctionnement.....	24
II.3.7 La codification	24
Chapitre III ETUDE MECANIQUE ET HYDRAULIQUE DE LA POMPE ALIMENTAIRE 27	
III.1 Introduction	27
III.2 Dessin d'ensemble de la pompe.....	27
III.3 La Chaîne cinématique	29
III.4 Description et fonctionnement du système de pompage	30

III.4.1	Principe de fonctionnement.....	30
III.4.3	Composition du coupleur	32
III.4.1.4	Circuit d'huile de fonctionnement et de graissage.....	34
III.4.1.5	Réglage de la vitesse de sortie	35
Chapitre IV	ÉTUDE DE FIABILITE DES POMPES ALIMENTAIRES.....	37
IV.1.1	Le modèle de Weibull.....	39
IV.2	La maintenabilité.....	41
III.4	La disponibilité	41
IV.3	Calcul de fiabilité, disponibilité et maintenabilité	42
IV.3.2	Détermination graphique des paramètres de Weibull	42
IV.3.3	Diagramme d'ALLEN PLAIT	42
IV.4	Application numérique :	44
IV.4.4	Fiabilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001	44
IV.4.5	Résultats de l'étude de fiabilité	46
IV.4.6	Interprétation.....	48
IV.4.7	Maintenabilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001	48
IV.4.8	Disponibilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001.....	48
IV.4.9	Fiabilité de la Pompe alimentaire 40RL22D001	49
IV.4.10	Résultats de l'étude de fiabilité	51
IV.6.9	Maintenabilité de la pompe alimentaire 40RL22D001	52
IV.6.10	Disponibilité de la pompe alimentaire 40RL22D001.....	53
IV.6.11	Fiabilité de la pompe alimentaire 40RL32D001	53
IV.6.12	Maintenabilité de la pompe alimentaire 40RL32D001	57
IV.6.13	Disponibilité de la pompe alimentaire 40RL32D001.....	57
Chapitre V	ANALYSE AMDEC.....	64
V.1	Introduction	64
V.2	Définition de la maintenance	64
V.3	But de la maintenance.....	65
V.4	La fonction maintenance recouvre plusieurs objectifs.....	65
V.5	Différents types de la maintenance	66
V.6	Niveaux de la maintenance	67
V.7	La maintenance appliquée sur la pompe alimentaire	68
V.8	Méthode d'analyse AMDEC.....	69
V.8.1	L'objectif de L'AMDEC	69
V.8.2	Les avantages et les inconvénients de L'AMDEC	69
V.8.3	Caractéristique essentiel de L'AMDEC	69

V.8.4	Fonction.....	69
V.8.5	Défaillance.....	70
V.8.6	Mode de défaillance.....	70
V.8.7	Cause de défaillance	70
V.8.8	Effet de la défaillance	70
V.8.9	Mode de détection.....	71
V.8.10	Criticité.....	71
V.9	LE Suivi.....	82
V.10	Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC.....	83
	Conclusion générale	84

Liste des figures

Figure I-1 : Plan de masse	5
Figure I-2: Générateur de vapeur	7
Figure I-3 : Turbine BP	8
Figure I-4 : Ventilateur.....	9
Figure I-5 : Alternateur	9
Figure I 6 : Le condenseur.....	10
Figure I 7 : Salle de commande.....	11
Figure I 8 : Transformateur.....	11
Figure I 9 : Station de pompage	13
Figure I 10 : Principe de fonctionnement.....	14
Figure I-11 : Synoptique de la centrale thermique.....	15
Figure II-1 : Classification générale des pompes.....	17
Figure II-2: Pompe volumétrique rotative.....	18
Figure II-3 : Schéma de principe d'une pompe volumétrique alternative.....	18
Figure II-4 : Pompe rotative axiale.	19
Figure II-5 : pompe centrifuge	20
Figure II-6 : pompe alimentaire.	21
Figure II-7: Représentation du système de pompage	23
Figure II-8 : Codification d'un matériel.	25
Figure III-1: Dessin d'ensemble de la pompe	27
Figure III-2 : Chaine cinématique de la pompe alimentaire.....	29
Figure III-3 : Coupleur hydraulique	31
Figure III-4 : Schéma du coupleur hydraulique.	31
Figure IV-1: Courbe en baignoire	38
Figure IV-2 : Diagramme d'ALLEN PLAIT.	43
Figure IV-3: Représentation de la fonction de fiabilité.....	47
Figure IV-4: Taux de défaillance	47
Figure IV-5 : Représentation de la fonction de fiabilité.....	51
Figure IV-6 : Taux de défaillance.....	52
FigureIV-7 : Représentation de la fonction de fiabilité.....	56
Figure IV-8 : Taux de défaillance.....	56
Figure V.1 : organigramme des types de la maintenance.....	66
Figure V.2 : Organigramme des Niveaux de la maintenance	67
Figure V.3 : Organigramme des fonctions principales du service maintenance.....	68

Liste des tableaux

Tableau I-1: Légende du plan de masse	4
Tableau II-1 : Caractéristiques techniques de la pompe alimentaire	22
Tableau III-1 : Nomenclature de la pompe alimentaire.	28
Tableau III-2 : Nomenclature de la chaîne cinématique	29
Tableau III-3 : Les caractéristiques techniques du coupleur hydraulique.....	34
Tableau IV-1: Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t)=i / n+1$	44
Tableau IV-2 : Résultats de l'étude de fiabilité	46
Tableau IV-3: Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t)=i / n+1$	49
Tableau IV 4 : Résultats de l'étude de fiabilité.....	51
Tableau IV-5: Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t)=i / n+1$	53
Tableau IV-6: Résultats de l'étude de fiabilité.....	55
Tableau IV-7 : Tableau IV-7 : La défaillance par organes et durant pendant cinq ans.....	58
Tableau IV-8 : La défaillance par nature.....	59
Tableau V-1: Niveaux de fréquence.....	72
Tableau V-2: Niveau de gravité	72
Tableau V-3: Niveau de probabilité de non détection.....	73
Tableau V-4: Présentation du tableau d'AMDEC.....	74
Tableau V-5 classification de la Criticité	82

Introduction générale

Le secteur de l'énergie est l'un des plus stratégiques pour l'économie. Il exerce une influence décisive sur le développement d'un pays. En Algérie, l'utilisation des ressources d'énergie non renouvelables (pétrole et autres combustibles) est de plus en plus limitée pour préserver les réserves existantes. Et pour compenser ce manque, on dispose de l'énergie électrique qui reste un besoin très important pour le fonctionnement de toutes les machines d'une entreprise.

La production de l'énergie électrique est assurée par plusieurs centrales (thermiques, nucléaires, éoliennes, hydraulique, solaires). La centrale thermique de *Ras Djinet* produit de l'énergie électrique à partir de la vapeur d'eau. Celle-ci subira plusieurs transformations au niveau de plusieurs équipements avant de pouvoir produire de l'énergie électrique.

La qualité et la continuité du service de la centrale thermique de *Ras Djinet* nécessitent la bonne marche de ses machines. Elle est assurée par une maintenance efficace contre les défaillances des équipements.

Notre étude a été répartie en cinq chapitres. Nous avons présenté, dans le premier chapitre l'entreprise d'accueil, qui est la centrale thermique de *Ras Djinet*. Ensuite, dans le deuxième chapitre, le fonctionnement de la pompe alimentaire a été détaillé. Le troisième chapitre a été consacré à quelques généralités sur la maintenance

CHAPITRE I

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL

I.1 Historique

La centrale thermique de *Ras Djanet* 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 laquelle a été confié 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. [3]

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 *Ras 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.[1]

I.2 Situation géographique

La centrale est située au nord de la wilaya de Boumerdès, au bord de la mer, à 30 Km à l'est du centre de la wilaya, et à 1 Km à l'ouest de la ville de *Ras Djinet*.

I.2.1 Choix du site

Le choix du site s'est fait sur la base des critères suivants :

- ✓ Proximité de la mer.
- ✓ Proximité des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle **Rouïba et Réghaia.**
- ✓ Possibilité d'extension.
- ✓ Condition de sous-sol favorable ne nécessitant pas de fondation profonde.
- ✓ Superficie : 35 Hectares.

I.2.2 Représentation graphique du site

Sur la figure I.1 est représenté le plan de masse du site de la centrale de *Ras Djinet*. [2]

Tableau 0-1: Légende du plan de masse

1	salle des machines	15	atelier magazine.
2	chaudière	16	station de pompage.
3	locaux des auxiliaires électriques.	17	canal et rejet d'eau de mer.
4	locaux des auxiliaires mécaniques.	18	potier (poste d'entrée).
5	tour de prise d'eau de mer.	19	parc véhicules.
6	station de détente de gaz.	20	station de chloration.
7	réservoir stockage fuel.	21	préparation d'eau potable.
8	station pompage et dépotage fuel	22	. déminéralisation.
9	station de production H2	23	fosse de neutralisation.
10	poste d'incendie à mousse.	24	dessalement d'eau de mer.
11	rack à tuyauterie.	25	station des pompes d'incendie.
12	air des transformateurs	26	Pompe d'eau déminéralisée.
13	bâtiment administratif.	27	Logement d'exploitation
14	cantine.		

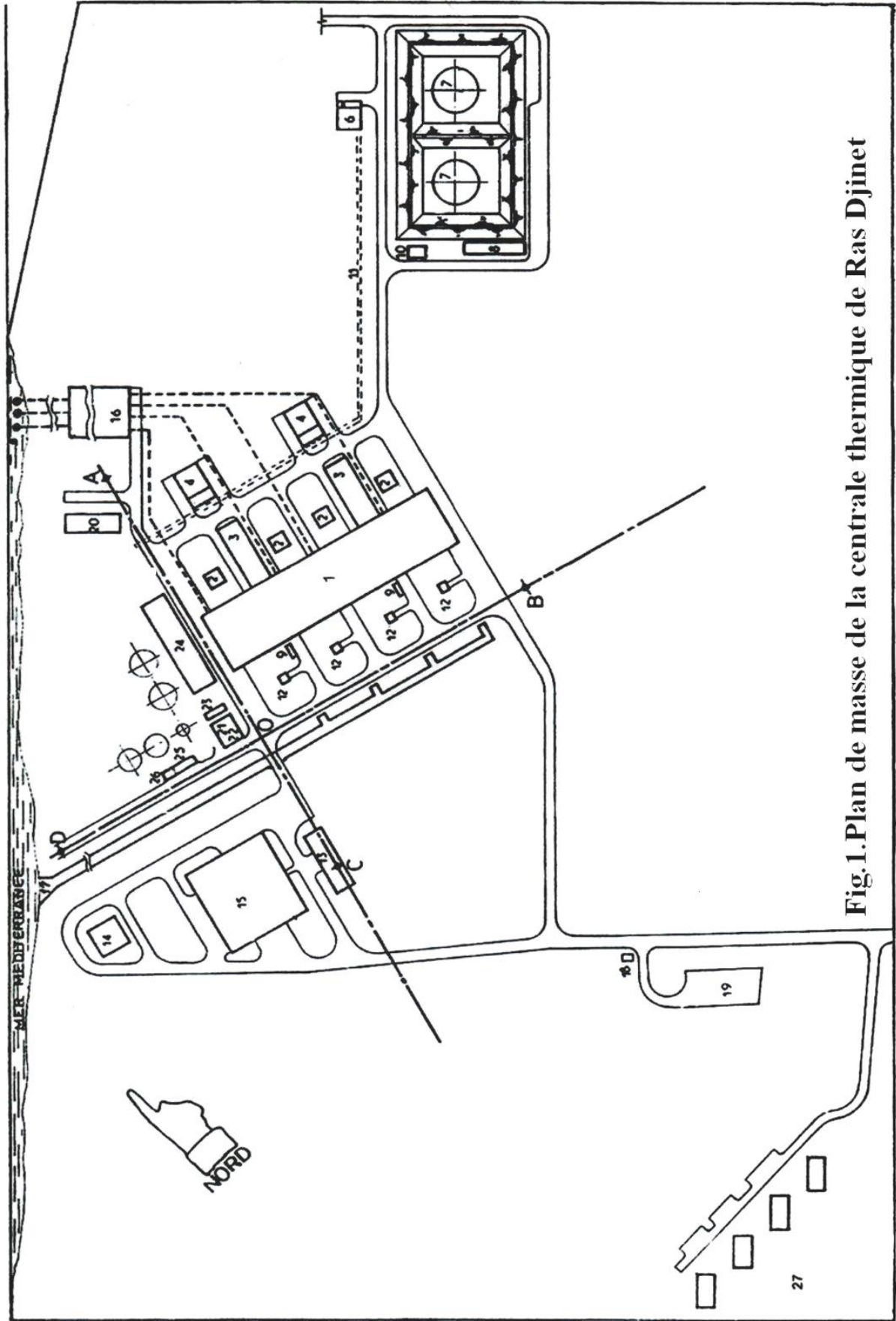


Fig.1. Plan de masse de la centrale thermique de Ras Djinet

Figure I.1 : Plan de masse

I.3 Description de la centrale : partie technologique

La centrale est composée de 04 groupes d'une puissance de 176 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 des compresseurs d'air comprimé de travail et de régulation.

Et pour chaque groupe :

- Générateur de vapeur (chaudière),
- Turbine à vapeur,
- Condenseur,
- Alternateur,
- Auxiliaires électrique,
- Salle de commande centralisée,
- Transformateur principal d'évacuation de l'énergie,
- Dessalement de l'eau de mer. [2]

I.3.1 Générateur de vapeur

a) Rôle

Le générateur de vapeur ou chaudière de type pressurisé à circulation naturelle (Figure I-2) a pour rôle de transformer l'eau en vapeur à haute pression pour alimenter le GTA.

b) Constitution

La Chambre de combustion est formée principalement par :

- Écrans (faisceaux vaporisateurs),
- Ballon (réservoir) et un économiseur,
- Trois surchauffeurs et deux resurchauffeurs,
- Trois désurchauffeurs par injection d'eau pour la régulation température de vapeur,
- Quatre colonnes de descentes,
- Huit bruleurs de combustion mixte gaz-fuel. [3]



Figure I-2: Générateur de vapeur

Les Caractéristiques principales de la chaudière sont :

- Capacité de vaporisation maximale : 523 t/h.
- Pression de service : 160 bars.
- Température de la vapeur : 540°C

I.3.2 La Turbine

a) Rôle

La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en énergie mécanique, un mouvement de rotation de l'arbre. Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur. [3]

b) Description

- Turbine à trois corps : haute (HP), moyenne (MP) et basse pression (BP) (Figure I-3).
- Nombres de soutirages de vapeur : 06 alimentant trois réchauffeurs BP, la bache alimentaire et deux réchauffeurs HP.

c) Caractéristique

- Longueur : 16,125 m.
- Largeur : 13 m
- Poids : 500103 Kg.
- Puissance : 176 MW.
- Pression : 138,3 bars.
- Température vapeur : 535°C.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/mn



Figure 01.3 : Turbine BP

I.3.3 Pompes

Il existe au niveau de la centrale :

- 02 pompes d'extraction qui assurent le transfert de l'eau de puits du condenseur jusqu'à la bêche alimentaire en passant par les trois réchauffeurs BP (le débit nominal d'une pompe d'extraction est de 414 m³/h)
- 03 pompes alimentaires qui servent à alimenter la chaudière à partir de la bêche alimentaire (le débit nominal des pompes est de 3×261.6 m³/h).
- 02 pompes de circulation de 12000 m³/h chacune qui refoulent l'eau de mer jusqu'au condenseur. [4][5]

I.3.4 Ventilateurs

Il existe aussi :

- 02 ventilateurs (Figure I-4) de recyclage qui ont pour rôle de recycler, en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la température à la sortie du resurchauffeur.
- 02 ventilateurs de soufflage qui ont pour rôle de fournir l'air de combustion nécessaire au générateur vapeur. [7]



Figure I.4 : Ventilateur

I.3.5 Alternateurs (SIEMENS)

L'alternateur (Figure I-5) est à refroidissement à l'hydrogène sous pression de 03 bars en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.



Figure I.5 : Alternateur

Les Caractéristique de l'alternateur :

- Tension nominale : 15.5 KV.
- Puissance nominale : 220 MVA.
- Puissance active : 176 MW.
- $\cos \varphi$: 0.8
- Excitatrice principale et pilote.
- Poids de stator complet 198 tonnes.
- Poids de rotor seul 36.7 tonnes.

I.3.5.1 Condenseur

Son rôle est d'assurer la condensation de la vapeur évacuée du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de mer de refroidissement (débit de $2 \times 12000 \text{ m}^3/\text{h}$), dans les 14850 tubes en titane contenu dans le condenseur (Figure I-6).



Figure I-6 : Le condenseur

I.3.6 Auxiliaires électrique

Les Auxiliaires électriques se situent à l'intérieur de deux bâtiments à 05 niveaux, situés entre deux chaudières. On trouve :

- Niveaux 5.15 m : salle de câble,
- Niveaux 8.35 m : tableaux MT, BT,
- Niveaux 11.65 m : salle de câble,
- Niveaux 14.75 m : batteries, redresseurs et salle électrique,
- Niveaux 18.65 m : salle de commande. [6]

I.3.7 Salle de commande

Les quatre groupes de production d'électricité sont contrôlés et réglés, chacun à partir d'un pupitre (Figure I-7) dans une salle de commande climatisée et insonorisée. [8]



Figure I-7 : Salle de commande

Il existe deux salles de commande et chacune comprend :

- 02 pupitres de conduite et de signalisation des alarmes électronique,
- 02 tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement,
- Un tableau synoptique qui schématise les auxiliaires électrique et les tableaux relatifs au service commun,
- Un équipement de supervision d'analyse d'incidents.

I.3.8 Transformateur principal d'évacuation d'énergie

Chaque tranche évacue par l'intermédiaire d'un transformateur (Figure I-8) et d'un avant-poste l'énergie d'une tension de 220 KV au niveau de **Boudouaou**, situé à 45Km de la centrale. [6]



Figure I-8 : Transformateur

Chaque alternateur est raccordé par des gaines à un transformateur élévateur (15.5-220Kv) d'une puissance de 220MVA à travers un disjoncteur compteur.

Les transformateurs élévateurs ont un poids de 140 tonnes (sans les radiateurs) et leur réfrigération est assurée par une circulation forcée d'huile, laquelle est elle-même refroidie par l'air.

I.3.9 Unité Dessalement de l'eau de mer

Il y'a 4 unités de dessalement de 500 m³/j chacune assurant la production d'eau pour le générateur à vapeur des groupes turbo alternateur de la centrale.

Le procédé utilisé est la distillation *multi flash* où l'eau sera vaporisée brutalement.

Après plusieurs flashes successifs, la vapeur condensée (eau pure) est récupérée et stockée dans 02 réservoirs de 2700m³ chacun.

I.3.10 Unité Déminéralisation

Deux chaînes de déminéralisation de 40 m³/h chacune parachèvent le traitement d'eau avant son utilisation dans le cycle. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux réservoirs de 150 m³/h chacun.

I.3.11 Electro chloration

La chloration de l'eau de mer permet de préserver l'équipement traversé par l'eau de mer contre la prolifération d'organismes marins.

Elle se fait par de l'hypochlorite de sodium. La production est assurée par une station d'électro chloration (par électrolyse de l'eau de mer d'une capacité de 150 Kg/h de chlore actif).

I.3.12 Station de filtrage et de pompage d'eau de mer



Figure I-9 : Station de pompage

a) Amenée d'eau de mer

L'amenée d'eau de mer s'effectue à partir de trois canalisations indépendantes de 3m de diamètre chacune, dont la prise est située à 900m de longueur au large de la mer.

b) Filtration d'eau de mer

La filtration d'eau de mer s'effectue en deux étapes :

- 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.
- 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. [4]

c) Pompage d'eau de mer

Le pompage s'effectue dans des puits situés après la station de filtrage, par trois groupes de pompes déferents pour les besoins de la centrale.

- Pompes d'alimentation en eau de mer de refroidissement,
- Pompes d'alimentation en eau de mer pour les unités de dessalement,
- Pompes d'alimentation en eau de mer pour la station d'électro chloration.

I.4 Principe de fonctionnement

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

- La transformation de l'énergie chimique du combustible en énergie calorifique de la vapeur dans la chaudière,
- La transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique par la turbine,
- La transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique par l'alternateur. [8]



Figure I-10 : Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du groupe thermique est résumé sur la figure I.10.

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. [9]

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 246.5°C sous une pression de 164.3 bars avant d'être introduite dans l'économiseur de 284.7°C et une pression de 160 bars.

Ce mélange (eau, vapeur) sera vaporisé en descendant dans des colonnes d'alimentation qui traversent 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 170 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 à l'alternateur qui produit l'énergie électrique.

Tous les auxiliaires cités précédemment sont alimentés à travers le transformateur de soutirage.

[1]

CHAPITRE II
DESCRIPTION
DE LA POMPE ALIMENTAIRE

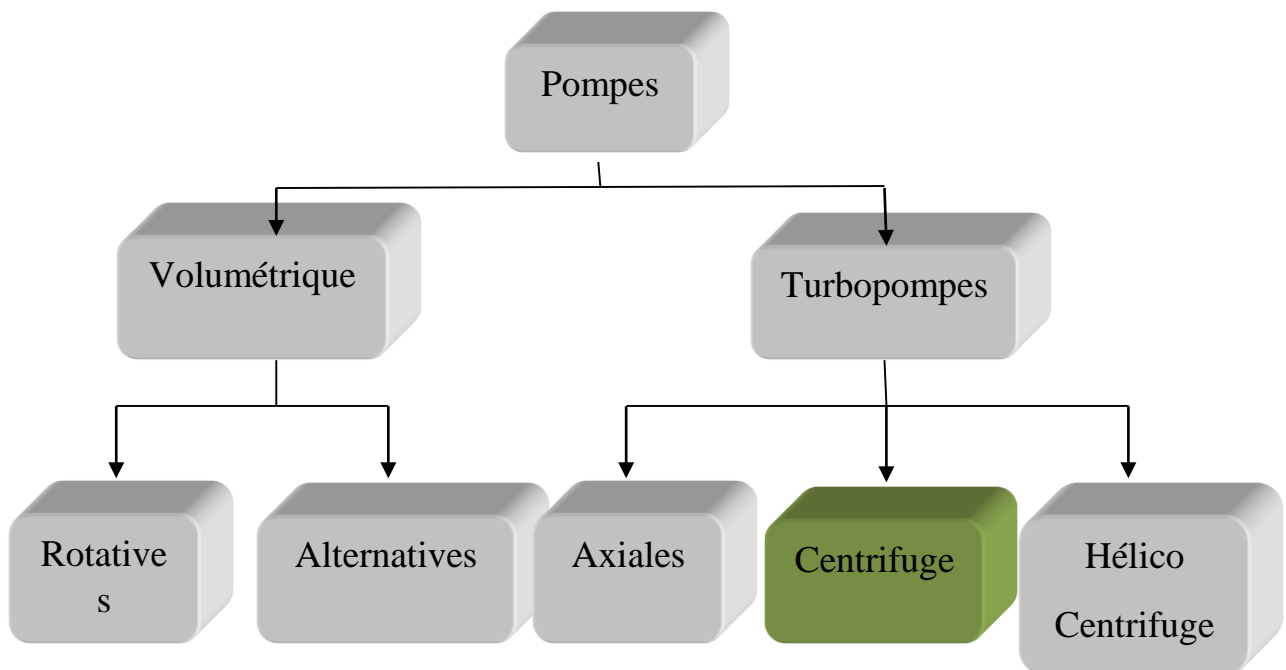
II.1 Introduction

Les pompes sont des machines hydrauliques qui servent à déplacer le liquide. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique. [9][10]

II.2 Généralités sur les pompes

Nous pouvons observer plusieurs types de pompes (Figure II-1). Les mouvements retransmis aux organes des pompes sont comme tous les mouvements mécaniques de deux grands types classés de la manière suivante :

1. Rotatif
2. Rectiligne (alternatif)



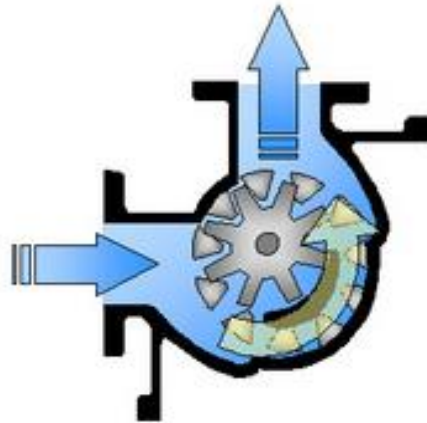
FigureII.1 : Classification générale des pompes.

II.2.1 Pompes volumétriques

Elles utilisent la variation de volume pour déplacer le fluide. Le rendement volumétrique est le rapport entre le volume engendré.

➤ **Pompe volumétriques rotatives**

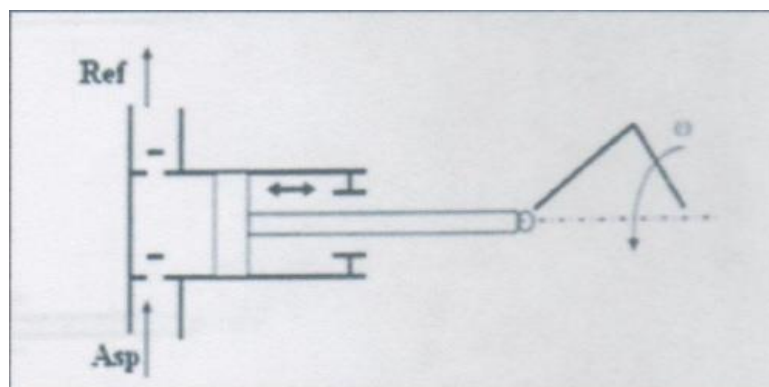
Les pompes volumétriques à engrenage sont munies de deux roues dentées. L'une des roues, entraînées par le moteur de commande, transmet le mouvement à l'autre : l'écoulement est intermittent dans les pompes à vis ou à engrenages hélicoïdaux, l'écoulement est plus régulier [11]



FigureII.2: Pompe volumétrique rotative

➤ **Pompes volumétriques alternatives**

Le principe de fonctionnement des pompes volumétriques alternatives (FigureII.3) est le déplacement du fluide dans un cylindre par l'effet du mouvement d'un piston qui glisse dedans, l'aspiration de fluide se fait dans le tuyau immergé.



FigureII.3 : Schéma de principe d'une pompe volumétrique alternative

II.2.2 Turbopompe

➤ Pompe rotative axiale

Le principe est proche de celui de l'hélice du bateau. Le déplacement du fluide est parallèle à l'axe de rotation. Elle trouve son application pour de grands débits sur de faibles dénivelés (faible différence de pression, plusieurs milliers de m^3/h) dans le domaine de l'eau (captage de l'eau potable), de l'industrie nucléaire (système de refroidissement des centrales nucléaires) ou accélérateurs gravitaires. [12]



FigureII.4 : Pompe rotative axiale.

➤ Pompe Hélico centrifuge

La roue composée de plusieurs aubes à double courbure dont les deux arêtes sont inclinées par rapport à l'axe de rotation. [12]

➤ **Pompe centrifuge**



Figure II.5 : une pompe centrifuge

Il s'agit d'une application concrète de la force centrifuge. Le principe utilisé est celui de la roue à aubes courbe. La roue est placée dans une enceinte (le corps de pompe) possédant deux ou plusieurs orifices, le premier dans l'axe de rotation (*aspiration*), le seconde se présente perpendiculaire à l'axe de rotation (*refoulement*). Le liquide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec celle-ci, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement. [15]

L'énergie de fluide est donc celle provenant de la force centrifuge.

Pour une même pompe, le débit varie :

- Proportionnellement à la vitesse de rotation,
- Avec la différence de pression entre l'entrée et la sortie ; plus celle-ci est élevée, plus le débit est faible,
- En fonction des caractéristiques du fluide, telle que la viscosité, la température, la densité.

Cette variation de débit est donnée par la courbe de fonctionnement de la pompe, indiquée par le fournisseur de celle-ci. La courbe indique le débit de la pompe centrifuge, qui est en fonction de la hauteur totale qu'elle engendre pour une vitesse de rotation donnée. Cette courbe est d'allure parabolique.

II.3 La pompe alimentaire

La pompe alimentaire (Figure II-6) est une pompe centrifuge multicellulaire, sert à refouler l'eau d'alimentation de la bache alimentaire vers la chaudière. Il existe trois pompes alimentaires par tranche de production. Chacune de ces pompes assure une alimentation d'eau de « 50% » du débit maximal nécessaire. [11]



Figure II.6 : La pompe alimentaire.

Chaque pompe est équipée de deux filtres, dont l'un est installé dans la pompe nourricière et l'autre est installé entre la pompe nourricière et la pompe principale. Pour atteindre une vitesse très élevée de la circulation d'eau, on ajoute un multiplicateur, ce dernier est installé sur l'arbre de la pompe. Le multiplicateur est monté à côté du moteur. Le coupleur hydraulique assure la transmission du couple à la pompe alimentaire en introduisant une variation de vitesse en fonction du débit nécessaire au refoulement de la pompe.

II.3.3 Les conditions de fonctionnement des pompes alimentaires

Les conditions de fonctionnement des pompes alimentaires sont :

- Aspirer de l'eau chaude,
- Refouler l'eau à une pression élevée,

- Assurent un débit d'eau important,
- Les pompes alimentaires doivent avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences de manque d'eau dans le générateur de vapeur.

Tableau II-1 : Caractéristiques techniques de la pompe alimentaire

Type	Pompe centrifuge à 6 étages
Fluide refoulé	Eau d'alimentation
T° de L'eau	151,4°C
Débit	261,6 T /h
Pression de l'aspiration	10,5 bars
Pression de refoulement	177 bars
Longueur totale	8513 mm
Masse de la pompe	2 tonnes
Vitesse de rotation	5140 tr/mn
Puissance absorbée	2320 kw
Poids spécifique de l'eau pompée	0.915 kg/dm ³

II.3.4 Constitution de la pompe alimentaire

Les pompes alimentaires sont composées selon l'ordre de placement sur le site (Figure II.7) d'une pompe nourricière, moteur asynchrone triphasé, un coupleur hydraulique et une pompe principale. L'ensemble à une longueur de 8513mm, et possède un poids de 2 tonnes.

a- La pompe nourricière

La pompe nourricière est une pompe centrifuge à un seul étage, elle sert à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 5 bars à 11 bars.

b- Le moteur électrique

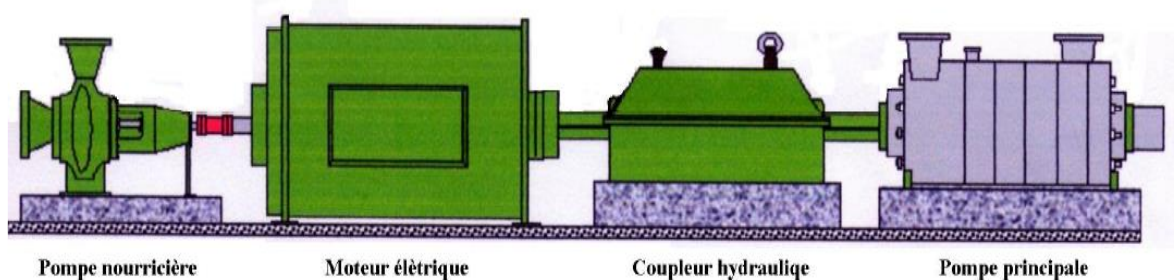
Le moteur électrique est une machine asynchrone triphasée d'une partie fixe (stator) et d'une partie mobile (rotor). Il a pour but de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

c- Le coupleur hydraulique

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

d- Pompe centrifuge multicellulaire (pompe principale)

Ces machines sont conçues pour livrer des pressions de refoulement élevées, à cet effet elles sont constituées par la mise en série dans l'enveloppe unique de plusieurs étages monocellulaires, la hauteur d'élévation peut atteindre 80 m avec un débit qui peut aller jusqu'à 145 kg/s. [17]



FigureII.7: Représentation du système de pompage

Chaque unité de production est équipée de trois pompes alimentaires identiques, au cours de fonctionnement normal deux pompes en service assurent 100% du débit d'eau nécessaire, la troisième pompe est en secours (présélectionnée).

La nomenclature de ces pompes est : 10RL12/22/32D001 en parle sur la tranche 10 et le RL c'est la nomenclature de circuit eau d'alimentation. 12 /22/32 c'est l'ordonnancement de ces pompes sur le site.

- La marque de ses pompes est « HALBERG »

II.3.5 Graissage des pompes alimentaires

Les systèmes de graissage comprennent deux pompes d'huile, la première est motorisée et l'autre est attelée à l'arbre du variateur de vitesse.

Les pompes d'huile de graissage sont mises en service pour le graissage des paliers des pompes principales et des pompes nourricières et cela avant la mise en service des pompes alimentaires.

Avant d'arriver aux paliers cette huile doit passer par les réfrigérants d'huile et les filtres.

A une vitesse supérieure de « 2800 tr/mn » les pompes attelées s'amorcent et assurent le graissage tandis que celles qui sont motorisées s'arrête automatiquement.

La lubrification garnitures mécaniques de la pompe principale

Le système de lubrification des garnitures mécaniques de la pompe principale est assuré par l'eau déminéralisée du circuit d'eau entraînée par la pompe.

Le refroidissement de l'huile de graissage

L'huile de graissage est refroidie par l'eau du circuit de refroidissement à travers des réfrigérantes tubulaires.

II.3.6 Principe de fonctionnement

Les pompes alimentaires aspirent l'eau de la bêche alimentaire pour la 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 177 bars.

II.3.7 La codification

La codification et la nomenclature sont des moyens qui nous permettent d'organiser un système, définir et localiser un matériel dans une entreprise.

Il existe deux types de codification suivant le découpage du matériel :

➤ Codification d'un matériel mobile

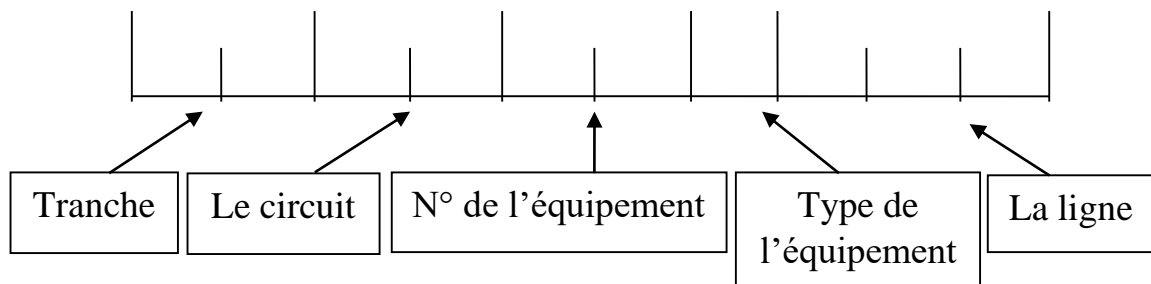
La nomenclature du matériel se compose en deux parties :

- La première partie donne la liste du matériel classé par famille, constructeur, type et numéro dans type.
- La deuxième partie donne la liste du matériel classé par atelier ou par groupe de production.

➤ **Codification d'un matériel fixe**

La codification d'un tel matériel est présenté comme suit :

- Un code de deux chiffres pour le groupe de production (A.P).
- Un code de deux lettres pour le circuit (C.E).
- Un code de deux chiffres pour numéro de l'équipement (U.I).
- Une lettre pour désigner le type de l'équipement.



FigureII.8 : Codification d'un matériel.

➤ **La codification retenue :**

La pompe alimentaire 40RL12D001 assure une fonction permanente donc la codification retenue est celle d'un matériel fixe. [19]

CHAPITRE III
ETUDE MECANIQUE ET
HYDRAULIQUE DE LA POMPE
ALIMENTAIRE

Chapitre III ETUDE MECANIQUE ET HYDRAULIQUE DE LA POMPE ALIMENTAIRE

III.1 Introduction

La mécanique et l'hydraulique sont des branches de la physique. L'objet de la mécanique est l'étude du mouvement, des déformations ou des états d'équilibre des systèmes physiques d'une part. Le but de l'étude mécanique non seulement la connaissance des organes mais aussi à déterminer les points essentiels qui nous facilite d'effectuer une intervention rapide et efficace. D'autre part, l'hydraulique étudie la circulation des liquides sous pression, principalement l'eau ou huile. Nous allons utiliser ces deux disciplines afin d'étudier la pompe alimentaire. [19]

III.2 Dessin d'ensemble de la pompe

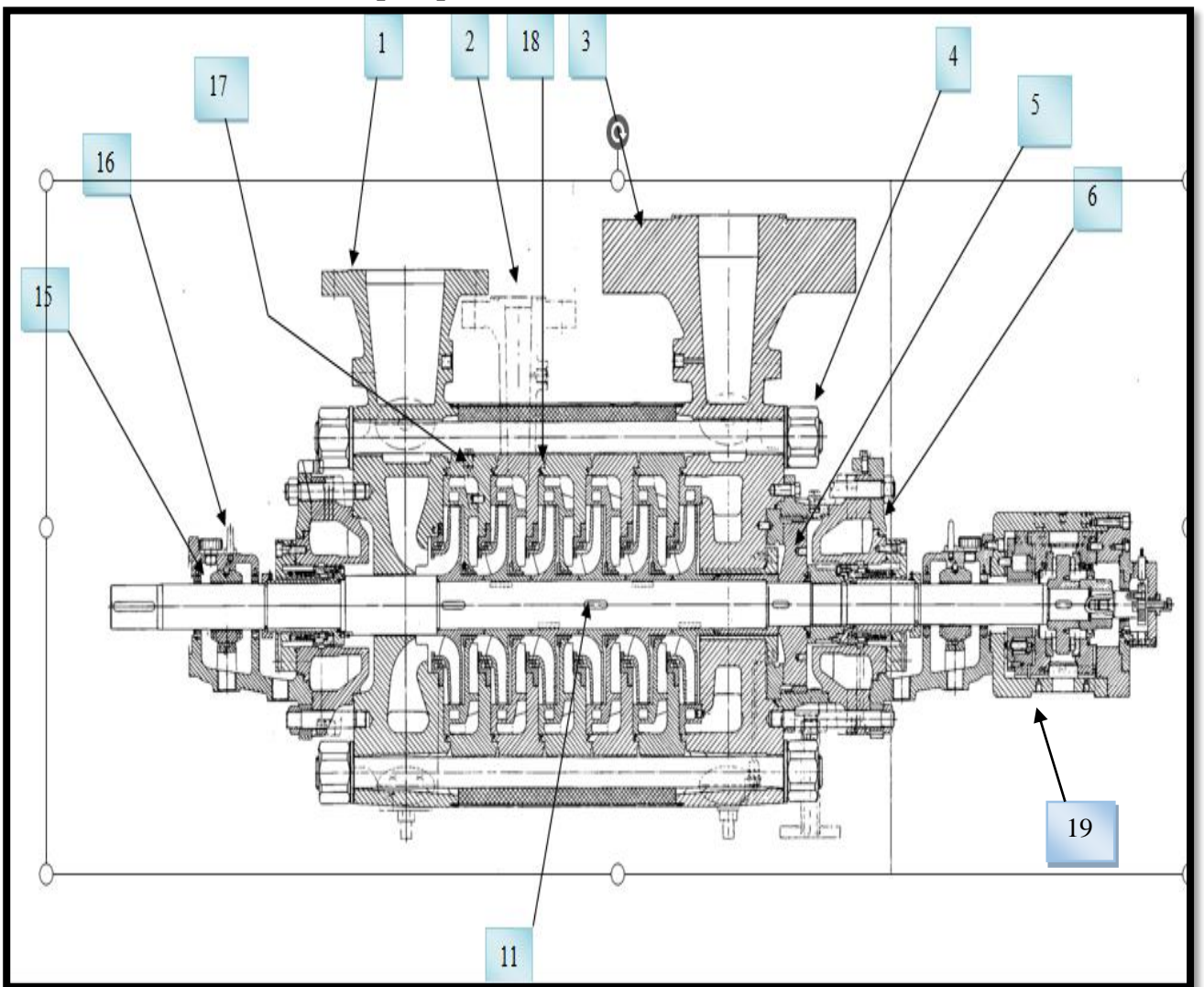


Figure III.1: Dessin d'ensemble de la pompe

Tableau 0I-2 : Nomenclature de la pompe alimentaire.

Repère	Désignation	Quantité
1	Corps de l'aspiration	01
2	soutirage	01
3	Corps de refoulement	01
4	Vis de serrage	08
5	Chemise d'arbre	02
6	Garniture mécanique	02
7	Transmetteur de vitesse	01
8	Ressort	04
9	Bague d'usure	02
10	Disque d'équilibrage	02
11	Clavette	05
12	Les roues	06
13	Palier lisse	02
14	L'arbre	01
15	Bague labyrinthe	01
16	Anneau de levage	02
17	Corps d'étage	06
18	Joint torique	06
19	Roulement	01

III.3 La Chaîne cinématique

Sur la figure suivante est représentée la chaîne cinématique de la pompe alimentaire :

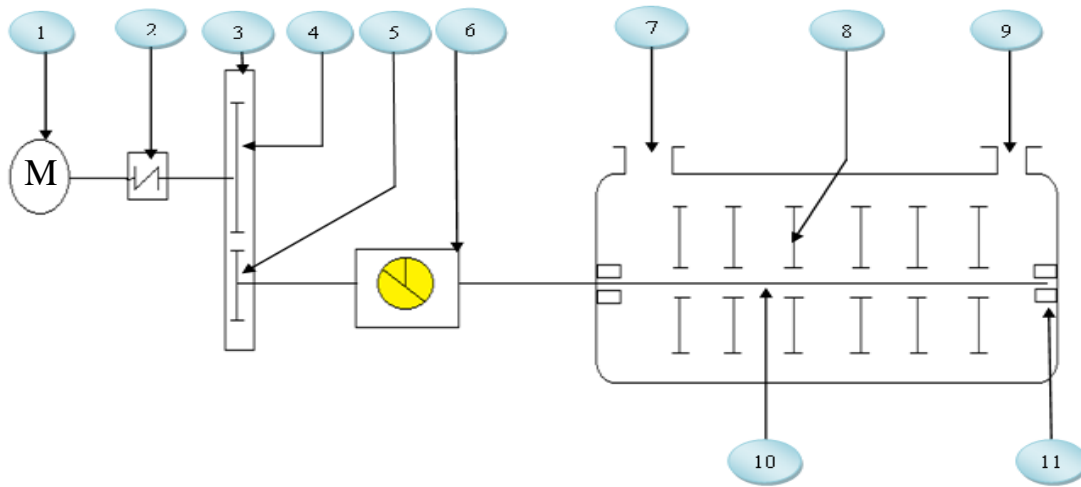


Figure III.2 : Chaîne cinématique de la pompe alimentaire.

Tableau 0-3 : Nomenclature de la chaîne cinématique

Repère	Désignation
1	Moteur électrique
2	Accouplement rigide
3	Multiplicateur
4	Roue dentée d'entrée
5	Roue dentée de sortie
6	Coupleur hydraulique
7	Corps d'aspiration
8	Impulseur (roue)
9	Corps de refoulement
10	Arbre de la pompe
11	Palier butée

➤ **Principe de fonctionnement de la chaîne cinématique**

Le moteur donne le mouvement au multiplicateur par l'intermédiaire d'un accouplement rigide, afin d'amplifier la vitesse, à l'aide de deux roues de diamètre l'une à l'entrée et l'autre à la sortie, à son tour le multiplicateur transmet la vitesse vers le coupleur hydraulique ce dernier transmet le mouvement à l'arbre de la pompe qui va entraîner les roues de la pompe.

III.4 Description et fonctionnement du système de pompage

Dans la centrale thermique à vapeur, la production du couple moteur par la turbine est obtenue par la vapeur provenant de la chaudière et par principe la chaudière est une génératrice de vapeur qui permet de transformer l'eau de l'état liquide (l'eau de pompage) à l'état vapeur saturé, donc par conséquence dans une centrale thermique à vapeur il est nécessaire d'être équipé d'un système de pompage d'eau.

Le système de pompage d'eau est défini par l'ensemble de tous les mécanismes (pompe, moteur...) qui sert à alimenter la chaudière (ballon chaudière) en eau à partir de la bêche alimentaire et traverse les deux surchauffeurs HP1 et HP2.

III.4.1 Principe de fonctionnement

La pompe nourricière est une pompe centrifuge à un seul étage, elle sert à augmenter la pression de l'eau d'alimentation (bêche alimentaire), de 5 bars à 11 bars. A la sortie de cette pompe, le fluide est canalisé dans un diffuseur, vers la pompe alimentaire et ce dernier est une pompe centrifuge multicellulaire à six (6) étages avec aspiration radiale et refoulement radial.

L'eau refoulée est canalisée en deux réchauffeurs HP1 et HP2. [30]

Le coupleur hydraulique

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



Figure III.3 : Coupleur hydraulique

III.4.1.1 Description

Les coupleurs réglables unissent la transmission mécanique (multiplicateur) et le coupleur réglable dans un seul carter. la vitesse de la machine menante est transmis à la vitesse primaire requise au coupleur hydraulique par la multiplication de l'engrenage. Le carter en fonte grise est vissé à la fondation.

La servocommande pour le déplacement hydraulique de l'écope est montée au carter du coupleur et les instruments de surveillance sont bien disposés sur un tableau d'instrumentation fixe au carter. [22]

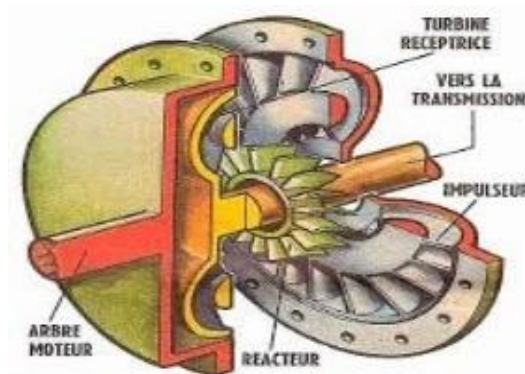


Figure III.4 : Schéma du coupleur hydraulique.

III.4.1.2 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.
- [22]

III.4.3. Composition du coupleur

a) 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.

b) Rotor

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

c) 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.

d) Logement

Les arbres d'entrées, primaire et secondaire du coupleur sont logés dans les paliers lisses, pour faciliter le montage. [30]

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.

e) Servocommande

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

f) 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.

g) 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 la marche par inertie ainsi qu'en cas de panne.

h) 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.

i) 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 au moins deux réfrigérant dont un seul est en service.

j) 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.

k) Limiteur de pression

Après avoir démonté le bouchon fileté, le limiteur de pression peut être ajusté 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.

l) 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 de coupleur hydraulique

Tableau 0-1 : Les caractéristiques techniques du coupleur hydraulique

Vitesse de moteur d'entraînement	$N = 1490 \text{ tr/mn}$
Rapport d'engrenage	$R = 3.6$
Vitesse d'entrée	$N = 5380 \text{ tr/mn}$
Glissement a plein charge	$G = 2.7\%$
Vitesse de sortie	$N = 5200 \text{ tr/mn}$
Volume de remplissage de bac d'huile	$V = 600 \text{ L}$
Quantité d'huile de graissage nécessaire aux groupes indépendant	$Q = 50 \text{ L/mn}$

III.4.1.4 Circuit d'huile de fonctionnement et de graissage

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 a 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.

En cas de panne continue, le moteur principal doit être arrêté.

➤ Remarque

Pour l'alimentation en huile de fonctionnement et de graissage en utilise la même huile.

Débit d'huile = quantité d'huile nécessaire au circuit d'huile de graissage + quantité d'huile alimentée au circuit d'huile de fonctionnement.

III.4.1.5 Réglage de la vitesse de sortie

a) 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. [25]

b) 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.

Chapitre IV
ÉTUDE DE FIABILITE DES
POMPES ALIMENTAIRES

Chapitre IV ÉTUDE DE FIABILITE DES POMPES ALIMENTAIRES

Introduction

La fiabilité s'intéresse à tout ce qui est nécessaire de 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.

La Fiabilité

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 donnée.

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. [17]

Caractéristiques de la fiabilité

On a 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. Et 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 $f(t)$.

Taux de défaillance

L'indicateur principal de la fiabilité est le taux de défaillance $\lambda(t)$ qu'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. [18]

La courbe en baignoire

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

Représentation graphique de la courbe en baignoire

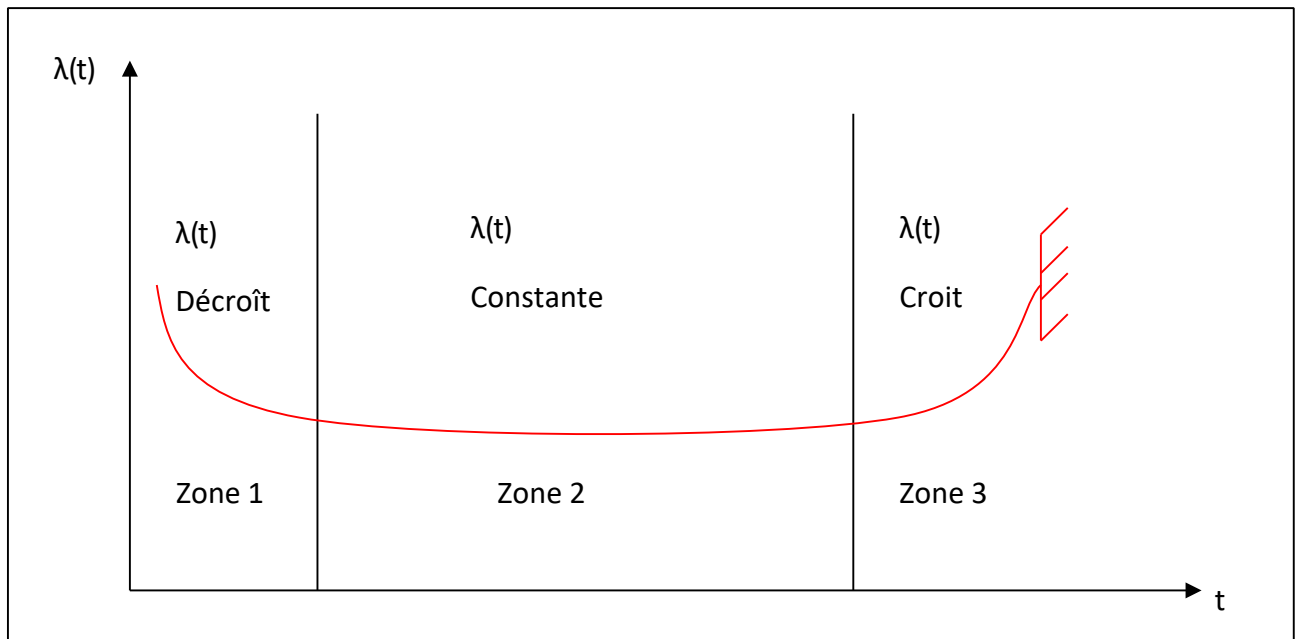


Figure IV.1: Courbe en baignoire

Interprétation de la courbe

On distingue trois périodes de vie :

- **Zone 1 (Jeunesse) 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 maturité ou vie utile,** les pannes paraissent dues au hasard. Le taux d'avarie reste sensiblement constant et faible. Les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, par des causes diverses.
- **Zone 3 (Vieillesse) Un mode de défaillance prédominant,** généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant. [18]

A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit. La détermination de θ (seuil de réforme), est obtenue à partir de critères techno-économiques.

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. [20]

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 .

$$MTBF = E(T_f) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad \text{Équation 0-1}$$

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 :

$$F(i) = \frac{i}{N} \quad \text{Equation 0-2}$$

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

$$F(i) = \frac{i}{N+1} \quad \text{Equation 0-3}$$

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

$$F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \quad \text{Equation 0-4}$$

IV.1.1 Le modèle de Weibull

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 permettent d'estimer la fonction de répartition $F(t)$ correspondante à chaque instant t . [19]

b) 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 répartition

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

$$\text{Donc : } R(t) = e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \quad \text{Équation 0-5}$$

La fonction de défaillance cumulée

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

$$\text{Donc : } F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \quad \text{Équation 0-6}$$

Densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \quad \text{Équation 0-7}$$

L'expression de taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{Équation 0-8}$$

Le taux de défaillance est une fonction dépendante du temps, avec une allure liée au paramètre de forme β . [25]

- Si $\beta=1$: $\lambda(t) = \frac{1}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{1-1} \longrightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta}$ Le taux de défaillance est 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

IV.2 La maintenabilité

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 [3].

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).

$$MTTR = \Sigma TTR / N \quad \text{Équation 0-9}$$

Où N : Nombre des pannes.

III.4 La disponibilité

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 [3].

En probabilité : c'est la probabilité de bon fonctionnement de ce dispositif à l'instant t.

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 :

$$\text{Le taux de défaillance : } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Le taux de réparation : $\mu = \frac{1}{MTTR}$

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda},$$

$$\text{Ou } D = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad \text{Équation 0-10}$$

IV.3 Calcul de fiabilité, disponibilité et maintenabilité

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 du ventilateur de soufflage [2][3].

IV.3.2 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.

IV.3.3 Diagramme d'ALLEN PLAIT

Ce graphique à échelle fonctionnelle est gradué de la façon suivante :

Il comporte quatre axes :

- Sur l'axe (A) : on trouve le temps.
- Sur l'axe (B) : on trouve F(t) en %.
- Sur l'axe (a) : on trouve ln(t).

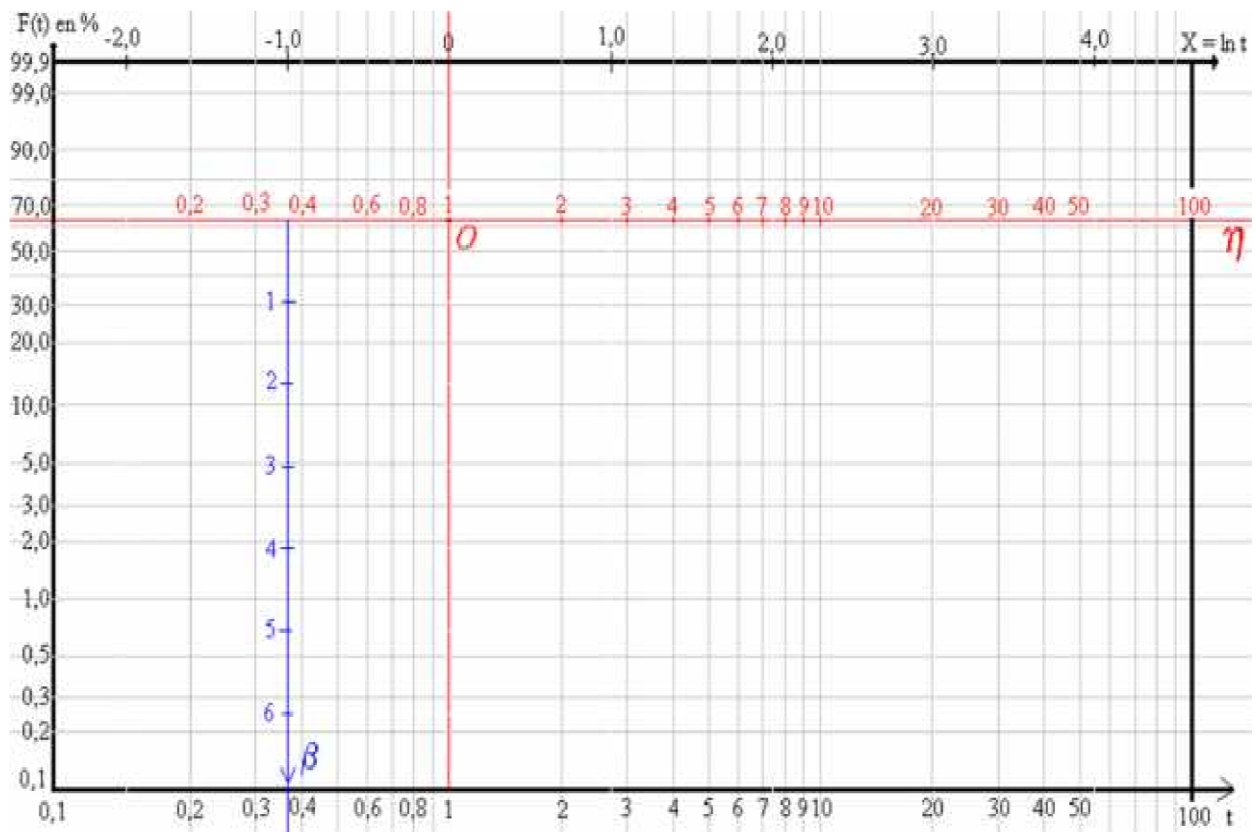


Figure IV.2 : Diagramme d'ALLEN PLAIT.

Etapes de calcul

- 1-Préparation des données,
- 2-Tracé des nuages des points ($F(i), t$),
- 3-Tracé de la courbe de régression du nuage (D_1) (on espère avoir une droite),
- 4-Translation de l'adroite (D_1) à la droite de passage par l'axe de plan (X, Y).

Calcul de β : Il représente la pente de la droite (D_1) de régression des nuages des points ($F(i), t$).

Pour l'obtenir, on fait passer une droite (D_2) parallèle à la droite (D_1) et coupe l'axe A au point 1 et on lit la valeur de β sur l'axe (b).

Calcul de η : Il se lit à l'intersection de la droite (D_1) avec l'axe (A),

Ce graphe suivant représente le nuage des points de TBF en fonction de $F(t)$. [13]

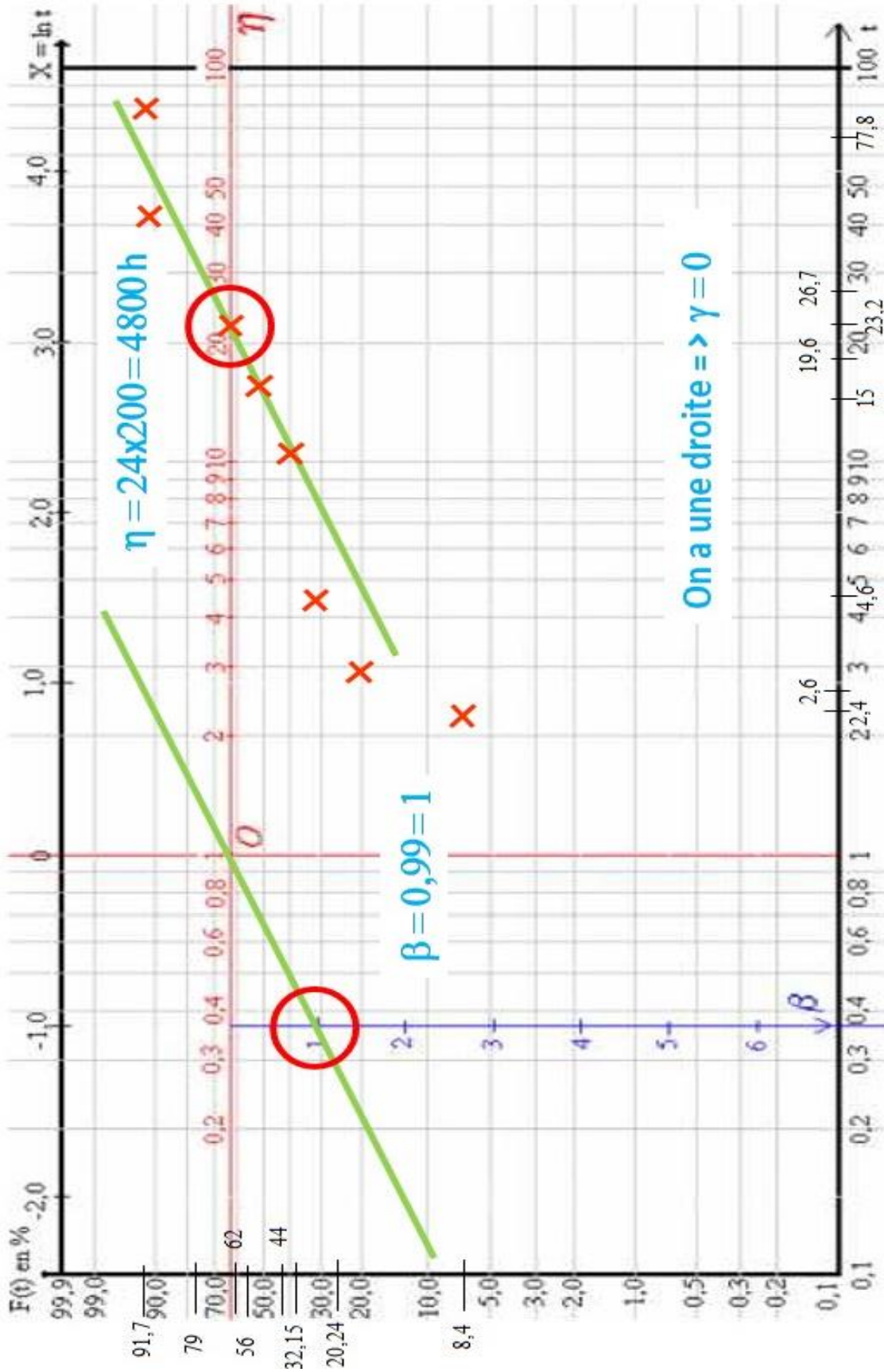
IV.4 Application numérique :

IV.4.4 Fiabilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001

Les données nécessaires pour notre étude ont été obtenues essentiellement à travers des documents contenant les informations : des dates de début et fin des pannes, des temps de réparation(TTR), des temps de bon fonctionnement(TBF).

Tableau 0-1: Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t)=i / n+1$

TBF(h)	Effectif ni	Rang $=\sum ni$	f(t) %	F(t)%	f(t)-F(t) %	R(t) %	$\lambda(t).10^{-4}$
474	1	1	8.4	0.09	1.78	0.905	2.33
525	1	2	20.24	0.304	1.67	0.896	2.33
911	1	3	32.15	0.173	1.54	0.827	2.33
2997	1	4	44	0.465	0.64	0.535	2.33
3910	1	5	56	0.558	0.35	0.442	2.33
4642	1	6	68	0.620	0.17	0.380	2.33
5341	1	7	79.8	0.672	0.01	0.328	2.33
15561	1	8	91.7	0.961	0.89	0.036	2.33



Les TBF sont divisés sur 200

Détermination des paramètres de Weibull

Nous portons sur le papier de Weibull le nuage de point (TBF, F(i)), nous obtenons un nuage de point, représenté par une droite D1.

Donc : $\gamma = 0$.

-la D1 coupe l'axe des abscisses A en $\eta = 4800$;

-la D2//D1 coupe l'axe b en $\beta = 1$;

Paramètre de Weibull

$\gamma = 0, \eta = 4800$ et $\beta = 1$

➤ **Recherche de la MTBF : (moyenne de temps de bon fonctionnement)**

Loi de Weibull : $MTBF = A \eta + \gamma$

Usage des tables numériques (Voir Annexe). Pour « $\beta = 1$ » on aura : $A = 1$ et $B = 1$

$$MTBF = 1 * 4800 + 0 \longrightarrow MTBF = 4800 \text{ heures}$$

➤ **Recherche de l'écart type 'δ'**

$$\delta = B \eta$$

$$\delta = 1 * 4800 \longrightarrow \delta = 4800 \text{ heures}$$

Modèle mathématique

- Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow R(t) = e - \left(\frac{t-0}{4800} \right)^1$$

- Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-0}{4800} \right)^1$$

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \lambda(t) = \frac{1}{4800} \left(\frac{t}{4800}\right)^0 \quad \text{Equation IV-11}$$

Teste de Kolmogorov Smirnov

Pour un intervalle de confiance de $\alpha=5\%$ et $N= 8$ (voir table de Kolmogorov Smirnov (annexe 2))

$$P_{(8,5\%)} = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.48 \quad \text{Equation IV-12}$$

$$\text{Max}|f(t) - F(t)| = 0.148$$

D'où : $\text{Max}|f(t) - F(t)| < P$

On accepte l'hypothèse «le modèle théorique ajuste le modèle expérimentale au seuil de $\alpha=5\%$ »

IV.4.5 Résultats de l'étude de fiabilité

Tableau 0-2 : Résultats de l'étude de fiabilité

β	MTBF(h)	R(MTBF) [%]	F(MTBF) [%]	λ [MTBF]panne/heure
1	4800	36	64	2.08×10^{-4}

L'étude de fiabilité nous permet de connaitre :

- a- L'état de l'équipement en fonction de β .
- b- le comportement du matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$ et $\lambda(t)$.

D'après la valeur de β , notre unité est en période de normale. Avec $\mathbf{B} = \mathbf{1}$

Représentation graphique de la fonction de fiabilité $R(t)$

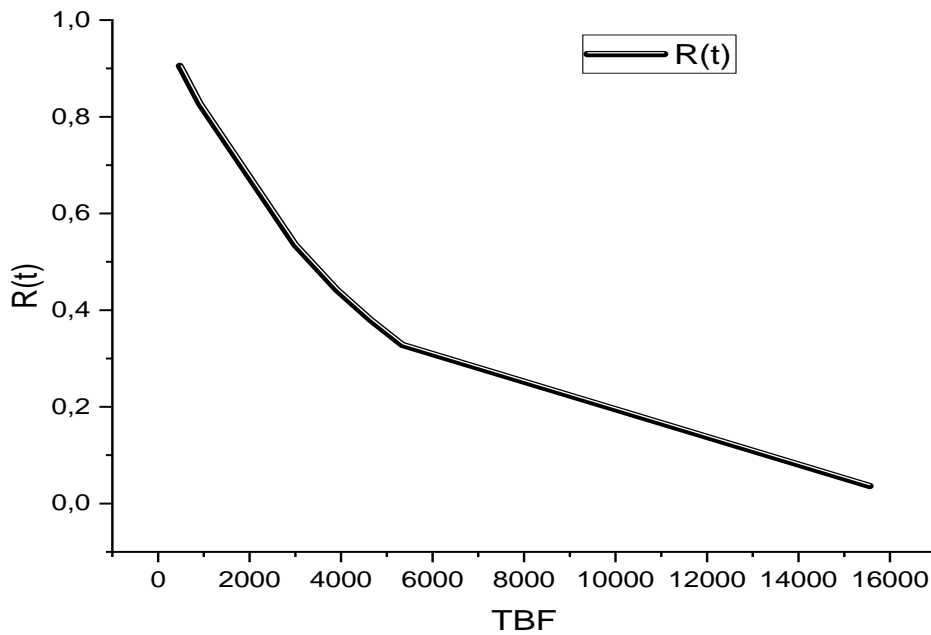


Figure 0.3: Représentation de la fonction de fiabilité

Représentation graphique du taux de défaillance $\lambda(t) \cdot 10^{-4}$

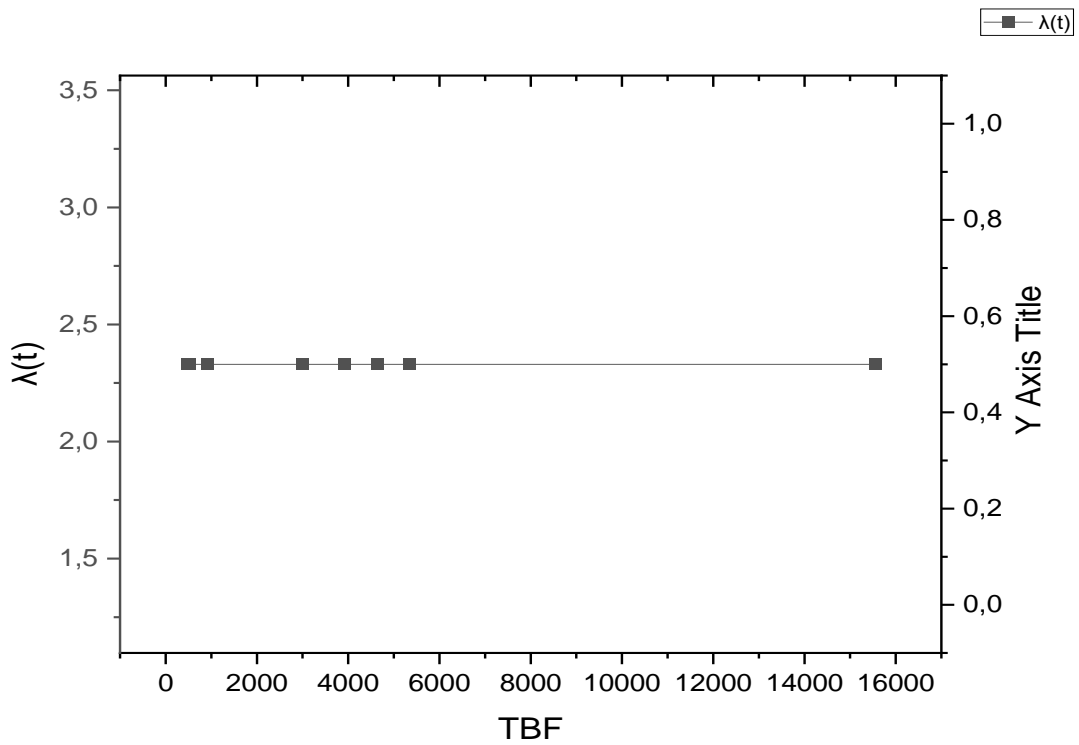


Figure 0.4: Taux de défaillance

IV.4.6 Interprétation

- Durant les cinq ans (2017, 2018, 2019, 2020, 2021), la pompe alimentaire 40RL12D001a fonctionné avec :
- Une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à 4800 heures.
- Une fiabilité 36% ce qui signifie qu'il y a 36 chances sur 100 pour que la pompe fonctionne sans défaillances durant cette même moyenne de temps de bon fonctionnement.
- Une probabilité d'apparition des pannes, égal à 64% ce qui signifie qu'il y a 64 possibilités sur 100 pour que l'unité tombe en panne pendant la même durée.
- Une probabilité de 36 pannes chaque 10000 heure. [26]

IV.4.7 Maintenabilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001

Calcul de la moyenne technique de temps de réparation MTTR

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad \text{Equation IV-13}$$

Avec $\sum TTR$: Somme des temps techniques de réparation

N : nombre de panne.

$$MTTR = \frac{256}{8} \rightarrow$$

MTTR =32 heures

IV.4.8 Disponibilité de la Pompe alimentaire 40RL12D001

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Equation IV-14}$$

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement.

MTTR : moyenne des temps techniques de réparation.

$$D = \frac{4800}{4800 + 32} \rightarrow D = 0,993$$

D=99,3%

Calcul de l'indisponibilité I

$$I = 1 - D \rightarrow I = 1 - 0,993 = 0,007$$

I=0,7%

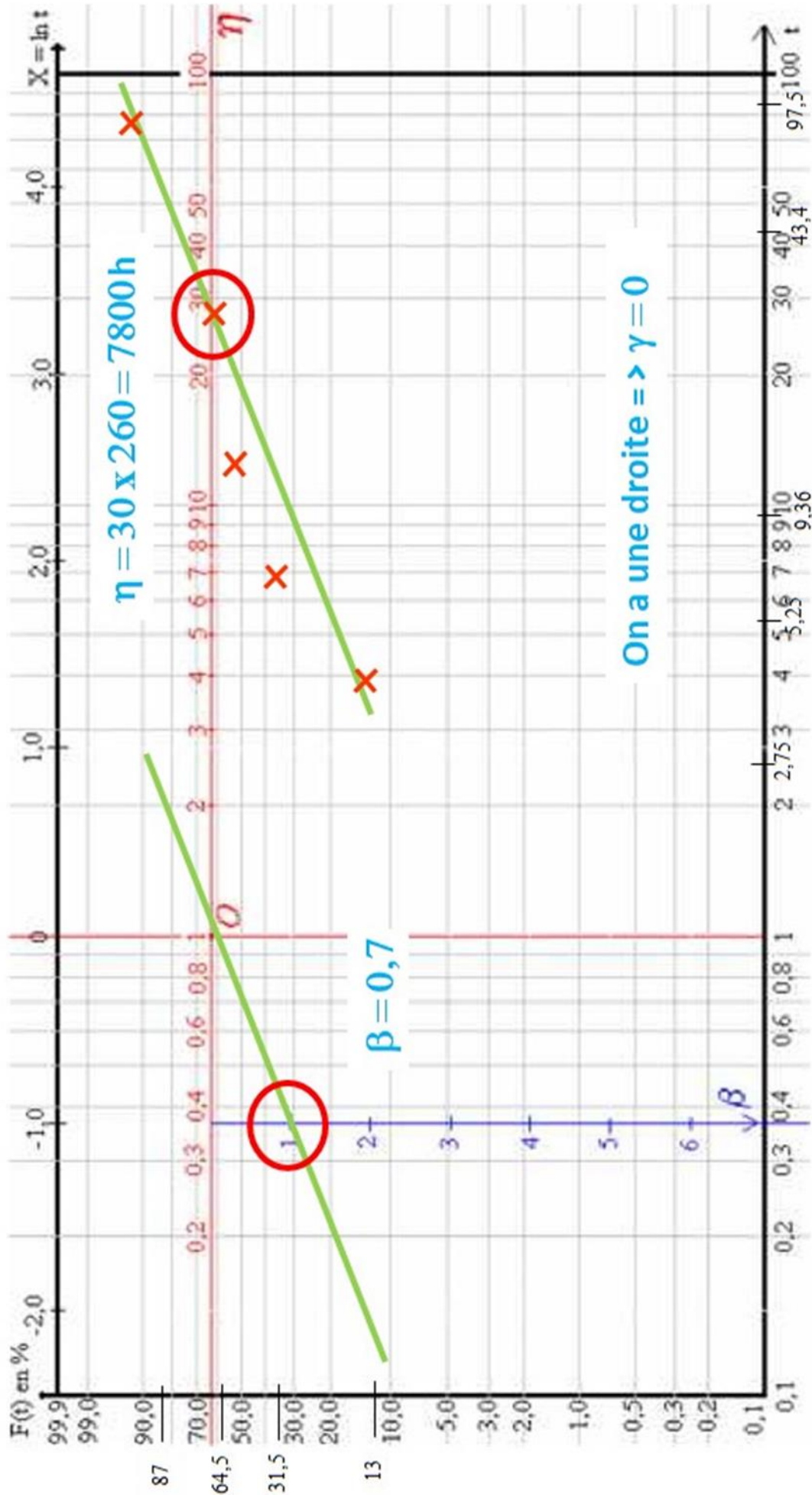
Interprétation

Les résultats de calcul de disponibilité (D) montre que sur la période de cinq ans, la pompe alimentaire à eu une disponibilité de 99.3% pour une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à **4800 heures**.

Et pour améliorer la disponibilité, nous avons proposé une méthode AMDEC pour mettre à terme les défaillances, car ce sont ces dernières qui sont souvent à l'origine de l'indisponibilité.

IV.4.9 Fiabilité de la Pompe alimentaire 40RL22D001*Tableau 0-3: Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t)=i/n+1$*

TBF(h)	Effectif ni	Rang = $\sum ni$	f(t) %	F(t)%	f(t)-F(t) %	R(t) %	$\lambda(t).10^{-4}$
717	1	1	12.97	0.172	1.33	0.828	1.83
1367	1	2	31.5	0.256	0.86	0.744	1.51
2434	1	3	50	0.358	0.45	0.642	1.27
11278	1	4	68.5	0.726	0.50	0.274	0.80
25325	1	5	87	0.898	0.83	0.102	0.63



Les TBF sont divisés sur 260

Détermination des paramètres de Weibull

Nous portons sur le papier de Weibull le nuage de point (TBF, F(i)) nous obtenons un nuage de point, représenté par une droite D1.

Donc : $\gamma = 0$.

-la D1 coupe l'axe des abscisses A en $\eta = 7800$;

-la D2//D1 coupe l'axe b en $\beta = 0.7$;

Paramètre de Weibull

$\gamma = 0$, $\eta = 7800$ et $\beta = 0.7$

➤ **Recherche de MTBF : (moyenne de temps de bon fonctionnement)**

Loi de Weibull : $MTBF = A \eta + \gamma$

Usage des tables numériques (Voir annexe 1). Pour « $\beta = 0.7$ » on aura : $A = 1.2638$ et $B = 1.85$

$$MTBF = 1.2638 * 7800 + 0 \longrightarrow MTBF = 9857.64 \text{ heures}$$

➤ **Recherche de l'écart type 'δ'**

$$\delta = B \eta$$

$$\delta = 1.85 * 7800 \longrightarrow \delta = 14430 \text{ heures}$$

Modèle mathématique

- Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow R(t) = e - \left(\frac{t - 0}{7800} \right)^{0.7}$$

- Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow F(t) = 1 - e - \left(\frac{t - 0}{7800} \right)^{0.7}$$

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \longrightarrow \lambda(t) = \frac{0.7}{7800} \left(\frac{t}{7800} \right)^{-0.3}$$

Teste de Kolmogorov Smirnov

Pour un intervalle de confiance de $\alpha=5\%$ et $N= 5$ (voir table de Kolmogorov Smirnov (annexe)

$$P_{(5.5\%)} = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.16$$

$$\text{Max}|f(t) - F(t)|=0.142$$

$$\text{D'où :Max}|f(t) - F(t)| < P$$

On accepte l'hypothèse «le modèle théorique ajuste le modèle expérimentale au seuil de $\alpha=5\%$ »

IV.4.10 Résultats de l'étude de fiabilité

Tableau 0-4 : Résultats de l'étude de fiabilité

β	MTBF(h)	R(MTBF) [%]	F(MTBF) [%]	λ [MTBF]panne/heure
0.7	7800	30	70	0.83×10^{-4}

IV.6.8 Interprétation

L'étude de fiabilité nous permet de connaitre :

- a- L'état de l'équipement en fonction de β .
- b- le comportement de matériel par la valeur de R(t), F(t) et $\lambda(t)$.

D'après la valeur de β , notre unités est en période de jeunesse. Avec $B=0.7 < 1$

Représentation graphique de la fonction de fiabilité R(t)

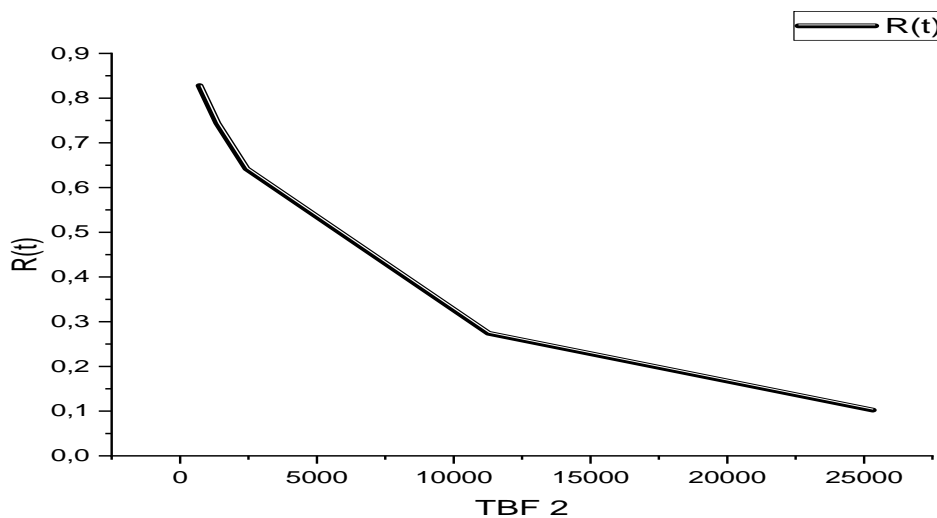


Figure IV-5 : Représentation de la fonction de fiabilité

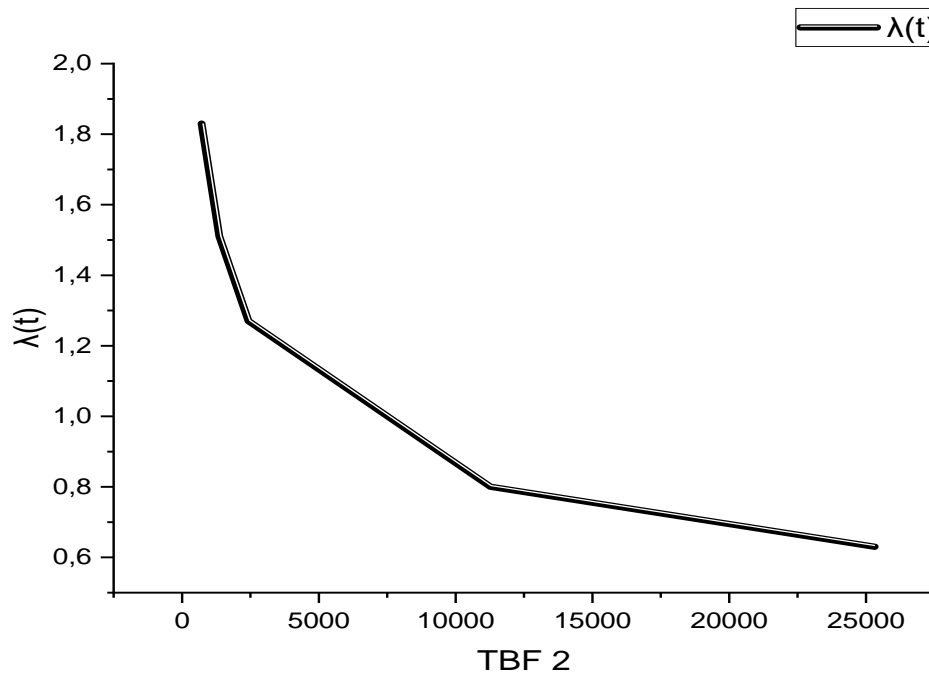
Représentation graphique du taux de défaillance $\lambda(t).10^{-4}$ 

Figure IV-6 : Taux de défaillance

- c- Durant les cinq ans (2017, 2018, 2019, 2020, 2021), la pompe alimentaire **40RL22D001** la fonctionné avec :
- d- Une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à 7800 heures.
- e- Une fiabilité 36% ce qui signifie qu'il y a 36 chance sur 100 pour que la pompe fonctionne sans défaillances durant cette même moyenne de bon fonctionnement.
- f- Une probabilité d'apparition des pannes, égal à 70% ce qui signifie qu'il y a 70 sur 100 pour que l'unité tombe en panne pendant la même durée.
- g- Une probabilité de 30 pannes chaque 10000 heures. [26]

IV.6.9 Maintenabilité de la pompe alimentaire 40RL22D001

Calcul de la moyenne technique de temps de réparation MTTR

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

Avec $\sum TTR$: Somme des temps technique de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = \frac{19}{5} \rightarrow$$

$$MTTR = 3,8 \text{ heures}$$

IV.6.10 Disponibilité de la pompe alimentaire 40RL22D001

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement.

MTTR : moyenne des temps techniques de réparation.

$$D = \frac{9857.74}{9857.74 + 3.8} \rightarrow D = 0,999$$

D=99,9%

Calcul de l'indisponibilité I

$$I = 1 - D \rightarrow I = 1 - 0,999 = 0,001$$

I=0,1%

Interprétation

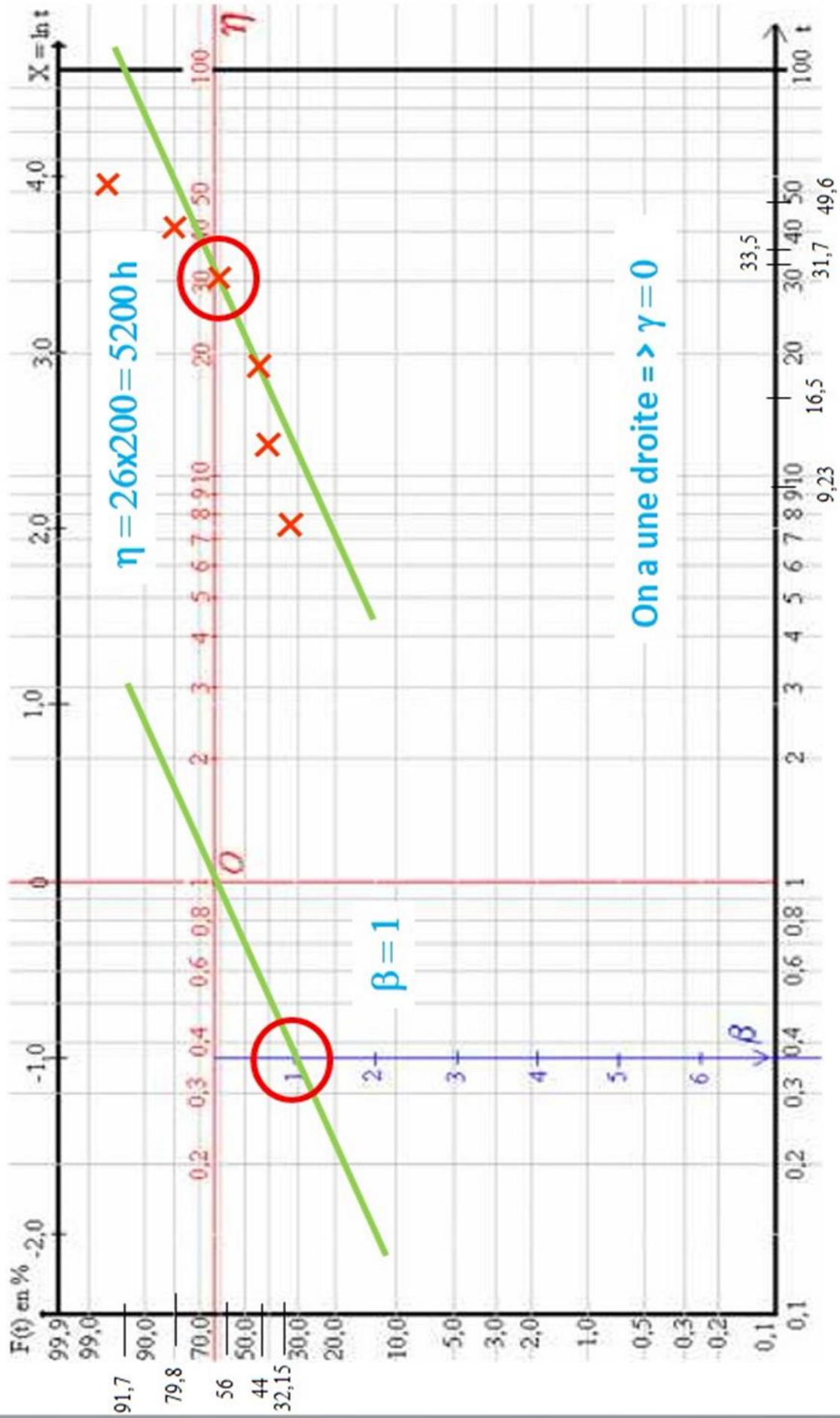
Les résultats de calcul de disponibilité (D) montre que sur les périodes de cinq ans, la pompe alimentaire à eu une disponibilité de 99.9% pour une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à **7800heures**.

Et pour améliorer la disponibilité la disponibilité, nous avons proposé une méthode AMDEC pour mettre à terme les défaillances, car ce sont ces dernières qui sont souvent à l'origine de l'indisponibilité.

IV.6.11 Fiabilité de la pompe alimentaire 40RL32D001

Tableau IV-5 : Classement des TBF (par ordre croissant) / $f(t) = i / n + 1$

TBF(h)	Effectif ni	Rang =Σni	f(t) %	F(t)%	f(t)-F(t) %	R(t) %	λ(t).10 ⁻⁴
1846	1	3	32.15	0.299	0.022	0.701	1.9
3286	1	4	44	0.469	0.029	0.531	1.9
6334	1	5	56	0.705	0.145	0.295	1.9
6717	1	6	68	0.726	0.046	0.274	1.9
9909	1	7	79.8	0.816	0.018	0.148	1.9
10557	1	8	91.7	0.869	0.048	0.131	1.9



Les TBF sont devisés sur 200

Détermination des paramètres de Weibull

Nous portons sur le papier de Weibull le nuage de point (TBF, F(i)) nous obtenons un nuage de points, représenté par une droite D1.

Donc : $\gamma = 0$.

-la D1 coupe l'axe des abscisses A en $\eta = 5200$;

-la D2//D1 coupe l'axe b en $\beta = 1$;

Paramètre de Weibull

$\gamma = 0$, $\eta = 5200$ et $\beta = 1$

➤ **Recherche de MTBF : (moyenne de temps de bon fonctionnement)**

Loi de Weibull : $MTBF = A \eta + \gamma$

Usage des tables numériques (Voir Annexe).

Pour « $\beta = 1$ » on aura : $A = 1$ et $B = 1$

$MTBF = 1 * 5200 + 0 \longrightarrow MTBF = 5200$ heures

➤ **Recherche de l'écart type 'δ'**

$$\delta = B \eta$$

$\delta = 1 * 2000 \longrightarrow \delta = 2000$ heures

Modèle mathématique

- Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow R(t) = e - \left(\frac{t-0}{5200} \right)^1$$

- Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \longrightarrow F(t) = 1 - e - \left(\frac{t-0}{5200} \right)^1$$

- Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \longrightarrow \lambda(t) = \frac{1}{5200} \left(\frac{t}{5200}\right)^0$$

Teste de Kolmogorov Smirnov

Pour un intervalle de confiance de $\alpha=5\%$; $N= 8$ (voir table de Kolmogorov Smirnov (annexe 2)

$$P_{(8,5\%)} = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.48$$

$$\text{Max}|f(t) - F(t)| = 0.181$$

$$\text{D'où : Max}|f(t) - F(t)| < P$$

On accepte l'hypothèse «le modèle théorique ajuste le modèle expérimentale au seuil de $\alpha=5\%$ »

Résultats de l'étude de fiabilité

Tableau IV-6 : Résultats de l'étude de fiabilité

β	MTBF(h)	R(MTBF) [%]	F(MTBF) [%]	λ [MTBF]panne/heure
1	5200	36.7	63.3	1.92×10^{-4}

L'étude de fiabilité nous permet de connaitre :

- a- L'état de l'équipement en fonction de β .
- b- le comportement de matériel par la valeur de $R(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$.

D'après la valeur de β , notre unité est en période de jeunesse. **B=1**

Représentation graphique de la fonction de fiabilité $R(t)$

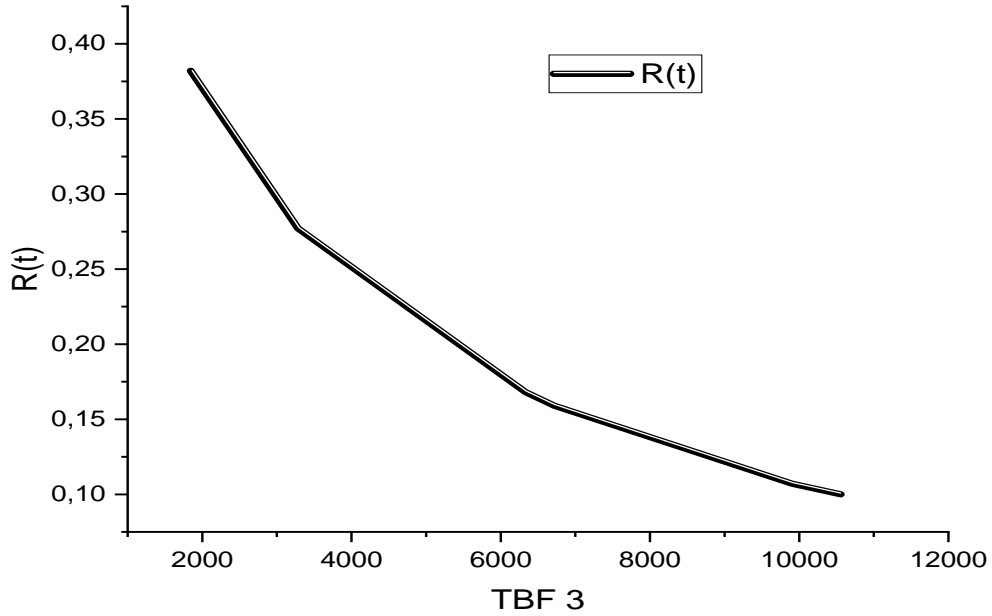


Figure IV-7 : Représentation de la fonction de fiabilité

Représentation graphique du taux de défaillance $\lambda(t) \cdot 10^{-4}$

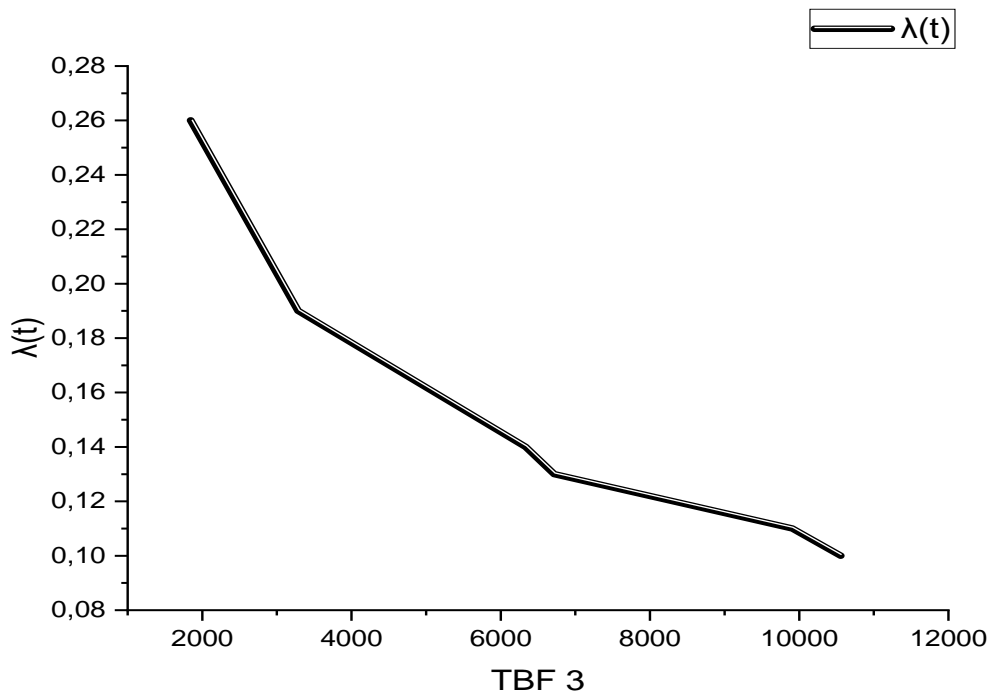


Figure IV-8 : Taux de défaillance

- c- Durant les cinq ans (2017, 2018, 2019, 2020, 2021), la pompe alimentaire 40RL32D001 a fonctionné avec :
- d- Une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à 4000 heures.
- e- Une fiabilité 36.7% ce qui signifie qu'il y a 36 chance sur 100 pour que la pompe fonctionne sans défaillances durant cette même moyenne de temps de bon fonctionnement.
- f- Une probabilité d'apparition des pannes égal à 63.3% ce qui signifie qu'il y a 63 sur 100 pour que l'unité tombe en panne pendant la même durée.
- g- Une probabilité de 36 pannes chaque 10000 heures.

IV.6.12 Maintenabilité de la pompe alimentaire 40RL32D001

Calcul de la moyenne technique de temps de réparation MTTR

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

$\sum TTR$: Somme des temps technique de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = \frac{21}{8} \rightarrow \boxed{MTTR = 2,6 \text{ heures}}$$

IV.6.13 Disponibilité de la pompe alimentaire 40RL32D001

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement.

MTTR : moyenne des temps techniques de réparation.

$$D = \frac{5200}{5200 + 2.6} \rightarrow D = 0,999$$

$$\boxed{D = 99,9\%}$$

Calcul de l'indisponibilité I

$$I = 1 - D \rightarrow I = 1 - 0,999 = 0,001$$

$$\boxed{I = 0,1\%}$$

Interprétation

Les résultats de calcul de disponibilité (D) montre que sur les périodes de cinq ans, la pompe alimentaire à eu une disponibilité de 99.9% pour une moyenne de temps de bon fonctionnement égal à **5200heures**.

Et pour améliorer la disponibilité la disponibilité, nous avons proposé une méthode AMDEC pour mettre à terme les défaillances, car ce sont ces dernières qui sont souvent à l'origine de l'indisponibilité.

3-Analyse des défaillances des machines

Il est intéressant d'étudier et d'analyser les pannes dans le but de d'identifier les organes causant des défaillances répétitives ou un temps d'immobilisation très important. [30]

La procédure d'analyse est la suivante :

« Etude et analyse pompe par pompe suivant deux critères »

- Répétition des pannes.
- Temps d'immobilisation.

D'après le dossier historique des pompes alimentaires : 40RL12D001, 40RL22D001, 40RL32D001 nous avons recensé les défaillances qui ont eu lieu durant ces cinq années, elle se résumant dans les tableaux ci-dessous :

Récapitulatif de défaillances par organes défaillants durant cinq ans :

Tableau IV-7 : La défaillance par organes et durant pendant cinq ans

	Élément défaillant	Organe défaillant		Durée de défaillance	
1	Moteur	1	3.33	3	1.11
2	Roulement	1	3.33	2	0.74
3	Palier de moteur	2	6.66	2	0.74
4	Débit de la pompe très faible	3	10	4	1.48
5	Crépine d'aspiration de la (PN)	1	3.33	2	0.74
6	La pompe	1	3.33	2	0.74
7	Lubrification de la pompe	2	6.66	2	0.74
8	Circuit de refroidissement	1	3.33	1	0.37
9	Fuite d'eau	10	33.33	239	88.51

10	La vanne régulatrice	1	3.33	2	0.74
11	Coupleur hydraulique	2	6.66	5	1.85
12	Fuite d'huile par presse étoupe	5	16.66	61	2.22
Σ	N°=12	30	100%	270	100%

Récapitulatif de défaillances par nature

Tableau IV-8 : La défaillance par nature

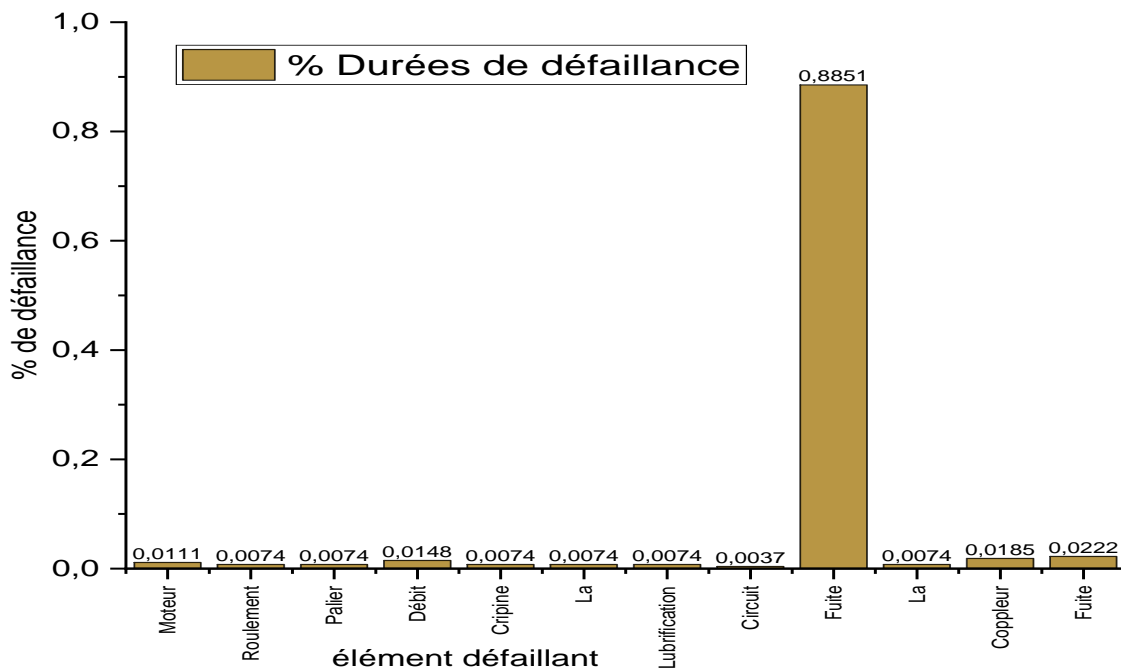
	Répétition d'organe défaillant		La durée de la défaillance	
	N°	%	h	%
Mécanique	23	76.66	258	95.55
Hydraulique	6	20	11	4.07
Electrique	1	3.33	1	0.37
Total	30	100%	270	100%

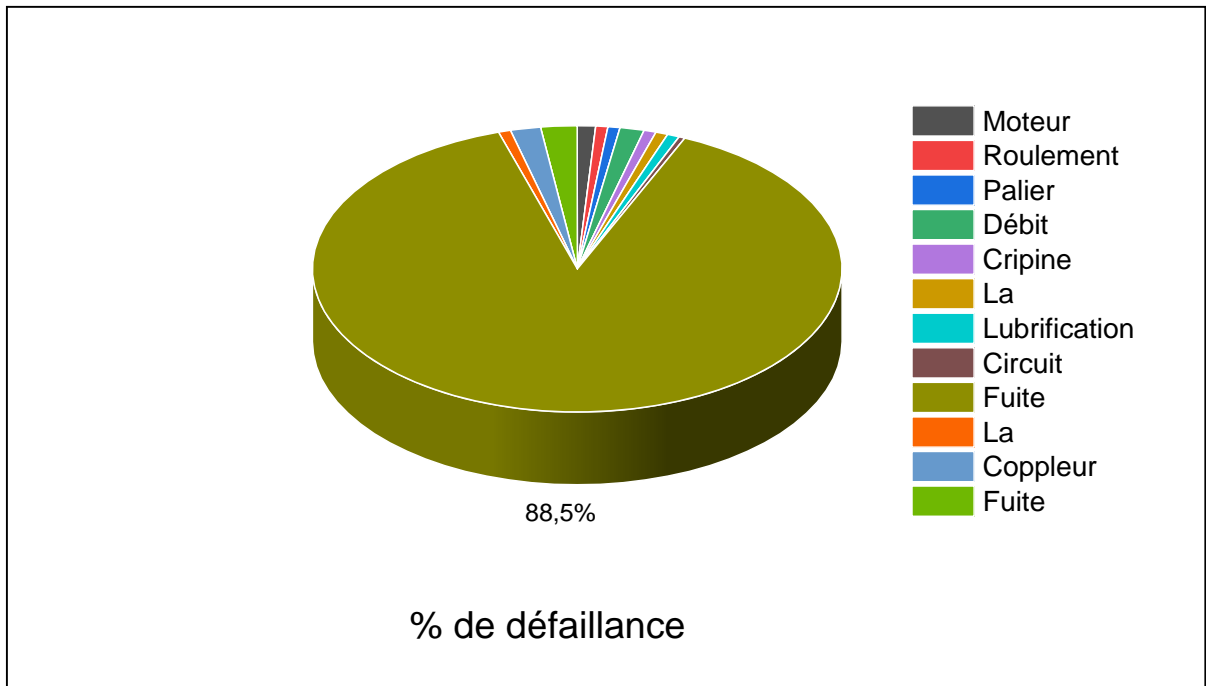
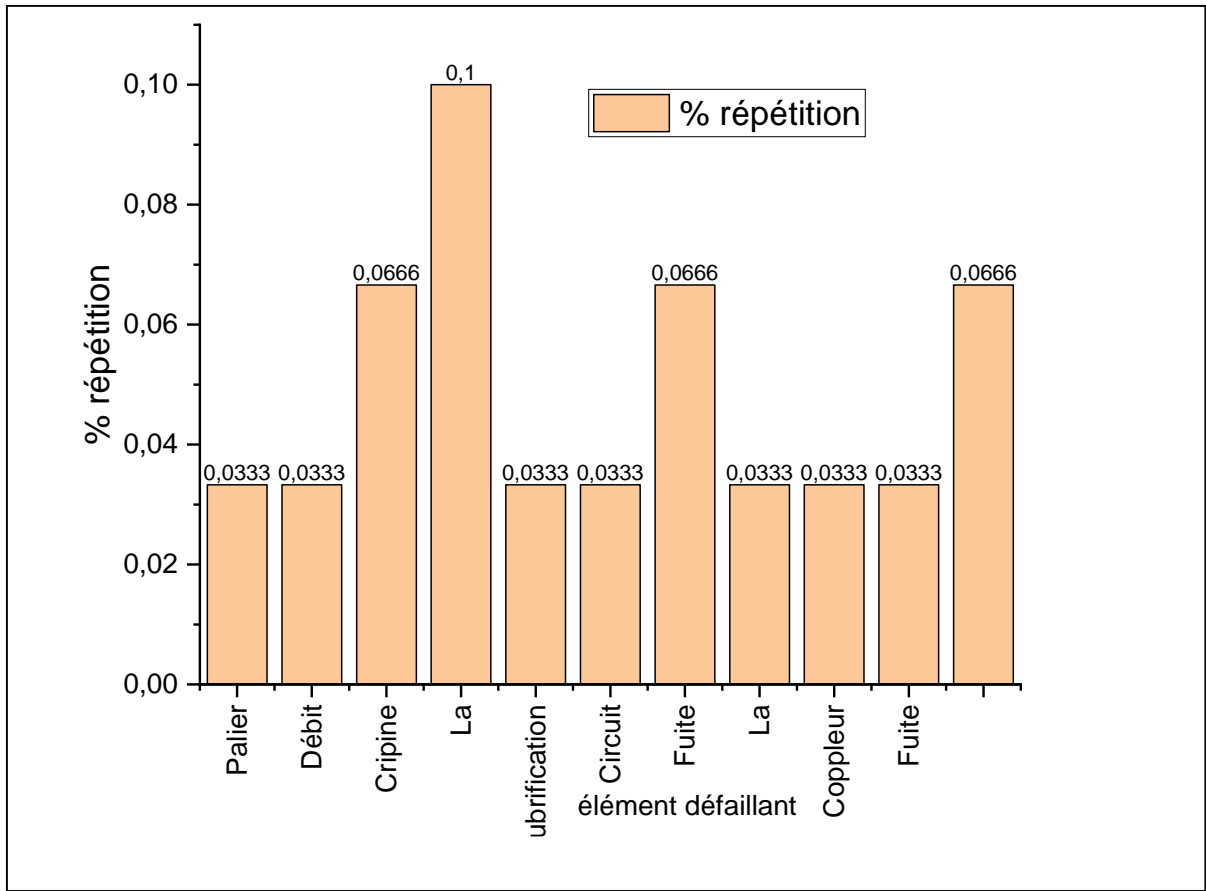
Analyse de l'historique des défaillances

Il est dans l'esprit de la maintenance de ne pas seulement dépanner ou réparer....

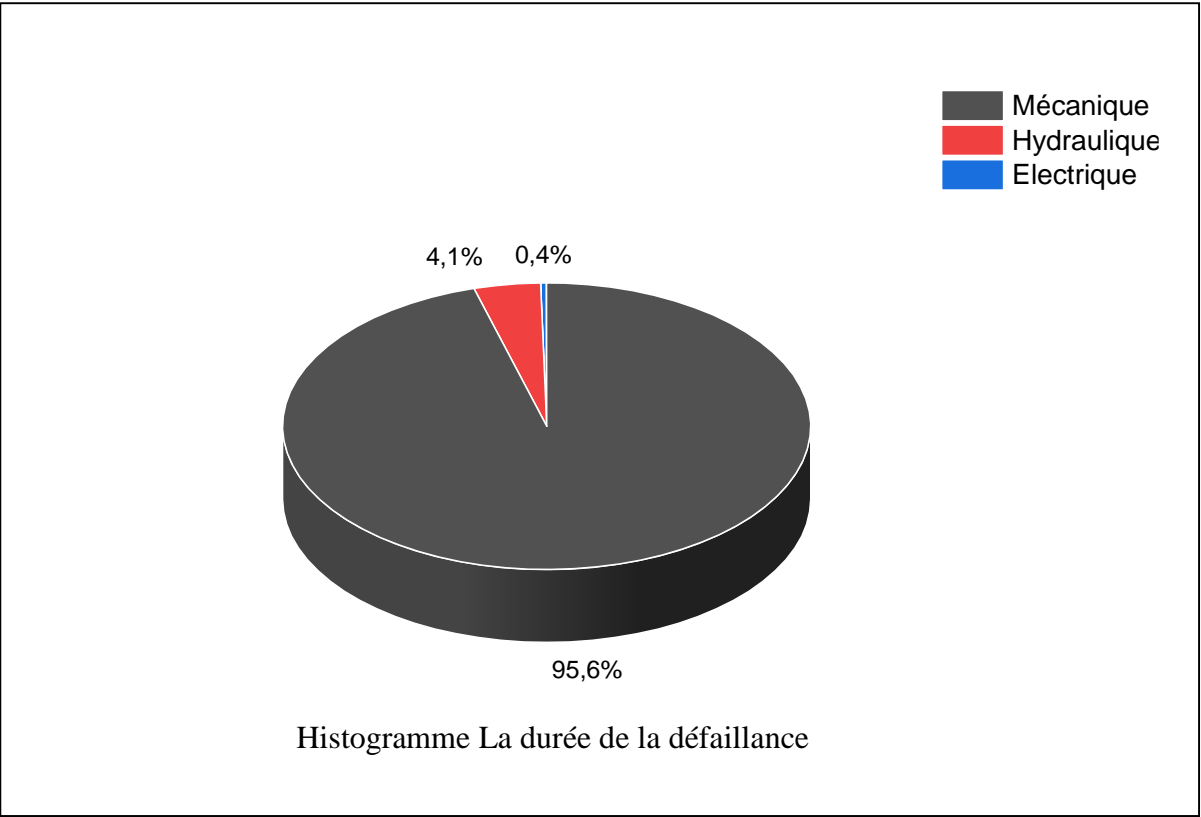
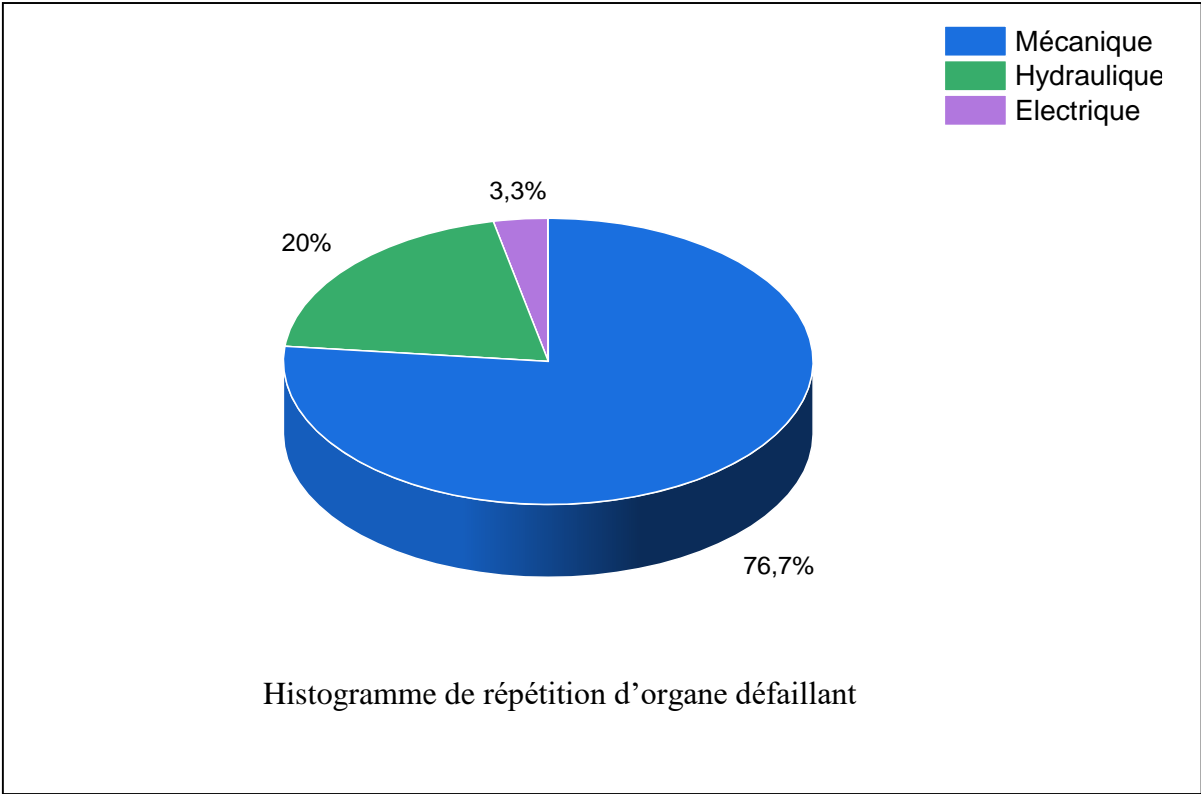
Étude de répétitive de défaillance

Par organes





Par nature



Interprétation

L'étude de fiabilité nous permet de connaître l'état des pompes alimentaires 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.

D'après les résultats qui on a trouvé pour la disponibilité, on constate que notre Équipement est très disponible.

Chapitre V
APPLICATION
DE L'ANALYSE AMDEC



Chapitre V ANALYSE AMDEC

V.1 Introduction

Les activités de maintenance, au sens de dépannage d'un équipement, ont toujours existé. Mais ces activités étaient au départ peu ou non formalisées. Elles n'étaient pas nécessairement assurées par du personnel spécialisé, ni encadrées par des méthodes spécifiques. De plus, elles consistaient essentiellement à réparer un équipement une fois que celui-ci était défectueux, mais n'intégraient que peu la notion de « préventif », c'est-à-dire des interventions visant à prévenir une panne. [15]

La notion formalisée de « maintenance » (à l'origine, on parlait d'« entretien ») est née dans l'industrie de production de bien vers la fin des années 1970. Puis, dans les années 1990, elle commença à gagner le secteur de production de services. Aujourd'hui elle est susceptible de concerner tous les secteurs d'activité : services généraux, immobilier, transport, logiciel, etc.

L'entretien : Dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de production.

Maintenir : Effectuer les opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel afin d'assurer la continuité et la qualité de production.

V.2 Définition de la maintenance

Selon la définition de l'AFNOR, la **maintenance** vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé.

La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc. [17]

V.3 But de la maintenance

La maintenance a pour but :

- Le maintien du capital machine.
- La suppression des arrêts non programmés et des chutes de production (garantie de la capacité de livraison).
- L'amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement

V.4 La fonction maintenance recouvre plusieurs objectifs

- 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. [12]

V.5 Différents types de la maintenance

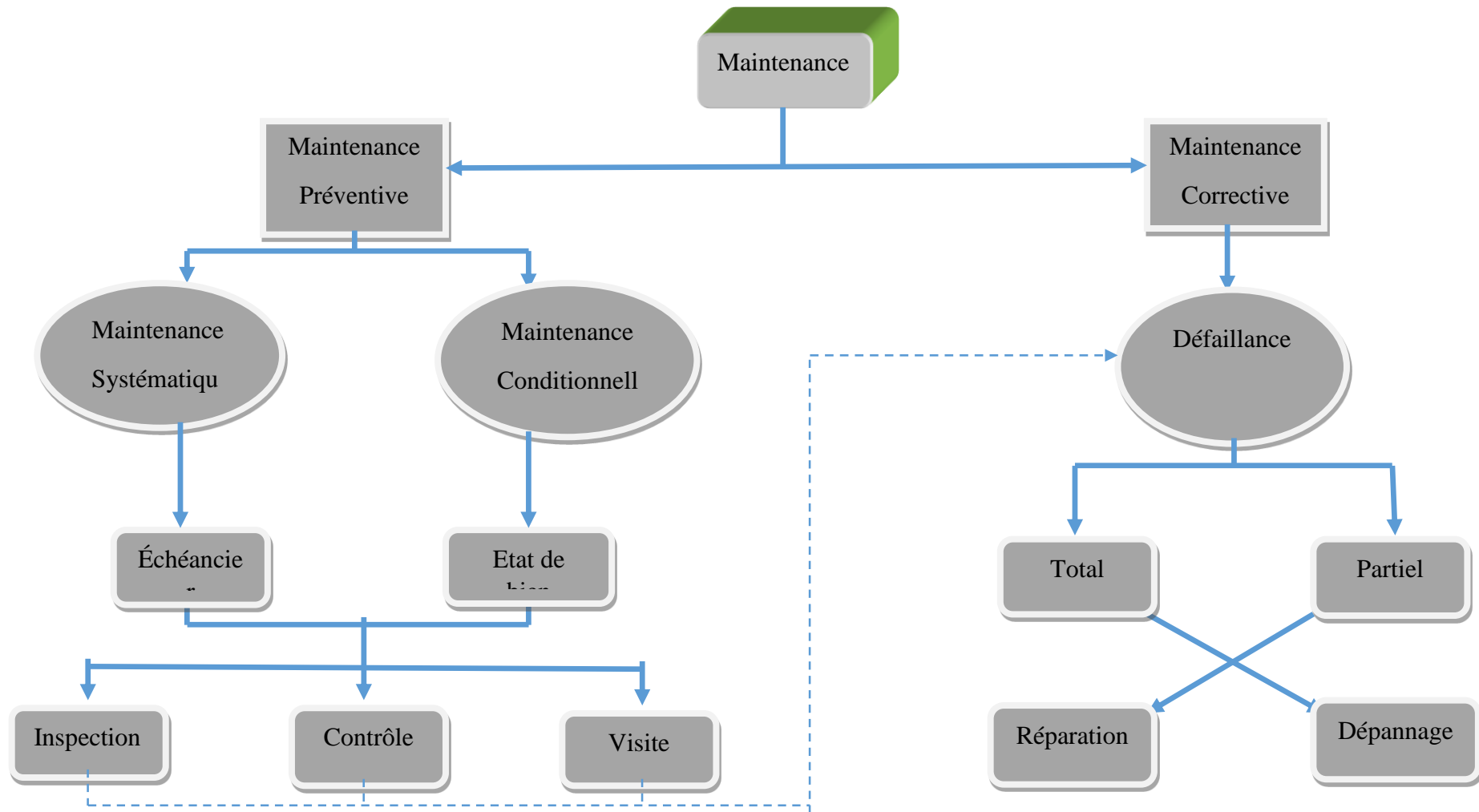


Figure 0.1 : organigramme des types de la maintenance

V.6 Niveaux de la maintenance

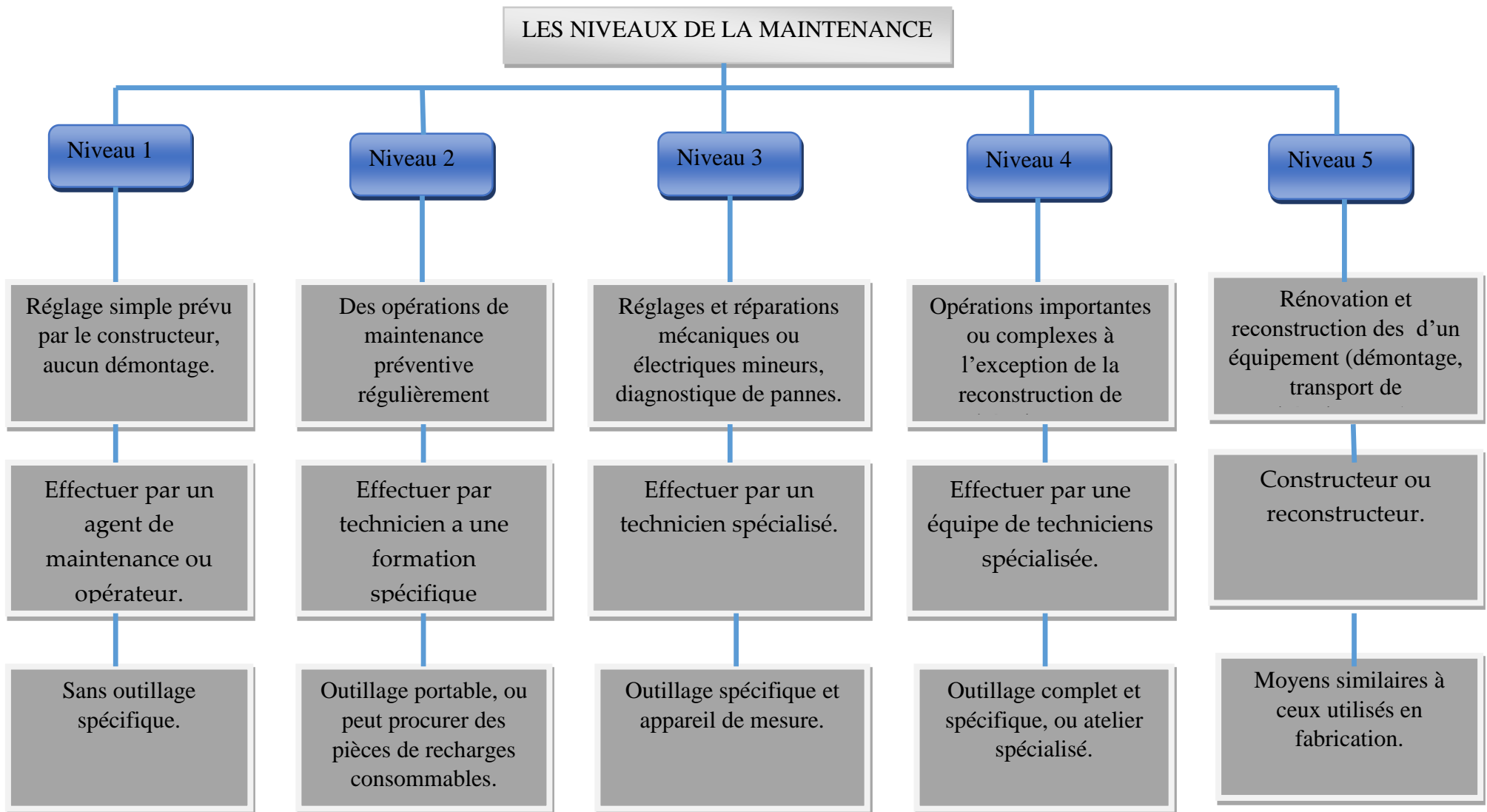


Figure 0.2 : Organigramme des Niveaux de la maintenance

Les fonctions principales du service maintenance

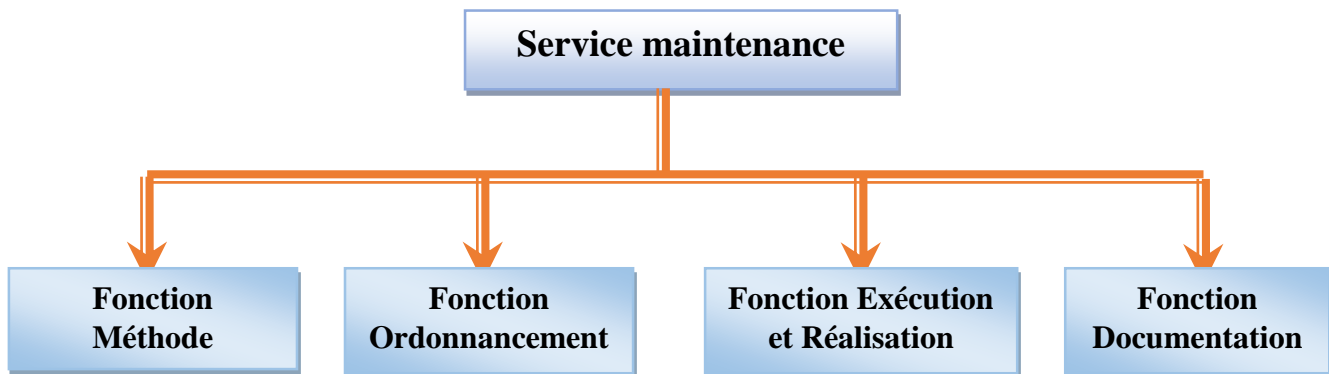


Figure 0.3 : Organigramme des fonctions principales du service maintenance

❖ La fonction méthode (c'est le cerveau du service maintenance) :

- Déterminer les pièces de rechange.
- Préparation des interventions.
- Proposition de modification.
- Définir et choisir les procédures de maintenance, essais et contrôles.
- Vérification des travaux effectués.
- Analyser les coups de maintenance, défaillance et fonctionnement.

❖ La fonction ordonnancement :

- Etablit le planning d'intervention.
- Repartit les personnels.
- Calculer le temps d'intervention.
- Surveiller l'avancement des travaux.

❖ La fonction exécution :

- Assurer l'installation des machines.
- Informer le personnel sur l'équipement.
- Assurer la remise en marche après défaillance.
- Etablit le diagnostic de défaillance.
- Gérer les stocks.

❖ La fonction documentation :

Elle consiste à créer, organiser, animer, compléter et être à jour toute la documentation relative à la maintenance.

V.7 La maintenance appliquée sur la pompe alimentaire

Le choix entre les différents types de maintenance s'effectue selon les objectifs de la direction conformément à la politique de maintenance. [28]

Alors dans notre entreprise la maintenance appliquée sur notre unité (pompe alimentaire) c'est la maintenance préventive systématique par la méthode AMDEC [4] [5].

V.8 Méthode d'analyse AMDEC

L'AMDEC est une Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité. C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production.

V.8.1 L'objectif de L'AMDEC

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires. L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

V.8.2 Les avantages et les inconvénients de L'AMDEC

a- Les avantages

La maîtrise des risques à l'aide de la méthode AMDEC permet de mener des actions préventives, c'est à dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie du produit, la production en sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs [4].

b- Les inconvénients

L'AMDEC nécessite une connaissance poussée de la question à étudier. En général, un brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produit est nécessaire. Pour cela, il faut donc qu'une équipe puisse se mettre d'accord sur les modes de défaillance étudiés. Cette méthode est, de ce fait, lourde à mettre en place [4].

V.8.3 Caractéristique essentiel de L'AMDEC

Un certain nombre de notions sont utilisées dans l'AMDEC. Il est important de les connaître parfaitement afin de comprendre précisément le fonctionnement de l'AMDEC et d'en assurer la meilleure application possible. [15]

V.8.4 Fonction

La norme NF EN 1325-1 définit la notion de fonction comme l'action d'un produit ou de ses constituants exprimés exclusivement en termes de finalité.

Exemple :

- trier, écrire, guider, transporter.
- La fonction d'un moteur électrique sera énoncée ainsi : convertir l'énergie électrique en énergie mécanique.

V.8.5 Défaillance

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise (norme X 60-500). Une défaillance désigne tout ce qui paraît anormal, tout ce qui s'écarte de la norme de bon fonctionnement.

La défaillance peut être complète ; il s'agit de la cessation de la réalisation de la fonction du dispositif. La défaillance peut être partielle ; il s'agit de l'altération de la réalisation de la fonction d'un dispositif.

Exemple : impossible de démarrer la voiture (défaillance complète), panne du circuit d'éclairage (défaillance partielle de la voiture et complète du dispositif).

V.8.6 Mode de défaillance

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction.

Exemple : - blocage, grippage, rupture, fuite, etc.

- pour un moteur électrique les modes de défaillance peuvent être extraits de la liste non exhaustive suivante :

- arrêt de fonctionner,
- ne démarre pas,
- ne s'arrête pas,
- etc.

V.8.7 Cause de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance. [10]

Exemple : encrassement, corrosion, etc.

V.8.8 Effet de la défaillance

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple (mode-cause de défaillance) et correspond à la perception finale de la défaillance par l'utilisateur. Exemple : arrêt de production, détérioration d'équipement, explosion, etc.

V.8.9 Mode de détection

Une cause de défaillance étant supposée apparue, le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur (opérateur et/ou mainteneur) est susceptible de détecter sa présence avant que le mode de défaillance ne se soit produit complètement, c'est-à-dire bien avant que l'effet de la défaillance ne puisse se produire.

Exemple : détection visuelle, température, odeurs, bruits, etc.

V.8.10 Criticité

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par le scénario (mode-cause- effet-détection) de défaillance analysé. La criticité est en fait la gravité des conséquences de la défaillance, déterminée par calcul. La criticité est évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs :

- **F** : Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.
- **D** : Fréquence de non-détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.
- **G** : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Chacun de ces critères sera évalué avec une table de cotation établie sur 5 niveaux, pour le critère de gravité, et sur 4 niveaux, pour les critères de fréquence et de non-détection. Les tableaux 1, 2 et 3 présentent un exemple de barème de cotation de la criticité.

L'indice de criticité est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives [21]

$$C = F * D * G$$

Indice de fréquence F : L'indice de fréquence F est

Fréquence d'apparition d'une défaillance due à une cause particulière.

Tableau 0-1: Niveaux de fréquence

L'indice de fréquence (F)	indice	Définition (nombre de fois)
Fréquence très faible	1	Défaillance rare :(1) défaillance par 5 ans.
Fréquence faible	2	Défaillance possible :(2 à 5) défaillance par 5 ans.
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : (5 à 10) défaillance par 5 ans.
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : plus ou égale à (10) défaillances par 5 ans.

Indice de gravité G :

C'est la gravité des effets de la défaillance s'exprime en termes de durée d'arrêt :

- Pertes de productivité (arrêt de production, défaut de qualité).
- Coût de la maintenance.
- Sécurité, environnement

Tableau 0-2: Niveau de gravité

Niveau de gravité (G)	Indice	Définition par (H)
Gravité très faible	1	Arrêt défonctionnement de (1 à 3H)
Gravité faible	2	-Arrêt de fonctionnement de (3 à 5H) dans les 5ans.
Gravité moyenne	3	-Arrêt de fonctionnement de (5 à 10 H) dans les 5 ans.
Gravité majeure	4	-Arrêt de fonctionnement plus ou égale à (24H) dans les 5ans.

Indice de non-détection D :

Probabilité de non détection d'une défaillance avant qu'il n'atteigne l'utilisateur.

Tableau 0-3: Niveau de probabilité de non détection

Niveau de probabilité de non détection (D)	Indice	Définition (par nature de détection).
Détection évidente	1	Défaillance précocement détectable: - détection par capteur ou alarme....
Détection possible	2	Défaillance détectable : visuelle, par inspection vibratoire..... .
Détection improbable	3	défaillance détectable SEULEMENT par la visite de l'équipe de maintenance.
Détection impossible	4	Défaillance indétectable : Aucun signe avant-coureur de la défaillance.

Tableau 0-4: Présentation du tableau d'AMDEC

Principale de l'AMDEC sur la pompe alimentaire												
AMDEC machine		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités					Action corrective	Après action corrective				
		Pompe alimentaire			Phase de fonctionnement : normale							
N	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Nouvelle criticité	
							F	G	D	C		F'
	Col(1)	Col(2)	Col(3)	Col(4)	Col(5)	Col(6)	Col (7)				Col(8)	Col(9)

Les éléments et les colonnes de tableau d'AMDEC

Pour chaque élément du moyen de production, le groupe de travail détermine et énumère dans la feuille AMDEC (tableau 4) les éléments suivants :

a- Composant (Col 1)

Cette colonne permet d'inscrire la désignation du composant le plus précisément possible, ainsi que son repère de nomenclature s'il existe.

b- Fonctions du composant (Col 2)

Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par le composant dans le fonctionnement normal du dispositif étudié.

c- Modes de défaillance (Col 3)

Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont le composant peut être amené à ne plus assurer sa fonction.

d- Causes (Col 4)

Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode défaillance du composant.

e- Effets (Col 5)

Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance.

f- Détection (Col 6)

Cette colonne permet d'inscrire les modes de détection qui sont les signes provoqués par l'apparition de la défaillance, sans qu'elle n'ait encore généré l'apparition de conséquences. [20]

g- Criticité - Indices nominaux

Lorsque l'AMDE (globale ou pour un composant) a été réalisée, une cotation des risques est effectuée pour toutes les défaillances précédemment identifiées. L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la criticité, à partir de l'estimation des indices de fréquence, de gravité et de non-détection. La criticité est inscrite dans l'ensemble de colonnes (Col 7).

- **Indice F** : relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance. L'indice F est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 1). La note octroyée est comprise entre 1 et 4.

- **Indice G** : relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance L'indice G est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 2).
- **Indice D** : relatif à la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle ne produise l'effet. L'indice D est déterminé à partir du barème de cotation (tableau 3). La note est comprise entre 1 et 4.
- **Indice C** : $C = F * G * D$ qui permettra de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré. Il peut être contractuellement imposé. Le seuil de criticité varie en fonction des objectifs de fiabilité ou des technologies traitées.
- **Remarque :**
 - 08, lorsque les objectifs de fiabilité sont sévères
 - 12, cas le plus souvent utilisé pour les organes mécaniques
 - 24, sur des composants électriques ou électroniques, où l'indice de non détection est presque toujours égal à 4

Dès lors que l'indice de criticité dépasse le seuil prédéfini, la défaillance analysée fera l'objet d'une action corrective

De la même manière, des actions correctives sont engagées si les indices G ou F sont supérieurs ou égaux à la valeur 4 et ce même si l'indice de criticité n'atteint pas le seuil fixé.

Un point critique existe si :

- La criticité de la défaillance dépasse le seuil prédéterminé (8).
- L'indice de gravité de la défaillance est supérieur ou égal à 4.
- Tout point critique doit faire de fréquence de la défaillance est égal à 4.

Tout point critique doit faire l'objet d'une action corrective pour tenter de l'éliminer. [20]

h- Actions correctives

L'ensemble des colonnes actions correctives (Col 8 du tableau 4) permet de définir les mesures correctives décidées par le groupe de travail, pour éliminer les points critiques. Une diminution de la critique peut être obtenue

- a- Par la mise en œuvre de modifications ou d'améliorations de la conception de l'installation, qui permettront :

- Soit de rendre le moyen de production plus fiable (diminuer la fréquence d'apparition de l'aléa)
- Soit de rendre le moyen de production plus maintenable (diminuer le temps d'immobilisation par la réduction des effets des défaillances)
- b-** Par la mise en œuvre de dispositions organisationnelles concernant la maintenance ou la conduite de l'installation (exemple : définir la gamme de maintenance préventive, écrire les modes opératoires de réglage, mettre en stock des pièces de rechange, etc.).

Le choix du type d'action corrective à mettre en place doit être guidé par le critère le plus pénalisant dans la note de criticité. Par exemple, si la criticité d'une défaillance est élevée du fait de la fréquence, l'action corrective doit viser à diminuer prioritairement la fréquence.

Quand aucune action corrective ne peut permettre de ramener l'indice de gravité au-dessous de 4, le groupe de travail devra définir une action visant à maintenir ou à ramener les deux autres critères (fréquence et non-détection) à une valeur égale à 1.

De la même manière, quand aucune action corrective ne permet de ramener l'indice de fréquence au-dessous de 4, l'action corrective définie par le groupe de travail doit permettre de ramener ou de maintenir les deux autres critères (gravité et détection) à une valeur égale à 1.

- La première sous-colonne de ce groupe permet de codifier le type d'action corrective.
- La seconde sous-colonne permet d'inscrire la description de l'action exprimée en termes d'objectif. Il ne s'agit pas ici de décrire dans le détail l'action projetée, mais d'en formaliser les résultats attendus.

- La troisième sous-colonne permet d'inscrire
 - ✓ Le nom du responsable de la mise en œuvre de l'action corrective envisagée.
 - ✓ L'estimation du délai pour mettre en œuvre l'action corrective envisagée.

i- Criticité - Indices finaux Lorsque la définition d'une action corrective a été réalisée, une cotation des risques après mise en œuvre de l'action corrective est effectuée. L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la nouvelle criticité, à partir de l'estimation des nouveaux indices de fréquence, de gravité et de non-détection. La nouvelle criticité est inscrite dans l'ensemble de colonnes (Col 9) en utilisant le même barème de cotation que celui ayant servi à la cotation initiale.

- **Indice F'** : l'amélioration de la note de fréquence F s'obtient par une action sur la fiabilité du composant analysé ou sur les conditions d'utilisation ou par une action de maintenance préventive systématique, etc. C'est l'action à rechercher en priorité.
- **Indice G'** : l'amélioration de la note de gravité G s'obtient par une action sur la maintenabilité ou sur l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement. Cela peut entraîner des modifications de conception (suivi de la qualité produite, etc.).
- **Indice D'** : l'amélioration de la note de non-détection D s'obtient en agissant sur la validation de la conception (calculs, essais, etc.), et/ou sur une aide à la supervision, par une maintenance préventive.
- **Indice C'** : $C' = F' * G' * D'$, qui permettra de quantifier le progrès réalisé. Une fois les actions correctives identifiées et déterminées, le décideur validera la mise en application des actions correctives proposées par le groupe, en tenant compte des délais prévus, des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. [15]

AMDEC machine		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités								Action corrective	Après action corrective				
		Pompe alimentaire			Phase de fonctionnement : normale										
N	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité					Nouvelle criticité			
							F	G	D	C		F'	G'	D'	C'
1	Moteur	Entraîner les 2 pompes (PN et PP)	Point chauds	Mauvaise isolation	Arrêt de 2 pompes	Caméra infrarouge (consommation élevé du courant)	2	2	2	8	Proposition d'étude pour améliorer l'isolation	1	2	2	4
2	Roulement	Assurer le mouvement de rotation	Grippage perte de performance et bruit anormal	Fatigue vibration manque de lubrification duré de vie	Mauvais fonctionnement Vibration dégradation des roulements	Visuelle Inspection vibratoire	3	2	3	18	Améliorer la lubrification et Système capteur vibratoire On Line	2	1	1	2

3	Palier de moteur	Support de l'arbre de moteur	Usure palier de moteur principal	Vibration Fatigue Grippage	Échauffement et blocage de rotor	Visuelle	2	2	1	4		1	2	1	2
4	Débit de la pompe très faible	Alimenter le ballon chaudière	Débit insuffisant	extrémité de la tuyauterie d'aspiration trop proche du niveau du liquide dans la bache alimentaire.	Baisse de production	Par inspection vibratoire	2	2	2	8	contrôler le niveau du liquide dans la bache alimentaire	2	2	1	4
5	Crépine d'aspiration de la (Pompe nourricière)	Filtrer le fluide (eau)	Mauvais filtrage	Détérioration n crépine	Usure de la pompe	Visuelle Inspection vibratoire	3	3	2	18	Modifier ou remplacé la crépine	1	2	1	2
6	La pompe	Débiter le fluide sous pression	Bruit anormal	La clavette cassée	Rupture accouplement	Par inspection vibratoire	3	2	2	12	redimensionnement et conception de la clavette	1	2	2	4

7	Lubrification de la pompe	Lubrifier les paliers et les roulements de la pompe alimentaire	Lubrification altérée	Filtre d'huile endommagé Manque de lubrifiant	Mauvaise lubrification	Visuelle Indicateur	4	2	3	24	Système capteur on line et Changement de filtre d'huile	1	3	2	6
8	Circuit de refroidissement	Assurer le refroidissement	Refroidissement altéré	Radiateur endommagé	Refoulement et perte du liquide	Visuelle V Inspection Indicateur	1	2	1	2		1	3	1	3
9	Fuite d'eau	Alimenter le réservoir de la chaudière	bride cassée	Durée de vie	Pressions faible	Visuelle	4	4	1	16	Changement de la bride	2	1	2	4
10	La vanne régulatrice	Règle de débit d'eau	Siege endommagé	Muove serrage	Début faible	Sur le Manon de pression	1	3	2	6		1	1	2	2
11	Coupleur hydraulique	Organe de transmission a comprissions d'huile	Fuite d'huile	Pers ment de flexible	Arrête de la pompe	Visuelle	3	2	1	6	Changement de flexible	2	1	2	4
12	Fuite d'huile par presse étoupe	Étanchéité	Garni tir mécanique	Vibration élève	Arrête de la pompe	Visuelle	4	1	2	8	Contrôle vibratoire et changement de garni tir mécanique	2	1	2	4

V.9 LE Suivi

Le suivi est un aspect fondamental pour le succès de la mise en œuvre de l'AMDEC. Pour toutes les mesures décidées, des responsables ont été désignés et un plan d'action permet de définir les actions précises découlant des modifications envisagées. Le suivi va permettre de vérifier que toutes les actions décidées ont été réalisées et que les nouvelles valeurs de criticité sont effectivement atteintes. Pour avoir une image globale du degré de confiance que l'on peut donner au moyen de production, tous points critiques doivent faire l'objet d'une action corrective pour tenter d'éliminer les risques de défaillance. Si un point critique subsiste il doit être largement justifié par le concepteur et faire l'objet de mesures particulière chez l'utilisateur. Cette représentation facilite le suivi des améliorations ultérieures.

Tableau 0-5classification de la Criticité

Calcification	Élément	Criticité avant correction	Criticité après correction
Faible 1-8	Palier de moteur	4	2
	Circuit de refroidissement	2	2
	La vanne régulatrice	6	2
	Coupleur hydraulique	6	4
Moyenne 8-16	Moteur	8	4
	Débit de la pompe très faible	8	4
	La pompe	12	4
	Fuite d'huile par presse étoupe	8	4
Majeur 16-32	Roulement	18	4
	Crépine d'aspiration de la (PN)	18	2
	Lubrification de la pompe	24	6
	Fuite d'eau	16	4

Les cas majeurs

Majeur 16-32	Roulement	18	4
	Crépine d'aspiration de la (PN)	18	2
	Lubrification de la pompe	24	6
	Fuite d'eau	16	4

V.10 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC

L'analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité permet de déterminer les pannes critiques qui doivent être traitées en priorité. Ces pannes critiques sont celles qui ont une criticité élevée et qui peuvent entraîner des défaillances majeures du système. Dans notre analyse, les éléments qui présentent les pannes les plus critiques (critiques majeures) sont :

- Le roulement présente un grippage, perte de performance et bruit anormal à cause de l'usure, des vibrations et le manque de lubrifiant.
- La crépine d'aspiration de la (PN) présente une détérioration, la correction dans ce cas-là est de modifier ou remplacer la crépine.
- endommagement du filtre d'huile a provoqué une perturbation de la lubrification de la pompe. La correction dans ce cas-là est l'installation d'un système capteur *on line* ou bien la diminution du temps de Changement de filtre d'huile.
- Une Fuite d'eau par ce que la bride est cassée, la correction dans ce cas-là est : Changement de la bride dans les brèves délaïtes.

Pour chaque défaut, des actions correctives spécifiques ont été suggérées afin de réduire la criticité et prévenir les défaillances. Ces actions peuvent inclure des inspections régulières, des maintenances préventives systématiques, des remplacements de pièces défectueuses, des améliorations des procédures de surveillance, et la formation du personnel.

Conclusion générale

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 à été pour nous très bénéfique, et nous a permis de découvrir de nouvelles technologie dans le domaine industriel et d'enrichir nos connaissances intellectuelles en pratiquant sur le terrain les théories acquises au niveau de l'institut.

Cette étude nous a permis de localiser le maillon le moins fiable et le moins disponible de notre système qui est la pompe principale a cause de la complexité de ca construction.

Cette étude nous a surtout permis de comprendre que la maintenance permet de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité de la production.

L'application de la méthode d'AMDEC nous permis de comprendre que la maintenance permet de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité de la production.

En conclusion en recommande d'appliquer une maintenance préventive pour garantir la disponibilité du système.

Références bibliographiques

- [1]-Document de la centrale thermique de Cap-Djinet.
- [2]- Razika MOUSSOUNI, Kocaeli MOULOUDJ (Dimensionnement d'une station de production d'énergie électrique à base d'une pile à combustible) master 2. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, promotion 2021-2022
- [3]- GOUGAM AMINE, A. I. (2018/2019). ETUDE TECHNOLOGIQUE ET MAINTENANCE APPLIQUE AU VENTILATURE DE SOUFFLAGE PAR LA METHODE AMDEC DANS . CENTRALE THERMIQUE CAP DJENET.
- [4]- Document Ras Djinet (BASIC-1 DESCRIPTION GÉNÉRALE CENTRALE ÉLECTRIQUE).
- [5]- Mr Bellefki : « cours pompe » IAP d'Arzew 2013, la maintenance en mécanique pétrolière.
- [6]- ZERROUKI IDIR, KOUFI FOUAD (Suivi du Comportement Vibratoire des Pompes de l'eau de Mer promotion 2020-2021 d'une Centrale à Cycle Combine), master 2, université de boumerdes
- [7]- Nadji Ihab Mohamed Anes, Riguet Islam, (Diagnostic des défauts du moteur asynchrone dans le domaine temporel}, master2, Université Mohamed Khider de Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de génie électrique, promotion 2019- 2020
- [8]- Amrouche Belkacem Wassim, fin de formation Pour l'obtention du diplôme de technicien supérieur ETUDE TECHNOLOGIQUE ET MAINTENANCE D'UNE POMPE ALIMENTAIRE
- [9]- CLAUDE HASERD : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, Edition AFNOR ,2eme Edition, paris (1986).
- [10]- ALAIN BOULENGER, Aide-mémoire Maintenance conditionnelle, Dunod, 2008
- [11]- ARNOUX H., Environnement, Sécurité et Maintenance, Techniques de l'Ingénieur, traité de maintenance, MT 9 555.
- [12]- AUBERVILLE J.M., Maintenance industrielle, de l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté. Editions Ellipses 2004.

Références bibliographiques

- [13]- F. CASTELLAZZI, Mémotech : maintenance industrielle. 1998
- [14]- Dr. Saadi SAADI & Pr. Mébarek DJEBABRA IHS – Cours Td en mh2ST-84 (AMDEC),
his ,Univ. Batna 2 2019-2020
- [15]-JEAN FAUCHER, GERARD LUNDY, pratique de l'AMDEC, Edition AFNOR (2009).
- [16]- Mourad BOUSSEROUEL, Projet Fin d'études de Master, Application de la méthode AMDEC afin d'établir un plan de maintenance dédié à un système de production , 2018/2019
- [17]- Dr.BENAMMAR. (2018). cours de Fiabilité des systèmes mécaniques. fsi-umbb.
- [18]- Bellefki, M. (2013). cours pompe la maintenance en mécanique pétrolière. IAP d'Arzew.
- [19]- BOULENGER, A. (2008). Aide-mémoire Maintenance conditionnelle.
- [20]- BOUSSEROUEL, M. (2018/2019). Projet Fin d'études de Master, Application de la méthode AMDEC afin d'établir un plan de maintenance dédié à un système de production .
- [21]- CASTELLAZZI, F. (1998). maintenance industrielle.
- [22]- Djinet, D. R. (2023). Document Ras Djinet. Ras Djinet: présentation de société.
- [23]- Dr.BENAMMAR. (2018). cours de Fiabilité des systèmes mécaniques. fsi-umbb.
- [24]- GOUGAM AMINE, A. I. (2018/2019). ETUDE TECHNOLOGIQUE ET MAINTENANCE APPLIQUEE AU
- [25]- VENTILATURE DE SOUFFLAGE PAR LA METHODE AMDEC DANS .
CENTRALE THERMIQUE CAP
DJENET .
- [26]- H, A. (2009). Environnement, Sécurité et Maintenance, Techniques de l'Ingénieur., MT 9 555.
- [27]- HASERD, C. ((1986).). fiabilité, maintenabilité, disponibilité. paris Edition AFNOR:
Edition AFNOR 2eme
Edition.
- [28]- IHS, D. S. (2019-2020). Cours Td en mh2ST-84 (AMDEC). Univ. Batna 2.
- [29]- J.M, A. (2004). Maintenance industrielle, de l'entretien de base à l'optimisation de.
Editions Ellipses.
- [30]- JEAN FAUCHER, G. L. (2009). pratique de l'AMDEC. Edition AFNOR .
- [31]- MOUSSOUNI, R. e. (promotion 2021-2022). UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU:

Annexe

Q<>>Q>qwqwq

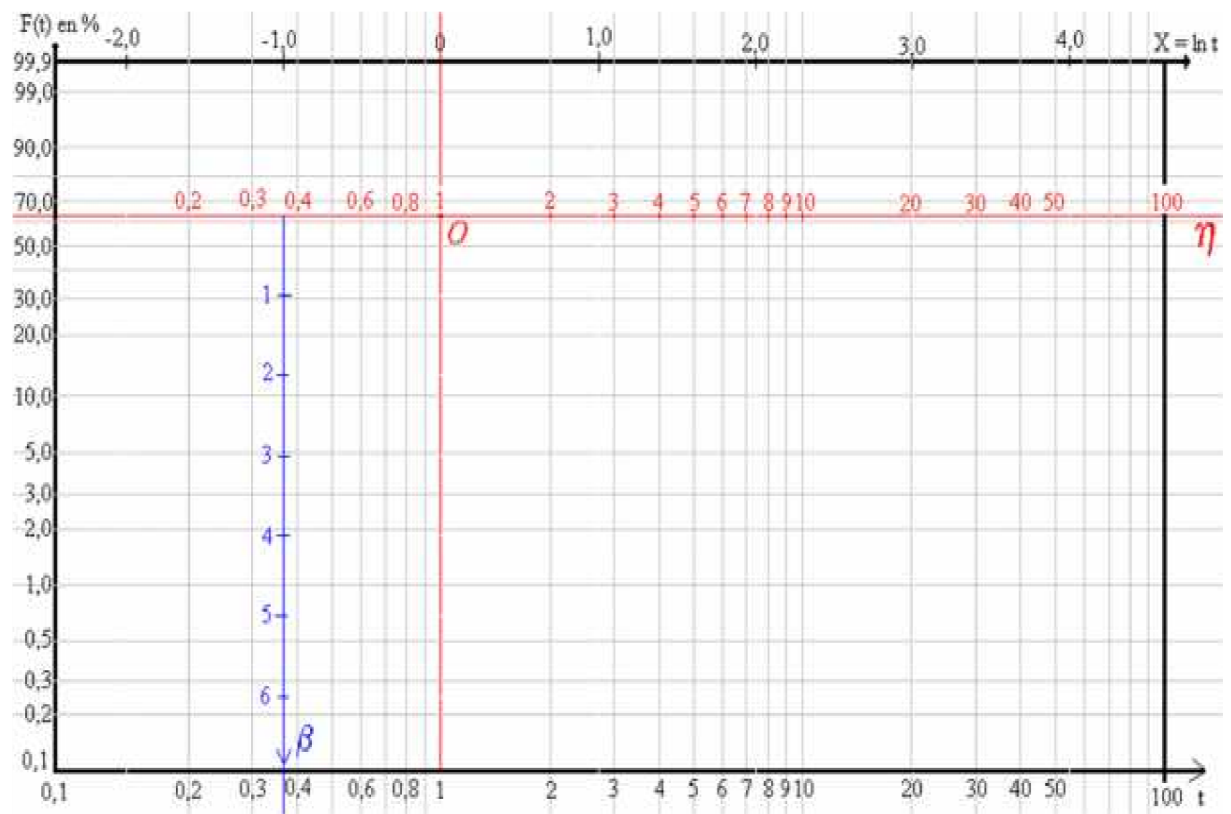


Diagramme d'ALLEN PLAIT

Annexe

$n \setminus \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Tableau de Kolmogorov Smirnov

Annexe


β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

Tableau de paramètre de Weibull

SPE (RAS-DJINET)		CYCLE DE VISITE			
Désignation de l'unité : pompe alimentaire RL.					
Visite		A	B	C	RG
Nombre d'heure de marche					
24		X			
4000			X		
8000				X	
12024					X

- Visite type (A) chaque jour de fonctionnement.
 - Visite type (B) chaque 4000 heure de fonctionnement.
 - Visite type (C) chaque 8000 heure de fonctionnement.
- Visite type (RG) chaque 12024 heure de fonctionnement.

Annexe

SPE	Fiche de visite type « A »				CODIFICATION 4 0 R L 1 2 D 0 0 1 		
Désignation de l'UI : pompe alimentaire					Durée : 3 mois		
Organe	Désignation du travail	Equipe				Moyen	Observation
		Elec	Mec				
Fonction mécanique	Contrôler les vibrations.		X			Visuel	
Fonction mécanique	Faire à point d'huile		X			Visuel	
Fonction générale	Contrôler toute l'équipement	X	X			Visuel	
Fonction électrique	Contrôler les fonctions	X				Visuel	

Annexe

Xw		Fiche de visite type « B »				CODIFICATION	
						4 0 R L 1 2 D 0 0 1	
Désignation de l'UI : pompe alimentaire						Durée : 6 mois	
Organe	Désignation du travail	Equipe				Moyen	Observation
		Elec	Mec				
Garniture mécanique	Nettoyage du filtre tamis garniture mécanique		X			Clé spécial pour les filtres	
Les boulons de fixation de la machine	Resserrage		X			Clé à pipe	
Partie mécanique	Graissez les roulements et vérifie		X			Appareille de graissage	
Fonction exploitation	Fuite de vapeur importante par percement au niveau de la vanne de vidange		X			Soudure	
L'armoire électrique	Changement les filtres de ventilateurs	X				Tourne vis plate	

Annexe

SPE	Fiche de visite type « C »				CODIFICATION		
						4 0 R L 1 2 D 0 0 1	
Désignation de l'UI : pompe alimentaire						Durée : 12 mois	
Organe	Désignation du travail	Equipe				Moyen	Observation
		Elec	Mec				
Inspection générale (A.T)	Station de raccordement.	X	X			- Caisse à outil	
les roulements.	Changement des roulements.		X			-caisse à outil	
les pignons et le multiplicateur	Graisser les pignons et le multiplicateur		X			-Caisse à outil	

Annexe

SPE	Fiche de visite type « RG »				CODIFICATION		
						4 0 R L 1 2 D 0 0 1	
Désignation de l'UI : pompe alimentaire						Durée : 17 mois	
Organe	Désignation du travail	Equipe				Moyen	Observation
		Elec	Mec				
Moteur pompes d'alimentaire	Contrôle.	X				- Caisse à outil	
La pompe Alimentaire.	Démontage et contrôle.		X			-caisse à outil	
Nettoyage et graissage.			X			-Caisse à outil	

Annexe

PANNES	CAUSES	REMEDES
1-La pompe ne débite pas	<ul style="list-style-type: none">-Pompe non dégazée.-pompe ou tuyauterie d'aspiration incomplètement.-mauvais sens de rotation.-corps étranger dans la roue.-roue hors d'usage.	<ul style="list-style-type: none">-l'ouverture des soupapes de dés aération.-remplir la pompe et la tuyauterie, soigneusement dégazé.-en cas d'entraînement par moteur, intervertir les pôles.-nettoyer la pompe, contrôler les organes cotée aspiration.
2-débit de la pompe trop faible.	<ul style="list-style-type: none">-différence insuffisante entre pression d'alimentation et tension de vapeur.-extrémité de la tuyauterie d'aspiration trop proche du niveau du liquide dans la bache alimentaire.	<ul style="list-style-type: none">-vérifier les organes d'arrêt et les tamis de la tuyauterie d'alimentation.-contrôler le niveau du liquide dans la bache d'alimentation.
3- hauteur de refoulement trop faible.	<ul style="list-style-type: none">-hauteur de refoulement nécessaire à l'installation plus élevée que la hauteur de refoulement de la pompe au point de service.-fonctionnement très faible débit.	<ul style="list-style-type: none">-augmenter la vitesse.-monter les roues de grand diamètre.-contrôler la position de débit.
4- débit interrompu peu après la mise en marche.	<ul style="list-style-type: none">-pompe ou tuyauterie d'aspiration trop basse de ce liquide.-fonctionnement à très faible débit.	<ul style="list-style-type: none">-relever le niveau de l'eau, modifier les conditions d'entrée de la tuyauterie d'aspiration.-consulter le fournisseur.
5-puissance absorbé trop forte.	<ul style="list-style-type: none">-vitesse trop élevée.-mouvais sens de rotation.-raboutage de pièce en rotation sur les pièces fixes, marche très irrégulière la pompe.	<ul style="list-style-type: none">-en cas d'entraînement par turbine ou par moteur.-démonter la disposition d'équilibrage, éventuellement pompe.
6-fuites trop importantes au presse-étoupe.	<ul style="list-style-type: none">-Pompe mal alignée.-paliers usées.-arbre déformé.-le rotor vibre. .	<ul style="list-style-type: none">-réaligner la pompe à l'état froide.-remplacer l'arbre.-contrôler la régularité de la marche de la pompe.

Annexe

7-durée de vie de la garniture trop courte.	<ul style="list-style-type: none">- arbre ou chemise d'arbre usées ou rayées.-joint torique endommagé.-presse-étoupe mal garni et trop serré.-manque de liquide pour la lubrification de la garniture.	<ul style="list-style-type: none">-remplacer les pièces endommagées.-garnir et regarnir le presse-étoupe avec le plus grand soin.
8-fuites trop importantes à la garniture mécanique.	<ul style="list-style-type: none">-portées de la garniture usées ou rayées, joint torique endommagé.-presse-étoupe mal garnie.-matériau de garniture non approprié.	<ul style="list-style-type: none">-remplacer les pièces endommagées.-Contrôler s'il a faux rond des pièces en rotation.-vérifier si les matériaux employés sont appropriés.
9- durée de vie trop courte de la garniture mécanique.	<ul style="list-style-type: none">-pompe mal alignée ou fondation instable.-arbre déformé.-paliers usées.-e rotor vibre.	<ul style="list-style-type: none">-réaligné la pompe à l'état froide.-contrôler la régularité de la marche de la pompe.-vérifier l'alignement de l'accouplement.-contrôler l'alimentation en huile (pression, température).
10-la pompe vibre ou marche bruyamment.	<ul style="list-style-type: none">-arbre bat du fait d'un palier usé ou d'un défaut d'alignement.-défaut de montage du palier, palier mal monté, utilisation de paires de demi-paliers.-roulements encrassés.	<ul style="list-style-type: none">-réalignement l'accouplement.-Remplacer les paliers.-soigneusement nettoyer les paliers, conduits d'alimentation en huile et réservoir d'huile.