

N° série:/2016



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbures et, des énergies renouvelables
et des sciences de la terre et l'univers



Département de Forage et Mécanique des chantiers pétrolier

MEMOIRE
Pour obtenir le Diplôme de Master
Option : MCP

Présenté par :

BADEREDDINE HOCINE
DJEGHBALA AMOR

-THÈME-

**Optimisation de la maintenance préventive
d'une pompe centrifuge GA -1102**

Soutenu le : 23/05/2016

Devant le jury :

Président:	GHERIB YUCEF	U. K. M. OUARGLA
Examineur:	GHARBI ABDERRAZAK	U. K. M. OUARGLA
Encadreur:	ZIARI SABER .	U. K. M. OUARGLA

L'année universitaire : 2015/2016



Dédicaces

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à parentes en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, et voila, l'occasion est venue.

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et la reconnaissance.

A ma mère qui a été la lumière de ma vie et mon cher père A mes frères et ma très chère soeur ;

A mes nièces et mes neveux ;

A toute ma famille "Badereddine";

A mon binôme "Amor";

A mes amis; "Rachid; Tarck ;Saci ;Ziade ;Fouad;Ibrahim ; Hamada Abdallah elbahi ; ;Abdou .

A tous mes amis d'université OUARGLA et surtout groupe MCP.

Hocine Badereddine.



Dédicaces

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à parentes en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, et voila, l'occasion est venue.

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et la reconnaissance.

A ma mère qui a été la lumière de ma vie et mon cher père ;

A mes frères et ma très chère soeur ;

A mes nièces et mes neveux ;

A toute ma famille "DJEGHBALA";

A mon binôme "HOCINE" ;

A mes amis "WALID-MOHAMMED-ISMAIL-HOCINE" ;

A tous mes amis d'université OUARGLA et surtout groupe MCP.

AMOR DJEGHBALA



Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée Durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Monsieur Ziari Saber pour avoir d'abord propose ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de cette thèse et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils et remarques.

Nossincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en participant au jugement de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement toute personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous aidés de présou de loin à accomplir ce travail.

ملخص:

صيانة الأنظمة الصناعية أصبحت جزء أساسي ومهم من اجل تطور وسيرورة المؤسسات باحثة على غزو أسواق جديدة شيئا فشيئا في حالة الدراسة التي قمنا بها. ركزنا على المضخة المركزية ويتمثل دورها الأساسي في زيادة ضغط المزيج وتتمحور دراستنا على صيانتها واستغلال المعطيات النسبية مع مواقيت التدخلات التصحيحية والوقائية سمحت لنا باستخراج مؤشرات الجاهزية وحساب الوقت التحسيسي للصيانة الوقائية.

الكلمات المفتاحية: مضخة مركزية، الجاهزية ، الاتاحية ، قابلية الصيانة .

Résumé :

La maintenance des systèmes industriels est devenue un élément nécessaire pour le développement des entreprises cherchant à conquérir de plus en plus de marchés. Dans notre cas d'étude, on s'intéresse à la pompe centrifuge dont le rôle principal est l'augmentation de la pression du fluide. Une étude de maintenance de cet outil de production ainsi que l'exploitation des données relatives aux échéances des interventions correctives et préventives nous a permis d'extraire les indicateurs de fiabilité et de calculer les temps optimaux de la maintenance préventive.

Mots clés : pompe centrifuge , fiabilité, disponibilité, maintenabilité.

Abstract :

The maintenance of the industrial systems became a necessary element for the development of the looking for enterprises to conquer more and more markets. In our case of survey, one is interested in the centrifugal pump whose main role is the increase of the pressure of the fluid. A survey of maintenance of this production tool as well as the exploitation of the relative data to the deadlines of the corrective and preventive interventions allowed us to extract the indicators of reliability and to calculate the optimal times of the preventive maintenance.

Key words: centrifugal pump, reliability, availability, maintenabilité.

Liste des figures

Chapitre I : Généralité Et Description D'une Pompe Centrifuge.	
Figure (I.1): Installation de pompe .	02
Figure (I.2) : Domaine d'utilisation des pompes.	03
Figure (I.3) : pompe centrifuge.	04
Figure (I.4) : Roues mobiles de machines centrifuge, hélico centrifuge et axial.	05
Figure (I.5) : Les éléments de constitution d'une machine asynchrone.	07
Figure (I.6) : Schémas d'un accouplement.	07
Chapitre III:Généralité Sur La Maintenance et FMD	
Figure (II.1): Organigramme décrivant les types et actions de maintenance	13
Figure (II. 2): Temps de défaillance.	19
Figure (II. 3): Fonction cumulée de fiabilité.	20
Figure (II.4): Fonction cumulée de défaillance.	20
Figure (II. 5): Fonction de défaillance $f(t)$.	20
Figure (II. 6): Courbe en baignoire.	22
	25
Figure (II.7): Principales propriétés de la distribution de Weibull.	
Figure (II.8) : Papier de weibull.	26
Figure (II.9): Redressement de la courbe par translation.	27
Figure (II.10):Droites // papier de Weibull.	28
Figure (II.11): Système de composants montés en series.	28
Figure (II.12): Système de composants montés en parallèle.	29
Figure (II.13) : Probabilité de réparation au cours de temps.	30
Figure (II.14): La relation entre MUT, MTBF, et MTTR.	32
Figure (II .15) : La relation entre les notions FMD.	33
Figure (II.16): Bilan des coûts.	34
Figure (II.17) : Remplacement à dates fixes.	35
Figure (II.18) : Remplacement à âges fixes.	35

Chapitre III: Analyse FMD Et Optimisation De La Maintenance De La Pompe GA 1102.

Figure (III.1): Papier de Weibull.	38
Figure (III.2): La courbe de fonction de fiabilité.	40
Figure (III.3): La courbe de fonction de répartition.	40
Figure (III.4): La courbe taux de défaillance.	41
Figure (III.5): La Courbe de Maintenabilité de la pompe.	42
Figure (III.6): La Courbe de disponibilité instantané.	43
Figure (III.7): La courbe de Cp.h, Cd.h et Ct.h en dates fixes.	44
Figure (III.8): La courbe de Cp.h, Cd.h et Ct.h en âge fixes.	46

Liste de tableau

Chapitre I : Généralité et description d'une pompe centrifuge.	
Tableau (I.1): Les différents types de roue.	05
Chapitre II: Généralité sur la maintenance et FMD	
Tableau (II.1): Problèmes d'une pompe centrifuge.	17
Chapitre III: Analyse FMD et optimisation de la maintenance de la pompe GA 1102.	
Tableau (III.1): Dossier historique de la pompe.	37
Tableau (III.2): Fonction de réparation réelle et paramètres de Weibull.	38
Tableau (III.3) :Test de Kolmogrov-Smirnov.	39
Tableau (III.4): Les paramètres de Weibull en fonction de MTBF.	39
Tableau (III.5): Les valeurs de $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$.	40
Tableau (III.6): La maintenabilité.	42
Tableau (III.7): Disponibilité instantané.	43
Tableau (III.8): Les couts de maintenance à dates fixes.	43
Tableau (III.9): Les valeurs de $C_p.h$, $C_d.h$ et $C_t.h$ en dates .fixes.	44
Tableau (III.10) :Les coûts de maintenance à âges fixes.	45
Tableau (III.11): Les valeurs de $C_p.h$; $C_d.h$ et $C_t.h$ en âge fixe.	45

Liste des abréviations

Abréviations	Désignation
MTTR	Moyenne temps technique de réparation (Time To Repair
MTBF	Moyenne des temps de bon fonctionnement.
DT/TA	Temps d arrêt (Down time).
UT	Temps de fonctionnement (Up Time).
TBO	Temps entre actions de maintenance.
TTE	Temps techniques d'exploitation.
TCBF	Temps cumulé de bon fonctionnement.
TCI	Temps cumulé d'immobilisation.
TTR	Temps technique de réparation.
TBF	Temps de bon fonctionnement.

Liste des symboles

symboles	Désignation
H (m)	Hauteur.
D (km/ pousses)	Distance.
P (bars)	La pression.
tr/ min	La vitesse de rotation.
Q (m^3/h)	Débit.
p (kw)	Puissance.
T(h)	Temps.
T (panne)	Défaillance.
R (t) (%)	La fonction de fiabilité.
F (t) (%)	La fonction de répartition.
f(t) (%)	Densité de probabilité.
$\lambda(t) \left(\frac{\text{nbr}}{h}\right)$	Taux de défaillance.
P	Probabilité de défaillance dans la population mère
n	Taille de l' échantillon.
E(t)	L' espérance mathématique.
η (h)	Le paramètre d'échelle.
β	Le paramètre de forme.
γ (h)	Le paramètre de position.
F(i) (%)	La probabilité de panne au temps.
N	Nombre de Temps de bon fonctionnement.
μ (intervention / heure)	Taux de reparation.
D_i (h)	Disponibilité intrinsèque.
D_o (h)	Disponibilité opérationnelle.
M(t) (h)	Maintenabilité.
Pp	Pertes de production.
Ch (kDZ)	Coût horaire .

Pm	Pertes de matière premières.
Pa	Pertes d'amortissement.
Pe	Energie consommé.
Cd (kDZ)	Le coût de défaillance.
Cp (kDZ)	Coût de l'entretien preventive.
Cs (kDZ)	Coût des salaires.
Ca (kDZ)	Coût d'amortissement.
Co (kDZ)	Coût stockage des pièces détachées.
Cm (kDZ)	Coût des pièces et matières.
N	L'espérance du nombre de défaillances.
KDZ	Kilo dinar algerie

Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste de tableau.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Liste des symboles.....	VII
Sommaire.....	IX

Chapitre I : Généralité et description d'une pompe centrifuge.

I.1. Introduction.....	02
I.2. Généralités sur les pompes	02
I.3. Généralités sur les moteurs asynchrones.....	07
I.4. Accouplement	07
I.5. Etude technique de la pompe GA 1102.....	08

Chapitre II : Généralité sur la maintenance et FMD.

A. La Maintenance D'Une Pompe Centrifuge	09
II.1. Introduction.....	09
II.2. Définition.....	09
II.3. Le rôle de la maintenance.....	09
II.4. Le but de la maintenance.....	09
II.5. L'objectif de la maintenance.....	09
II.6. Type de maintenance	10
II.7. Les opérations de la maintenance.....	11
II.8. Les 5 niveaux de la maintenance.....	13

II.9. La maintenance d'une pompe centrifuge.....	14
II.10. Problèmes relatifs à l'utilisation des pompes centrifuges	15
B .Généralité sur le FMD	18
II.1. Introduction.....	18
II.2. Sûreté de fonctionnement.....	18
II.3. Concepts de la FMD.....	19
II.3.1 La fiabilité.....	19
II.3.2 La maintenabilité.....	30
II.3.3 La disponibilité.....	31
II.4 La relation entre les notions FMD.....	33
II.5. Optimisation de la maintenance preventive.....	33
II.5.1. Remplacement systématique au bout du temps T_r	33
II.5.2. Prise en compte des éléments économiques du renouvellement.....	33
II.5.3. Etude des différents types de renouvellement	35
II.5.3.1. Renouvellement à dates fixes	35
II.5.3.2. Renouvellement à âges fixes	36
 Chapitre III : Analyse FMD et optimisation de la maintenance de la pompe GA 1102	
III.1. Analyses FMD de la pompe GA 1102.....	37
III.2. Etude des différents types de remplacement preventive.....	43
III.2.1. Renouvellement optimal à dates fixes.....	43
III.2.2. Renouvellement optimal à âges fixes:.....	45
Conclusion Générale	47
Bibliographie.....	48

A decorative border in a light teal color, forming an oval shape. It features four ornate floral motifs at the corners, each with green leaves, yellow and red flowers, and a small white flower with a red center.

Introduction générale

Introduction générale:

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme une activité pénalisante. Nous sommes de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise.

La complexité des mécanismes de dégradation des équipements a fait en sorte que la durée de vie de ces derniers a toujours été traitée comme une variable aléatoire. Cet état de fait a incité plusieurs entreprises à adopter des approches plutôt réactives, n'étant pas en mesure de justifier économiquement les avantages que peut procurer la mise en place d'une maintenance préventive.

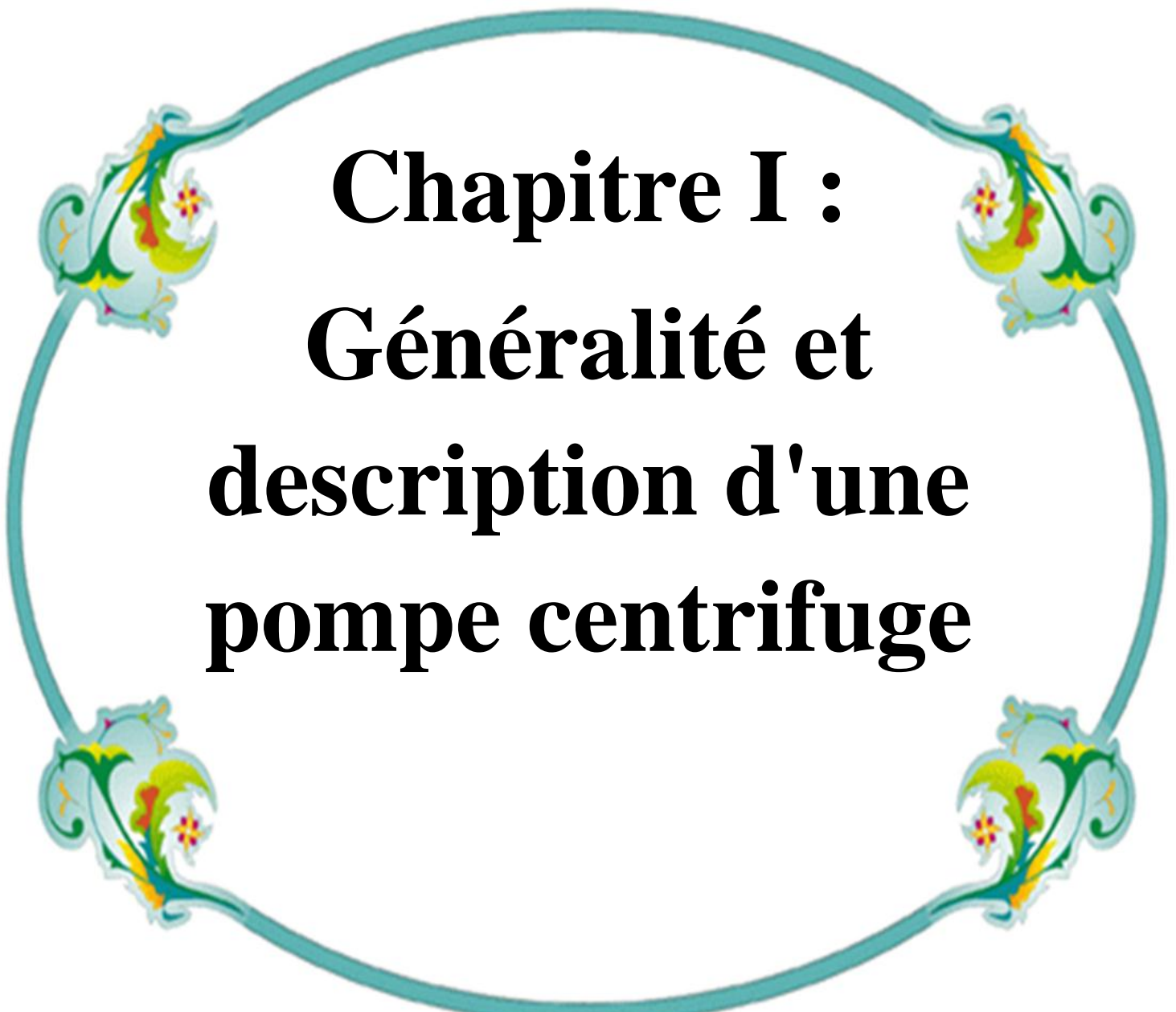
L'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente.

L'application des méthodes prévisionnelles de maintenance à des matériels à haute production est moins coûteuse que la perte de production due un arrêt du matériel. L'arrêt d'une seule machine peut entraîner l'arrêt de toute la ligne.

Le but de ce travail est d'étudier la maintenance d'une pompe centrifuge et de calculer ses indicateurs de fiabilité ainsi que l'optimisation des interventions préventives.

Pour ce faire, nous avons vu utile de scinder notre travail en 4 chapitres:

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur les pompes et les moteurs asynchrones;
- Le deuxième chapitre déploie les différentes étapes et aspects de la maintenance d'une pompe centrifuge;
- Le troisième chapitre expose les différentes notions et concepts liées à la fiabilité des équipements;
- Le quatrième chapitre s'intéresse à l'application pratique du cas de l'équipement de production étudiée en l'occurrence la pompe centrifuge GA 1102";
- Et enfin, une conclusion.

A decorative border in a light teal color, featuring four ornate floral motifs at the corners. Each motif consists of green leaves, yellow and red flowers, and a small white star-like shape.

Chapitre I :
Généralité et
description d'une
pompe centrifuge

I.1.Introduction :

La pompe est peut être, le deuxième type de machines les plus utilisés, après le moteur électrique. Les pompes et les ventilateurs consomment environ le quart de l'énergie électrique générée sur la terre.

La première pompe que l'homme avait connue est la pompe spirale entraînée par animal, utilisé pour lever l'eau pour irriguer la terre. Inventée par les égyptiens depuis l'aube de l'histoire et elle est toujours en service dans certains endroits en Egypte aujourd'hui.

Les pharaoniques ont aussi inventé les turbines à vent, et les ont utilisés pour entraîner les norias et les moulins. Les perses anciens ont inventé les turbines hydrauliques qui utilisaient l'énergie de l'eau pour entraîner les norias.

Les musulmans ont fait une autre contribution majeure, la pompe à pistons. Ils ont complété leur invention par le vilebrequin, qui est un mécanisme de conversion du mouvement alternatif en rotatif et vice versa. C'est la pompe à pistons qui a ouvert la voie vers les technologies de circuits hydrauliques que les musulmans ont connus et étendu même aux circuits logiques, automatisation, contrôle de séquence voir robotiques.

I.2. Généralités sur les pompes :

I.2.1. Définition:

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression (**Figure I.1**). [1]

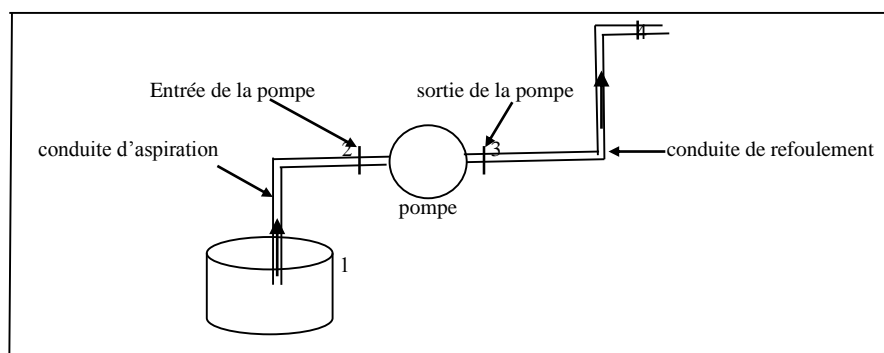


Figure (I.1): Installation de pompe.

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe active (piston, roue...etc.) de la pompe.

Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

I.2.2. Les différents types de pompes:

Il existe différentes pompes qui peuvent se classer en deux grandes familles. [02]

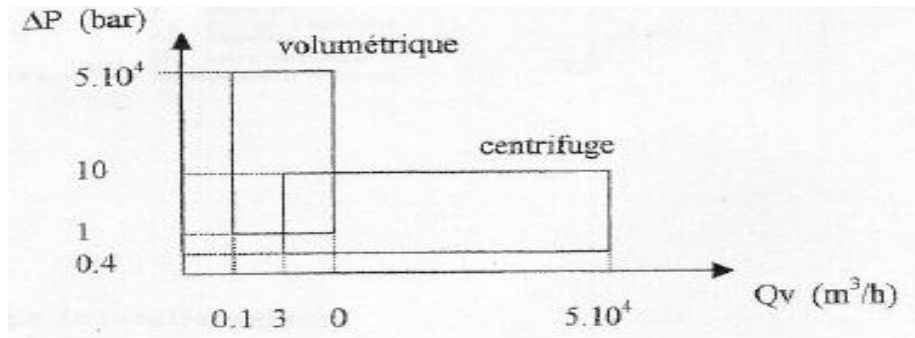


Figure (I.2) : Domaine d'utilisation des pompes.

I.2.2.1. Pompes volumétriques :

- **les pompes volumétriques alternatives :**

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types des pompes sont les suivants : à membrane ou à piston.

- **les pompes volumétriques rotatives :**

Dans laquelle un rotor excentré à ailettes projette un liquide contre la paroi du stator. Ce liquide prend la forme d'un anneau concentrique au stator et concourt avec les ailettes du rotor à définir un volume variable. Les principaux types des pompes sont les suivants : Pompe à Vis, Pompes à engrenages (extérieurs ou intérieurs), Pompes à aubes appelées, Pompes à palettes (à palettes libres ou à palettes flexibles) ... [3]

❖ **Avantages et inconvénients :**

✓ **Avantages:**

- Construction robuste.
- Pompage possible de liquide très visqueux.
- Rendement élevé.
- Amorçage automatique en fonctionnement normal.
- Obtention de faibles débits facile à mesurer sous pression élevée (pompes doseuses Alimentaires.)

✓ Inconvénients:

- Appareils plus lourds et plus encombrants.
- Débit pulsé ce qui nécessite l'installation d'appareils spéciaux (anti coup de bélier).
- Impossibilité d'obtenir de gros débits sous faible pression.
- Danger de surpression dans le circuit de refoulement d'où la présence indispensable de sécurités (by-pass et soupape de sûreté).
- Impossibilité en général de pomper des liquides chargés.
- Prix d'achat plus élevé.
- Frais d'entretien plus élevés.

I.2.2.2. Pompe centrifuge:

La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute.

A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice. [1]

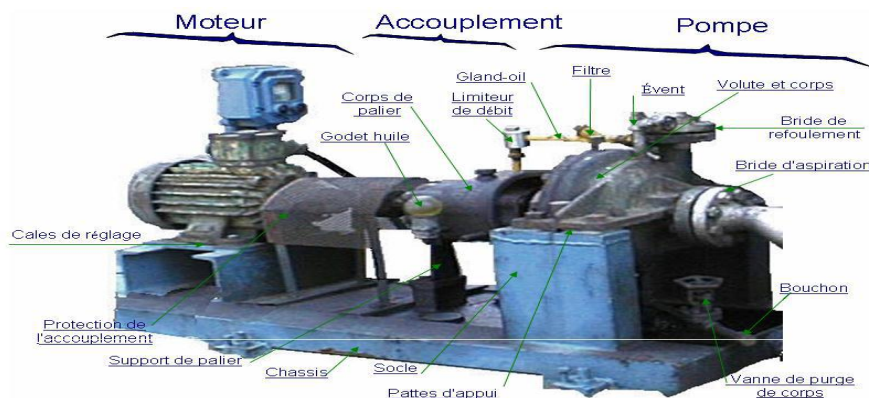


Figure (I .3) : pompe centrifuge.

❖ Description d'une pompe centrifuge:

Les pompes centrifuges (**Figure I.4**) sont destinées à véhiculer les liquides à un débit de refoulement important avec une faible pression comparativement aux pompes volumétriques. Les principales composantes des pompes centrifuges sont les suivantes :

a. Distributeur :

C'est un organe fixe ayant pour rôle la conduite du liquide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de l'impulseur, il se réduit à une simple tuyauterie pour les pompes monocellulaires.

b. L'impulseur (la roue) :

C'est l'âme de la pompe centrifuge, il comporte des aubes ou ailettes, qui grâce à leur interaction avec le liquide véhiculé transforme l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur. L'impulseur se compose du moyeu, des bagues d'étanchéité (d'usure), et des flasques.

❖ **Les différents types de roue : (Figure I.3)**

Type de roue	Hauteur par roue
Centrifuge	25 à 120 m
Hélico centrifuge	8 à 35 m
Hélice	2 à 10 m

Tableau (I.1): Les différents types de roue.

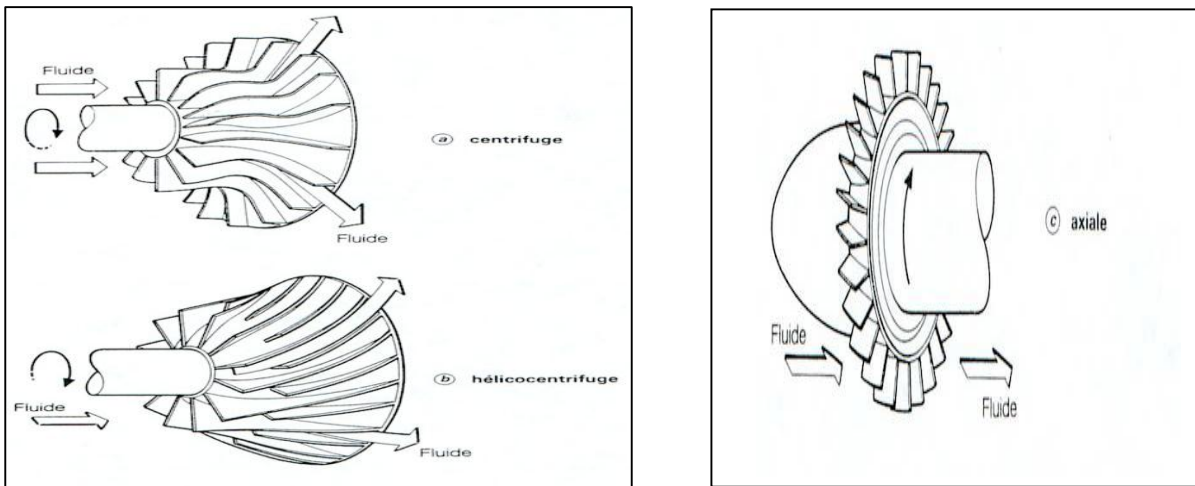


Figure (I.4) : Roues mobiles de machines centrifuge, hélico centrifuge et axiale.

c. Le récupérateur (l'enveloppe) :

C'est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie de la roue et le canalisé vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse désirée. Le récupérateur se compose en général de deux parties :

- **Le diffuseur :** a pour rôle de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression, et ainsi limiter la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charges exagérées.
- **La volute:** c'est le collecteur du liquide venant du diffuseur, elle assure la transformation d'énergie cinétique en pression et canalise le liquide vers la section de sortie de la pompe.

❖ **Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge:**

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

a. L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre de la roue par le distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée de la roue. La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage. [1]

b. Le refoulement:

La roue transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie de la roue, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression. [1]

❖ Critères de choix d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation.

Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont:

- Le débit et la pression désirée.
- La hauteur géométrique.
- Le diamètre de la conduite. [1]

✓ Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :**✓ Avantage:**

- Faible encombrement.
- Bruit négligeable.
- Simplicité de construction.
- Régularité dans le fonctionnement.
- Aptitude au fonctionnement à grande vitesse, donc l'accouplement peut se faire directement avec des moteurs électriques ou des moteurs diesels. [1]

✓ Inconvénients:

- A faible débit et aux grandes hauteurs de refoulement, le rendement diminue.
- Phénomène de cavitation en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.

I.3. Généralités sur les moteurs asynchrones:

La machine asynchrone est un système dynamique non linéaire. Par conséquent, sa commande nécessite la disponibilité d'un modèle représentant fidèlement son comportement au niveau de ses modes électrique, électromagnétique et mécanique. [4]

I.3.1. Constitution de la machine asynchrone:

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend (**Figure I.5**) un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. [5]

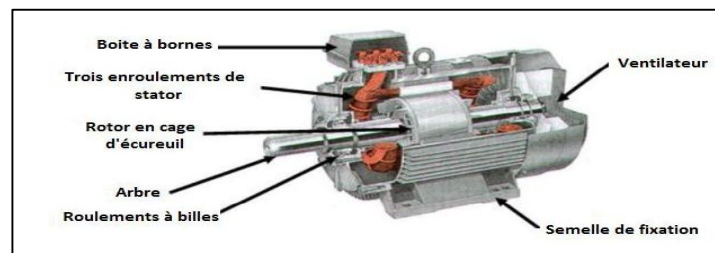


Figure (I.5) : Les éléments de constitution d'une machine asynchrone.

I.3.2. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone:

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant. [5]

I.4. Accouplement: [1]

I.4.1. Définition:

Les accouplements sont des dispositifs qui assurent une liaison entre l'arbre moteur et l'arbre d'une machine, ce qui permet de transmettre la puissance du moteur à la machine concernée. Dans cette fonction :

- Ils offrent la possibilité de dissocier deux arbres lorsqu'il est nécessaire.

Ils tolèrent les petits défauts d'alignement dû au déplacement des matériels en service.

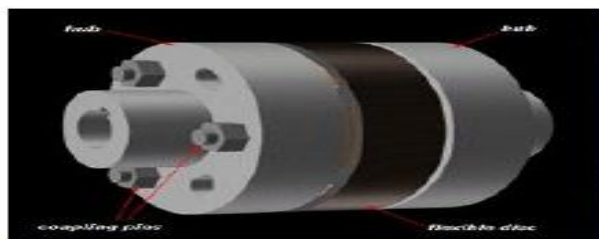


Figure (I.6) : Schémas d'un accouplement.

I.4.2. Différents Types d'accouplement:

On distingue plusieurs types d'accouplement :

- Accouplement mécanique.
- Accouplement à mâchoires.
- Accouplement flexacier.
- Accouplement à pignon.
- Accouplement hydraulique.
- Accouplement magnétique.

I.4.3. Critères de choix d'un accouplement:

Le choix d'un accouplement tient compte les critères suivant :

- La durée de vie.
- Le facteur d'amortissement.
- L'encombrement.
- Les erreurs admissibles de centrage.
- L'inertie des masses.
- La facilité de montage.


I.5. Etude technique de la pompe GA 1102:**I.5.1. Description et rôle de la pompe :**

La pompe d'expédition GA 1102 est une pompe centrifuge monocellulaire a double aspiration, qui travaille à l'horizontal, son rôle est d'aspirer le brut des réservoirs pour augmenter sa pression, et l'expédier vers l'unité de stockage (Haoud el hamra) à 30 km du centre de production.

À travers une pipe de 20 pouces de diamètre, la pression d'aspiration est de 05 bars et le refoulement est de 20 bars. La vitesse de rotation est de 2988 tr/ min et d'un débit de 1480 m³/h.

I.5.2. Le principe de fonctionnement:

Son principe de fonctionnement consiste à ce que le moteur électrique d'une puissance de (610kw) et alimentée en tension triphasée de (5500v) fait tourner le rotor de la pompe sur le quel est monté un impulseur conçu pour aspirer le brut à travers deux canaux d'aspiration et le refouler dans un seul canal de refoulement ce qui nous donne un rendement de deux pompes avec un minimum d'énergie.

A decorative border in a light teal color, featuring four ornate floral motifs at the corners. Each motif includes green leaves, yellow and red flowers, and a small white star-like element.

Chapitre II :
Généralité sur la
maintenance et
FMD

A. La maintenance d'une pompe centrifuge :**II.1 Introduction:**

Aujourd'hui, il ne s'agit pas seulement de réparer est prévenir, il faut aussi savoir empêcher de tomber en panne, plus qu'une simple technique d'intervention efficace sur le fonctionnement, la maintenance est devenue une technique d'anticipation, d'organisation et de gestion.

II.2.Définition:

Le terme de maintenance désigne l'ensemble des techniques d'entretien et de vérification qui sont mises en œuvre pour permettre une utilisation optimale des machines dans une installation industrielle. [8] [9]

II.3. Le rôle de la maintenance :

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en maintenance le potentiel d'activité set en tenant compte de la politique définie par l'entreprise.

II.4. Le but de la maintenance :

- Redonner au matériel des qualités perdues et nécessaires aux fonctionnements.
- Faire le nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du bien, donc de réduire le nombre de défaillances et augmenter la MTBF.
- Ramener le plus vite possible le matériel en état de fonctionnement et par la suite diminuer la MTTR.

II.5. L'objectif de la maintenance :

Le service de la maintenance doit fixer régulièrement des objectifs pour qu'il soit bien efficace:

a. Objectifs financiers :

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans limites d'un coudrette.

b. Objectifs opérationnels :

- Maintenir les équipements dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.

- Entretien des installations avec le minimum de coût et les remplacer à des Périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
- Augmenter le rendement des équipements.

II.6. Type de maintenance : [8] [9]

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance: (**Figure II.1**)

II.6.1. Maintenance préventive:

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. On a le choix entre plusieurs politiques de maintenance préventive. Les plus fréquentes sont les suivantes.

II.6.1.1. Maintenance systématique :

Qui consiste à changer suivant un échéancier établi à l'avance des organes jugés proches de l'usure. Elle est définie dès la conception par le constructeur et ajustée par l'expérience des agents de la maintenance en Contrôlant les jeux avec remplacement systématique d'organes.

La date de l'arrêt est planifiée par expérience en se basent sur des données statistiques des dossiers historiques de l'unité d'intervention ou en fonction d'impératifs des écuries. L'inconvénient d'une telle maintenance est le risque de montage inutile de la machine, Occasionnant ainsi un manque à gagner certain. De plus, il est toujours délicat de redémarrer un équipement refroidi dans lequel des réglages parfois longs et complexes. Il se peut aussi qu'on ait des défaillances entre deux interventions systématiques provoquant ainsi des dégâts importants avec arrêt de la production.

II.6.1.2. Maintenance conditionnelle :

On y effectue au préalable un diagnostic avant de remplacer l'organe en question. Elle s'applique particulièrement aux machines tournantes elle est basée sur l'analyse :

- Externe des machine (corrosion,...etc.).
- Des paramètres de prises (température, pression, débit,...).
- Des huiles de lubrifications et étanchéité.
- Des températures d'organes des machines.
- Des vibrations et des bruits au niveau des organes.

La maintenance conditionnelle permet donc d'éviter les inconvénients de la maintenance Systématique. Par le fait qu'elle permet de déterminer quel organe défaillant devra être remplacé et la date à laquelle s'impose l'intervention en se basant uniquement sur les analyses en temps réel de la machine et non sur des données statistiques.

II.6.2. Maintenance corrective:

Maintenance exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Cette maintenance corrective peut être décomposée encore en :

II.6.2.1. Maintenance palliative:

Consiste à pallier provisoirement l'effet d'une défaillance afin de permettre la continuité de l'exploitation du bien sans pour autant traiter les causes.

L'action exécutée est presque toujours une action de dépannage. Si cette maintenance n'est pas complétée par une action de fond destinée à traiter la cause première, on est conduit à constater la répétition de la défaillance en question et on parle alors de défaillance répétitive.

II.6.2.2. Maintenance curative:

Il s'agit là d'une maintenance qui s'attaque réellement au fond du problème en essayant de «soigner » le mal et traitant la cause première, si le diagnostic permet de remonter jusqu'à cette cause première. [6] [7]

II.7. Les opérations de la maintenance :**a- Les inspections:**

Ce sont des activités de surveillance (ronde à fréquence courte), consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

Elle assure une surveillance quotidienne de l'ensemble des équipements, évitant ainsi, l'apparition d'un grand nombre de défaillances mineures, qui pourraient à long terme avoir des conséquences majeures. Les rondes, sur matériel en service, comprennent :

- La lubrification (contrôles, pleins, vidanges,).
- Des contrôles de pressions de températures, de vibrations.

- Des examens sensoriels : Détection visuelle de fuites, détection d'odeur, des bruits anormaux, etc....
- Des travaux mineurs : dépannages simples, réglages.
- Ecoute des cognements de pompage ou des chocs hydrauliques à l'aide d'un casque et avec l'ouïe.

b- Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondant à une liste d'opérations définies au préalable et qui peuvent entraîner des montages d'organes et une immobilisation du matériel.

c- Le dépannage :

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement compte tenu de l'objectif. Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

d- La réparation :

Intervention définitive et limitée à la maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

e- Le contrôle :

Il correspond à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut être une activité d'information, inclure une décision, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

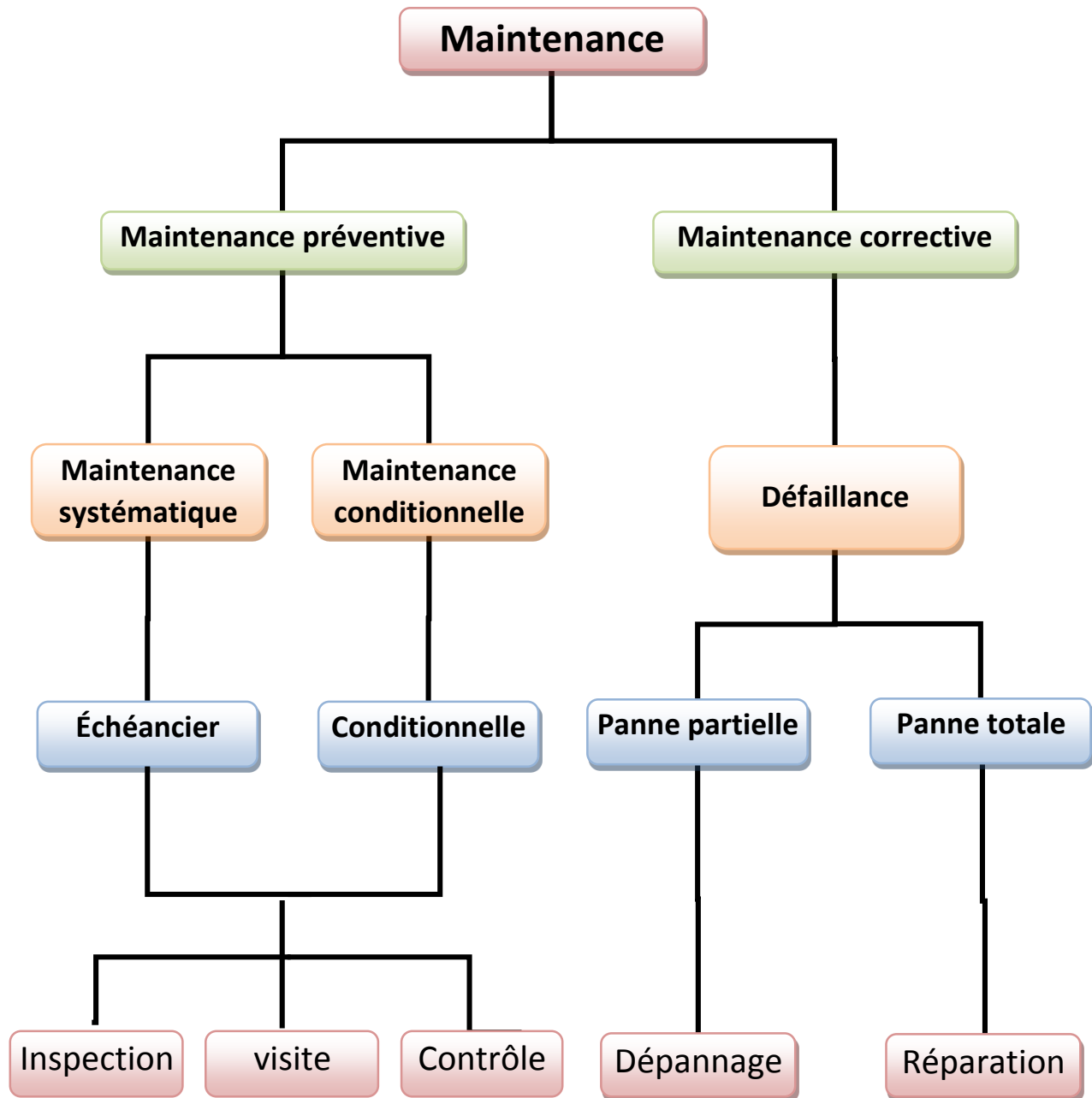


Figure (II.1): Organigramme décrivant les types et actions de maintenance. [6] [7]

II.8. Les 5 niveaux de la maintenance: (des plus simples aux plus complexes)

1. Réglages simples.
2. Dépannages par échange standard et petites opérations de maintenance préventive.
3. Identification, diagnostic, réparation.
4. Maintenance importante.
5. Rénovation, reconstruction. [10]

II.9. La maintenance d'une pompe centrifuge GA- 1102 :

❖ **procédure de démarrage :**

✓ **inspection avant le démarrage:**

- S'assurer que toutes les soupapes de vidange et de respiration sont complètement fermées.
- Confirmer que la crépine d'aspiration nettoyée est installée au côté d'aspiration.
- Confirmer que la rotation de la partie rotative marche bien en le tournant à la main.

✓ **Remplissage du liquide :**

- Ouvrir un peu la soupape d'aspiration, et remplir du liquide dans le carter.
- Vérifier s'il n'y a pas de fuite de liquide ou de fuite de gaz.
- Si la valeur de pression du carter est égale à celle de pression d'aspiration, ouvrir complétement la soupape d'aspiration.
 - Ouvrir la soupape d'aspiration un peu, et évacuer suffisamment le gaz du carter et des conduites d'aspiration et de refoulement.
 - Confirmer que la source électrique est mise en circuit dans la sous-station.
 - Mettre d'abord le bouton poussoir à la position (ON), et tout de suite le remettre à la position (OF), et confirmer le sens de rotation de la pompe.

✓ **Démarrage :**

- Faire annoncer le démarrage de la pompe à la salle de contrôle, et confirmer que les préparatifs de démarrage de la salle de contrôle sont tout à fait terminés.
- Pousser le bouton de démarrage de la boîte d'interrupteur locale, et démarrer la pompe.

✓ **Inspection après le démarrage :**

- Vérifier qu'il n'y a pas d'anomalie de la pression de refoulement.
- Vérifier qu'il n'y a pas d'anomalie de l'ampérage du moteur.
- Vérifier qu'il n'y a pas de bruits anormaux du moteur ou du palier au moyen d'un sonomètre.
- Vérifier qu'il n'y a pas de vibration anormale et de chute de la pression de refoulement dues au colmatage de la crépine d'aspiration.
 - Vérifier des fuites de la garniture mécanique. [10]

❖ **Réglage du débit:** trois moyens sont possibles:

- Variation de la vitesse de rotation de la pompe par un dispositif électronique.
- Vanne de réglage située sur la canalisation de refoulement de la pompe.

Pour éviter le risque de cavitation: suivant son degré d'ouverture, la perte de charge du réseau va augmenter ou diminuer ce qui va entraîner la variation du point de fonctionnement.

- Réglage en "canard" avec renvoi à l'aspiration d'une partie du débit.

Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur.

II.10. Problèmes relatifs à l'utilisation des pompes centrifuges :

Comme toutes les machines, elles font l'objet des problèmes qui doivent être bien revus avant d'avoir recours à leur utilisation. [1]

Problèmes	Causes	Remèdes
1- la pompe ne déplace pas le fluide	-soupapes (aspiration ou impulsion) fermées. - sens de rotation incorrecte. - l'air entre par le tuyau d'aspiration. - la hauteur maximale créée par la Pompe est inférieure à celle exigée par l'installation. -tuyau d'aspiration ou pompe mal amorcée	- les ouvrir. -changer les branchements du moteur. - réviser herméticité du tuyau - augmenter la vitesse de rotation, si cela n'était possible, il serait nécessaire de monter un démarreur plus grand ou une pompe plus grand, -nous consulter.
2- débit ou pression insuffisants	- soupape d'aspiration ou d'impulsion mal réglées. - vitesse de rotation incorrecte. - bagues de frottements usés. - démarreur obstrué ou usé. - l'air entre par le tuyau le système de	-Ouvrir complètement la soupape d'aspiration et chercher le point de travail avec celle d'impulsion. - mesure la vitesse, vérifier la tension De réseau d'actionnement du moteur. - les démonter et les changer. - démonter le démarreur et l'inspecter - nettoyer les tuyaux.

	<p>fermeture.</p> <ul style="list-style-type: none"> - amorçage défectueux. 	<ul style="list-style-type: none"> - démonter le système de fermeture et le réviser.
<p>3-bruits et vibrations</p>	<ul style="list-style-type: none"> -roulements, mal montés ou mal lubrifiés. - bagues de frottements usés ou mal montées. - axe décentré ou déformé. - démarreur déséquilibré ou usé. - mauvais alignement entre la pompe et le moteur. - la pompe forme cavitation. - diamètres de tuyau insuffisants. 	<ul style="list-style-type: none"> - changer les roulements : les monter à nouveau, si nécessaire, les graisser. - changer les bagues et les installer de nouveau. - le démonter et le remplacer. - l'équilibrer ou le changer. - aligner l'accouplement. -améliorer l'aspiration, nous consulter. - si cela est possible, tuyau de plus grand diamètre.
<p>4- Puissance Absorbée excessive</p>	<ul style="list-style-type: none"> - densité ou viscosité du liquide supérieure à la normale. - mauvais alignement entre pompe et moteur. - roulements usés ou mal montés. 	<ul style="list-style-type: none"> - réduire le point de façonnage, ou changer le moteur. - aligner l'accouplement. - les changer ou vérifie leur montage.
<p>6-Démarrage difficile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance mécanique. - Absence d'une phase. - Tension d'alimentation faible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier les paliers et vérifier que la machine utilisatrice est on ordre de marche. - Vérifier les branchements de la Plaque abornes. - Vérifier la tension de la ligne; les fusibles et les interrupteurs.

<p>7-echauffement anormal de carcasse</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Défaut d'isolement. - Court-circuit entre les enroulements. - Le rotor frotte contre le stator par ce que les paliers sont usés. - Paliers grippés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier l'isolement. Si les défauts Sont dus à l'humidité 'écher les bobinages. Dans le cas contraires démonter la machine et réparer. - Vérifier la puissance absorbée par chaque phase ou les chutes de tension. - Remplacer les paliers. - Réparer ou remplacer.
<p>8- Le moteur ne tourne pas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Une Coupure dans Les Bobines du stator. - Les Bobines sont en courts circuits. - L'absence de L'alimentation. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier Les Résistances Des Bobines et Les Remplacer. - S'assurer que l'état de court-circuit existe et qu'il soit annulé. - assurer alimentation.

Tableau (II .1): Problèmes d'une pompe centrifuge.

B .Généralité sur la FMD :

II.1. Introduction :

L'évolution actuelle des technologies et des techniques de production, ainsi que l'augmentation de la concurrence, ont conduit les industriels à réaliser d'importants progrès dans le domaine de la qualité de leurs produits, c'est-à-dire leur aptitude à satisfaire les besoins de l'utilisateur.

C'est dans cette démarche d'amélioration de la qualité que se place la fiabilité. En effet, celle-ci mesure l'évolution des capacités d'un produit en fonction du temps de fonctionnement, en tenant éventuellement compte des temps de dysfonctionnement des produits.

De plus, une connaissance précise et exacte de la fiabilité d'un produit permet de mettre en place, quand cela s'avère nécessaire, des procédures de maintenance préventive qui diminuent sensiblement les coûts en diminuant le nombre de pannes des matériels; une maintenance préventive convenablement réalisée peut permettre d'éviter les ruptures critiques et les accidents...

II.2. Sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement (appelé FMDS), est un concept qui englobe la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité.

La sûreté de fonctionnement représente l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer de performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement. [17]

Ces dispositions laissent supposer de nouveau que les multiples actions et missions de la maintenance sont alors classées en quatre groupes :

- Limiter le nombre de défaillances (améliorer la fiabilité).
- Réparer et maintenir en respectant le cahier de charge (améliorer la maintenabilité).
- Maîtriser la production (agir sur la disponibilité).
- Protéger les personnes, l'environnement et les biens (assurer la sécurité).

La sûreté de fonctionnement est devenue un objectif majeur, puisque directement liée à l'évaluation des performances des systèmes industriels.

En effet, les pannes des équipements, les pertes de production consécutives, et la maintenance des installations ont un impact économique direct sur les entreprises.

On peut caractériser les performances d'un système par : [12], [13]

- Les coûts d'exploitation : intégrant les bénéfices liés à la production et les dépenses réalisées pour effectuer les tâches de maintenance.
- La disponibilité du système : plus particulièrement ses durées d'indisponibilité fortuites, liées aux pannes, et les durées d'indisponibilité programmées, résultant des opérations de maintenance.
- La sûreté du système : les risques encourus pour les personnes, l'environnement et les installations.

II.3. Concepts de la FMD :

II.3.1 La fiabilité :

La fiabilité d'une entité est son aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné, sachant qu'elle était en état d'accomplir cette fonction au début de l'intervalle de temps donné. En pratique, la fiabilité se traduit souvent comme l'aptitude d'une entité à avoir une faible fréquence de défaillance.

La fiabilité d'un groupe d'éléments à un instant t est donc la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période [0, t]. (**Figure II. 2**)

On commence par souligner que :

- La durée de vie d'un système (T) est une mesure de la quantité de service rendu,

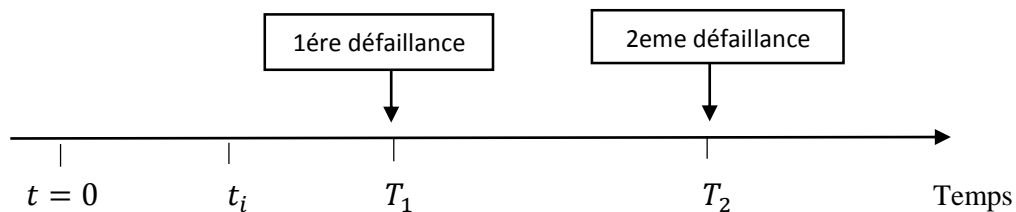


Figure (II. 2) : Temps de défaillance.

- Un dispositif, mis en fonctionnement pour la première fois à un instant t=0, sera inévitablement défaillant (ou en panne) à un instant T, non connu a priori.
- La fiabilité nommée R (t) exprime la probabilité de bon fonctionnement, ou t désigne la durée de la mission. C'est donc une grandeur comprise entre 0 et 1.

$$R(t) = P(\text{dure de vie} > T)$$

$$R(t) = P(t > T)$$

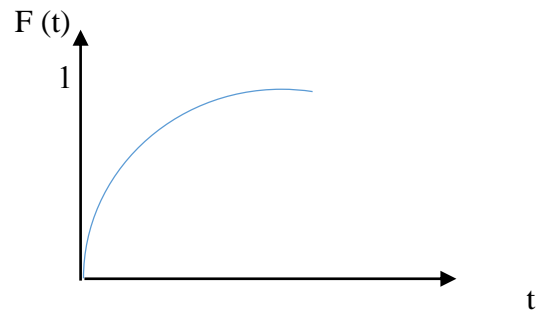
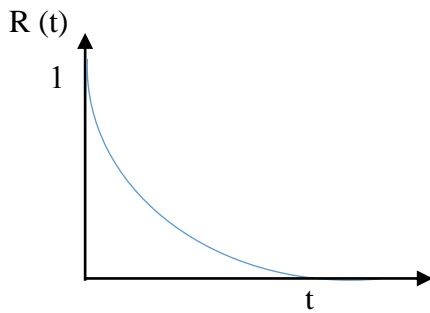
Elle se calcule aisément :

$$R(t) = \frac{\text{Nombre d'éléments en vie à l'instant } t}{\text{Nombre d'éléments en essai}}$$

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(t) dt \tag{II-1}$$

On définit, par complémentarité, la fonction cumulée de défaillance F (t),

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (\text{II-2})$$



Figure(II.3) : Fonction cumulée de fiabilité. **Figure(II.4) :** Fonction cumulée de F(t).

On définit ensuite $f(t)$, la probabilité de défaillance d'un élément à l'instant t . C'est la dérivée de la fonction $F(t)$. (**Figure II. 5**)

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{II-3})$$

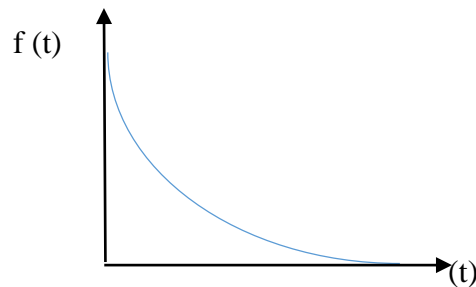


Figure (II. 5) : Fonction de défaillance $f(t)$.

II.3.1.1 Les différents types de fiabilité : [7]

a) Fiabilité intrinsèque :

Elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.

b) Fiabilité extrinsèque :

Elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événements relatifs à l'intervention humaine.

c) Fiabilité implicite :

Basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.

d) Fiabilité explicite :

Dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

II.3.1.2 Paramètres nécessaires à la mesure de fiabilité :

a) Variable aléatoire :

On appelle variable aléatoire (x) celle à laquelle nous pouvons associer une probabilité pour chaque valeur de (x).

- Variable aléatoire continue : Intervalle de temps entre défaillance consécutive d'un matériel.
- Variable discrète : Nombre de défaillance d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée.

b) Densité de probabilité :

Généralement en fiabilité elle est notée $f(t)$ et représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps (t).

c) La fonction de répartition :

$F(t)$ est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps $[0, T]$

$$F(t) = \int_0^x f(t)dt \quad (\text{II-4})$$

d) La fonction de fiabilité :

Nous appelons $R(t)$ la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t), ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t).

e) La MTBF :

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$MTBF = \frac{\text{temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre d'intervalles de temps de bon fonctionnement}}$$

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad (\text{II-5})$$

f) Taux de défaillance :

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge t qu'elle a déjà et l'âge $T + dt$ est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et $T + dt$, sachant qu'elle a survécu jusqu'à T . D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt)-F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} \quad (\text{II-6})$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t .

On a donc :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II-7})$$

$\lambda(t)$ S'exprime également par l'inverse d'un temps, mais n'est pas une densité de probabilité. L'expérience montre que pour la plupart des composants, le taux de défaillance suit une courbe en baignoire représenté sur la (**Figure II-6**) suivante :

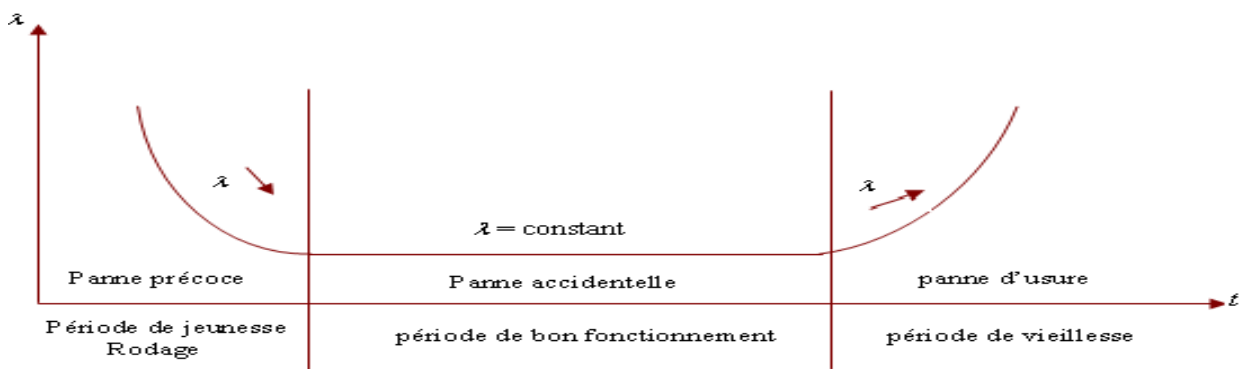


Figure (II. 6) : Courbe en baignoire. [7]

Cette courbe représente trois périodes :

- **La période de jeunesse ou de rodage :**

Correspond à l'apparition de défaillances, dues à des malfaçons ou à des contrôles insuffisants. Dans la pratique, le fabricant procède à un rodage de son matériel afin d'éviter que cette période ne se produise après l'achat du matériel.

- **La période de bon fonctionnement :**

Dans cette période, le taux d'avaries est sensiblement constant, les avaries surviennent de manière aléatoire et ne sont pas prévisibles par examen du matériel ; ces défaillances sont dues à un grand nombre de causes et sont liées à la fabrication des dispositifs.

- **La période de vieillissement :**

Le taux d'avaries est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive. [7]

II .3.1.3 Modèles de fiabilité : [14].

A. Loi Exponentielle :

Il s'agit d'une loi de distribution largement utilisée dans de nombreux domaines en général, et dans la maintenance en particulier. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est plus couramment utilisée en fiabilité des systèmes électroniques pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire). Définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, elle est caractérisée par :

- **La densité de probabilité :**

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \text{ avec } t \geq 0 \quad [14] \text{ (II-8)}$$

- **La Fiabilité :**

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \text{ avec } 0 \leq t \leq +\infty \quad [14] \text{ (II-9)}$$

- **Le taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \lambda = \text{cte}, \text{ avec } 0 \leq t \leq +\infty \quad [14] \text{ (II-10)}$$

B. Loi de Weibull :

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- **Le paramètre de position γ** qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).

- **Le paramètre d'échelle η** qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.

- **Le paramètre de forme β** qui est associé à la cinétique du processus observé.

- **Densité de probabilité :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{avec } t \geq \gamma \quad [14] \text{ (II-11)}$$

- **Fonction de repartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [14] \text{ (II-12)}$$

- **La fiabilité :**

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [14] \text{ (II-13)}$$

- **taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \quad \text{(II-14)}$$

Donc :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{(II-15)}$$

Remarque :

Si $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases}$ $\lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$ (II-16)

$$a = r\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{et de } b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)} - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{(II-17)}$$

- **Moyenne des temps de bon fonctionnement :**

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{(II-18)}$$

En fonction de β d'où :

$$MTBF = \gamma + a \eta \quad \text{(II-19)}$$

Le paramètre de position γ étant souvent nul, on se ramène à :

$$F(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) \quad \text{(II-20)}$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{(II-21)}$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{(II-22)}$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{(II-23)}$$

Donc $\gamma = 0$ ou, en faisant le changement de variable, $t_1 = t - \gamma$, on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour t (ou) t_1 positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrés sur la (Figure II-7)

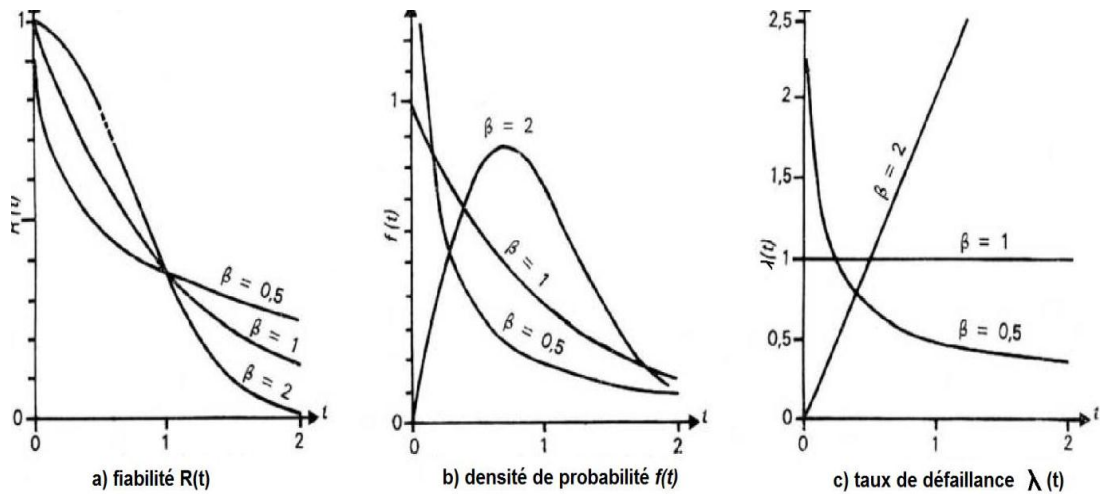


Figure (II.7) : Principales propriétés de la distribution de Weibull.

a) Application à la fiabilité :

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est :

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

Soit $1.5 < \beta < 2.5 \rightarrow$ exprime un phénomène de fatigue.

Soit $3 < \beta < 4 \rightarrow$ exprime un phénomène d'usure.

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire).

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge γ .

b) Estimation des paramètres de la loi de weibull :

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres : (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

- **Graphique à échelle fonctionnelle :**

Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

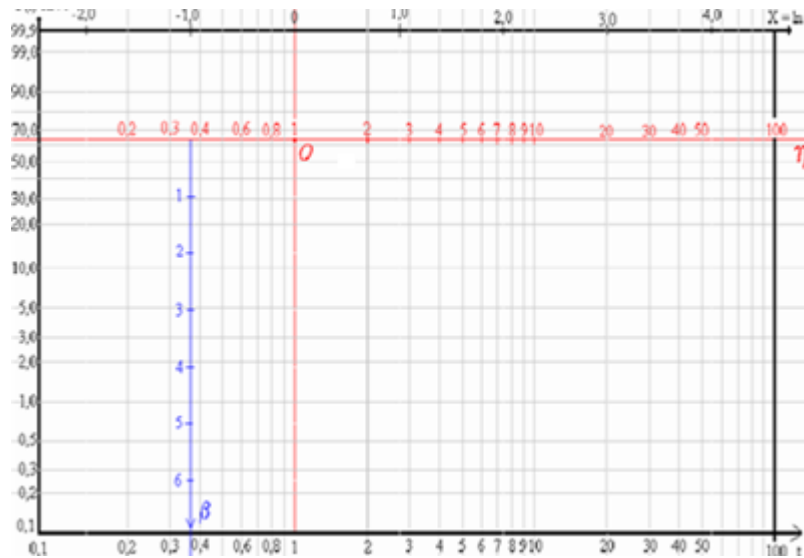


Figure (II.8) : Papier de weibull [15].

- A : Axe de t.
 - B : axe de F(t) (en %).
 - a : Ln (t).
 - b : Ln (Ln (1/ [1-F(t)])).
 - X et Y : permettent de déterminer béta (Y = béta X).
- (sur Figure II.8)

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences Cumulées de défaillance F (i), approximation de F (t). [15]

c) Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement.
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant.
- 3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement.
- 4) Recherche des données F (i), F(i) représente la probabilité de panne au temps Correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ième défaillant.

On a 3 cas différents :

1- Si N > 50, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t) \quad [15] \text{ (II-24)}$$

2- Si 20 < N < 50, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs Moyens) :

$$F(i) = \frac{N_i}{N+1} \approx F(t) \quad [15] \text{ (II-25)}$$

3- Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians) :

$$F(i) = \frac{Ni-0.3}{N+0.4} \approx F(t) \quad [15] \text{ (II-26)}$$

Et on fait le Tracé du nuage des points M (F(i), t) :

Recherche de γ :

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

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante. [15]

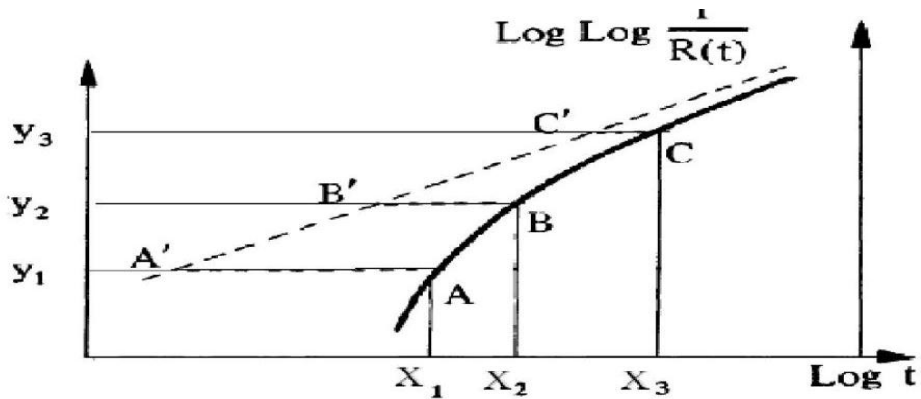


Figure (II.9) : Redressement de la courbe par translation. [15]

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

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (II.27)$$

Considérons les points :

A (X₁, Y₁) ; B(X₂, Y₂) ; C(X₃, Y₃) X₃

$$\begin{cases} Y_3 > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$$

En arrangeant on obtient :

$$\gamma = X_2 \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)} \quad (II.28)$$

Recherche de η :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

Recherche de β :

- bêta est la pente de la droite de corrélation.
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit en suite bêta sur l'axe b. [15]

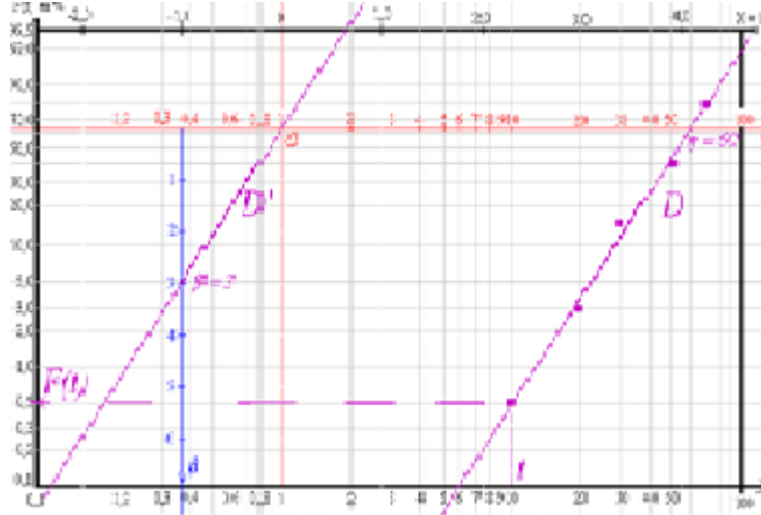


Figure (II.10) : Droites // papier de Weibull. [15]

d. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV):

Avant la validation de toutes les Loies de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha = 20\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $Fe(ti)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $Dn.max$.

Cette valeur est comparée avec $Dn.\alpha$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe1). Si $Dn.max. > Dn.\alpha$ On refuse l'hypothèse.

II.3.1.4. La fiabilité d'un système :

A. système de composants montés en séries :

$R(s)$ représente la fiabilité d'un ensemble de "n" composants montés en série. La fiabilité $R(s)$ d'un ensemble de "n" composants A, B, C, ..., n montés ou connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives RA, RB, RC, \dots, Rn de chacun des composants. [16]



Figure (II.11) : Système de composants montés en séries. [16]

On a donc :
$$R(s) = Ra * Rb * Rc * \dots * Rn \tag{II-29}$$

Note 1 : Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante :

$$R(s) = R^n \quad (II-30)$$

Note 2 : Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule :

$$R(s) = (e^{-\lambda_A}) \times (e^{-\lambda_B}) \times (e^{-\lambda_C}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n}) \quad (II-31)$$

Avec :

$$MTBFs = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n} \quad (II-32)$$

Si en plus, les composants sont identiques : $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \dots = \lambda_n = \lambda$ (II-33)

Alors :

$$R(s) = e^{-n\lambda t} \quad (II-34)$$

$$MTBFs = \frac{1}{n \times \lambda} \quad (II-35)$$

B. Système de composants montés en parallèle :

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant des composants (Identiques ou non) en parallèle. Un dispositif, constitué de "n" composants en parallèle, ne peut tomber en panne que si les "n" composants tombent tous en panne au même moment. Soit les "n" composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i , alors :

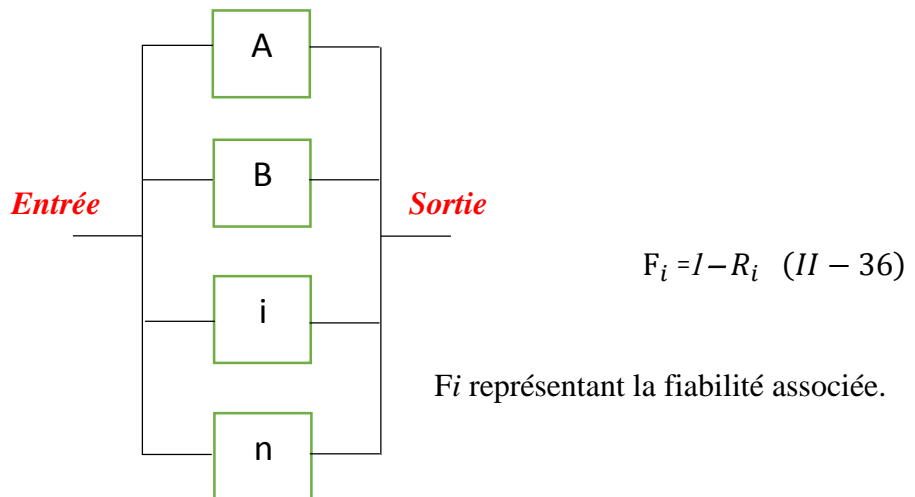


Figure (II.12) : Système de composants montés en parallèle.

La probabilité de pannes $F(s)$ de l'ensemble des "n" composants en parallèle est égal au produit des F_i entre eux :

$$F(s) = F_1 \times F_2 \times F_3 = (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n) \quad (II-37)$$

La fiabilité $R(s)$ de l'ensemble est donnée par la relation :

$$R(s) = 1 - (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n) \quad (II.38)$$

Note : Si les "n" composants sont identiques ($R = R_1 = R_2 = \dots = R_n$) et ont tous la même fiabilité R, l'expression devient : [15] $R(s) = 1 - (1 - R_n)^n$ (II-39)

II.3.2 La maintenabilité :

II.3.2.1 Définition :

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ». [15]

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation (MTTR).

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (II-40)$$

II.3.2.2 Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (II-41)$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation. [15]

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (**Figure II.13**) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en $t = 0$.

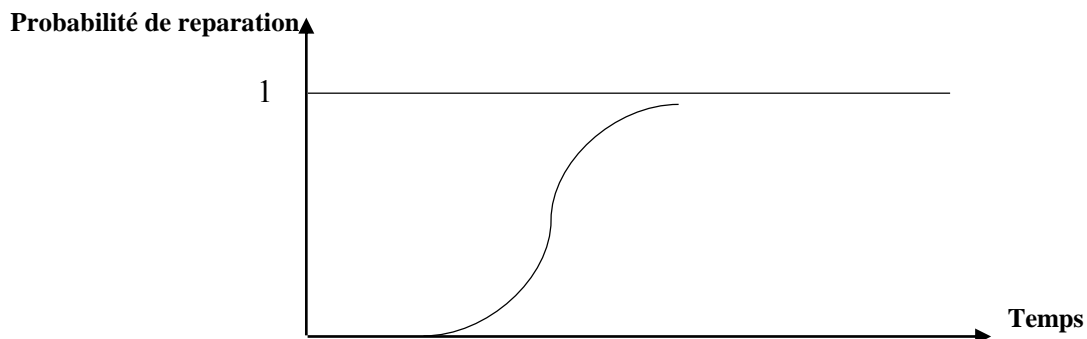


Figure (II.13) : Probabilité de réparation au cours de temps. [15]

II.3.2.3 Amélioration de la maintenabilité :

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

Le maintenancier doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes : [15]

- Disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- Utilisation des systèmes d'aide au diagnostic.
- Utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne.
- Disponibilité des accessoires outillages.

II.3.3. La disponibilité :

II.3.3.1 Définition :

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ».

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production.
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [7]

II.3.3.2. Les types de disponibilité :

a. disponibilité intrinsèque :

Elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales. [16]

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTTE} \quad (\text{II-42})$$

Où :

TBF : Temps de bon fonctionnement.

TTR : Temps techniques de réparation.

TTE : Temps techniques d'exploitation.

b. Disponibilité opérationnelle :

Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

Le calcul de D_o fait appel aux mêmes paramètres TBF, TTR et TTE sauf que ces 3

paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement. [16]

c. Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport suivant : [16]

$$D_o = \frac{\text{temps de disponibilité}}{\text{temps de disponibilité} + \text{temps d'indisponibilité}}$$

$$D_o = \frac{TCBF}{TCBF + TCI} \tag{II.43}$$

Où :

TCBF = Temps cumulé de bon fonctionnement.

TCI = Temps cumulé d'immobilisation.

II.3.3.3. Amélioration de la disponibilité :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité).
- La réduction de la MTTR (action sur la maintenabilité).
- Fiabilité.
- Maintenabilité.
- Logistique.

II.3.3.4. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR : [15]

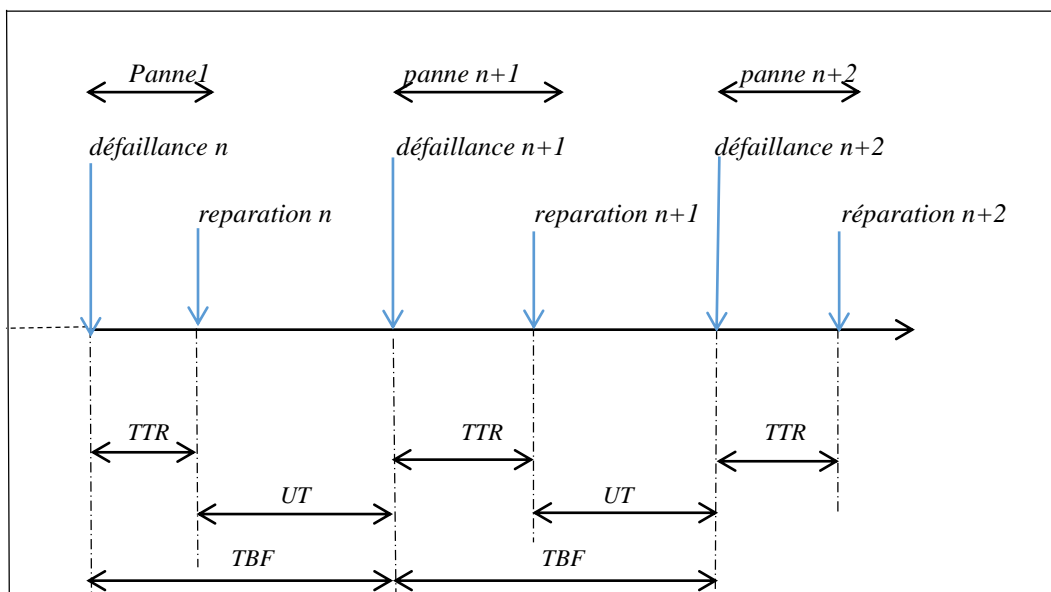


Figure (II.14) : La relation entre MUT, MTBF, et MTTR.

$$MTBF = MUT + MTTR$$

II.4. La relation entre les notions FMD : [17]

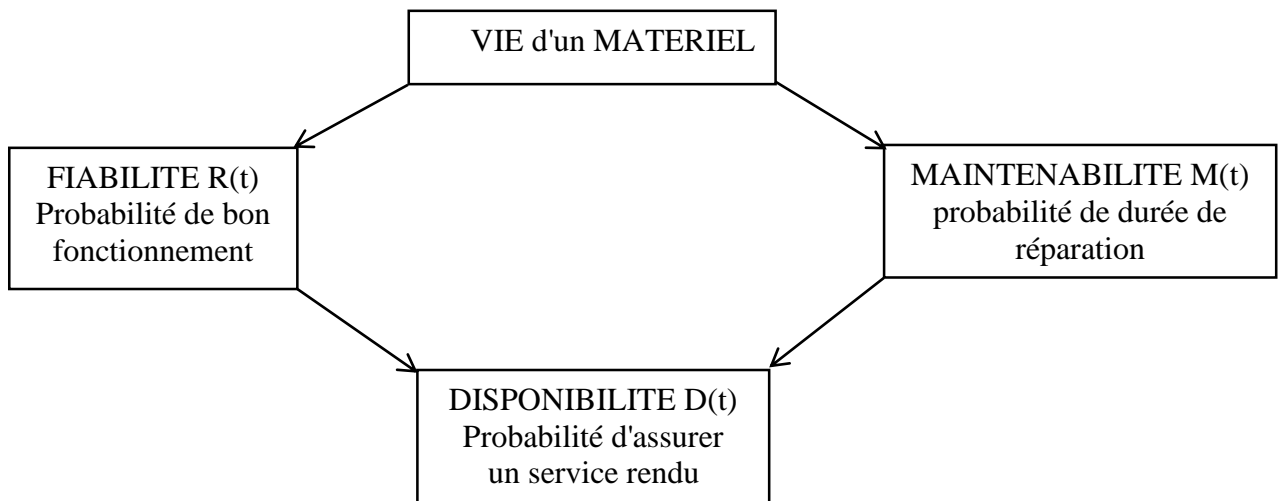


Figure (II.15) : La relation entre les notions FMD. [17]

II.5. Optimisation de la maintenance préventive:

L'un des problèmes économiques qui peut être résolu par la connaissance de la fiabilité est la détermination de la période optimale de la maintenance préventive.

Il sera commode, de considérer ici qu'une machine (ou un système) qui comporte un organe défaillant d'étudier quelles sont les conséquences des décisions que l'on peut prendre au sujet du remplacement de cet organe. [18; 19].

II.5.1. Remplacement systématique au bout du temps T_r :

La maintenance préventive de type systématique consiste à faire des remplacements périodiques. Ces remplacements sont effectués à des intervalles de temps fixes et prédéterminés, si entre les périodes de remplacement une défaillance se produit, on procède alors à une maintenance corrective. Cette politique de maintenance présente des défauts dans son principe puisqu'elle permet un gaspillage de pièces de rechange. Ainsi, on pourra changer une pièce ou un organe qui vient d'être remplacé dans l'intervention d'une opération curative. [22]

II.5.2. Prise en compte des éléments économiques du renouvellement :

Tout d'abord il est nécessaire de définir la façon d'obtenir les éléments économiques :

Coût de préventif C_p et coût de défaillance C_d .

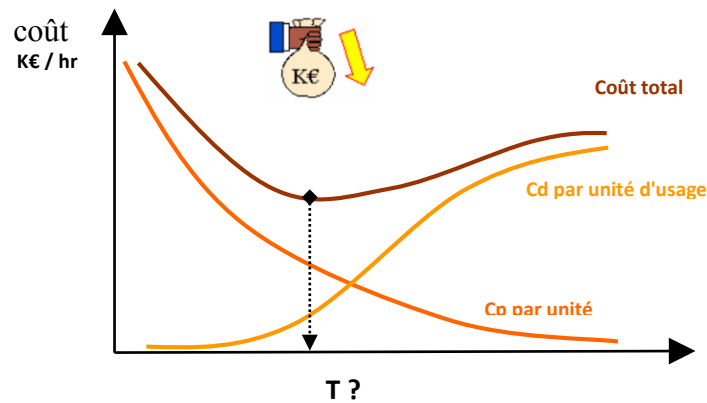


Figure (II.16) : Bilan des coûts.

❖ **Détermination des coûts :**

Il faut faire le bilan :

✓ Coût des défaillances Cd, il s'obtient à partir des:

- Pertes de production : « Pp »
T : Temps d'arrêt
Ch : Coût horaire (ce que produit l'atelier en heure).

$$Pp = T * Ch \tag{II-44}$$

- Pertes de matière premières : Pm
(Matières consommées et non transformées en produit négociables).
- Pertes d'amortissement : Pa (des matériels en panne).
- Energie consommée : Pe (en pure perte).

D'où le coût de défaillance « Cd » :

$$Cd = Pp + Pm + Pa + Pe \tag{II-45}$$

Il faut également considérer l'effet psychologique sur le personnel, La clientèle : diminution de la qualité et des délais difficilement chiffrables mais réels.

✓ Coût de l'entretien preventive (Cp), on le calcule à partir du :

- Coût des salaires :
 $Cs = (\text{Salaires directs} + \text{charges}) + (\text{Salaires indirectes} + \text{charges})$
- Coût d'amortissement Ca: Amortissement du matériel d'entretien (ramené à l'heure).
- Temps d'intervention : T soustraïtance.

- Coût stockage des pièces détachées: C_o
- Coût des pièces et matières: C_m

D'où le coût de l'entretien « C_p » :

$$C_p = (C_s + C_a) T + C_o + C_m \quad (\text{II-46})$$

II.5.3. Etude des différents types de renouvellement :

La stratégie de renouvellement peut suivre différentes stratégies, dont le renouvellement à dates fixes et celui à âges fixes.

II.5.3.1. Renouvellement à dates fixes :

Le remplacement à dates fixes facilite la synchronisation des actions de maintenance entre des matériels différents mais présente l'inconvénient de remplacer des matériels ayant éventuellement bénéficié d'une maintenance corrective.

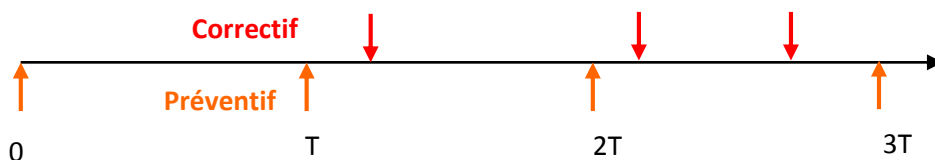


Figure (II.17) : Renouvellement à dates fixes.

Durant une période T de renouvellements préventifs, l'espérance de coût est :

$$C = C_p + N_2 * C_d \quad (\text{II-47})$$

Avec N_2 : L'espérance du nombre de défaillances pendant T soit :

$$N_2 = [1-R(T)] \quad (\text{II-48})$$

Où le coût horaire :

$$C_{\text{horaire}} \approx (C_p + [1-R(T)] C_d) / T \quad (\text{II-49})$$

II.5.3.2. Renouvellement à âges fixes :

Le renouvellement à âges fixes réduit le nombre de renouvellements mais rend ces derniers spécifiques à chaque matériel.

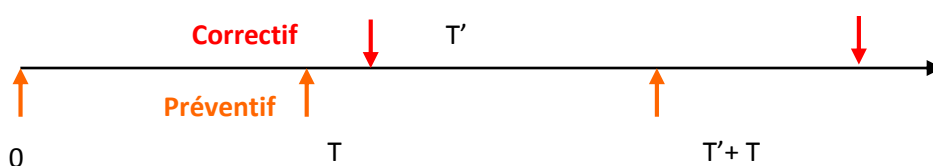


Figure (II.18) : Renouvellement à âges fixes.


L'espérance du coût de chaque renouvellement est :

$$C = C_p R(T) + C_d [1-R(T)] \quad (\text{II-50})$$

Donc celui du coût horaire :

$$C_{\text{horaire}} = (C_p R(T) + C_d [1-R(T)]) / T \quad (\text{II-51})$$

A défaut de pouvoir s'exprimer par une simple expression analytique, la durée moyenne entre deux renouvellements peut se calculer de manière approchée par une somme de termes entre 0 et T.

A decorative border in a light teal color, featuring ornate floral and scrollwork designs at the top, bottom, left, and right corners, framing the central text.

Chapitre III :
Analyse FMD et
optimisation de la
maintenance de la
pompe GA 1102

III.1. Analyse FMD de la pompe GA 1102 :

III.1.1. Cas étudié et préparation des données :

L'examen des fiches technique d'une pompe centrifuge a permis de collecter les données brutes relatives aux dates de services et de remise en service ainsi que les temps de réparations correspondants. Pour pouvoir exploiter ces données brutes, on procédé par:

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultant des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultant des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation. (**Tableau III.1**)

N°	Date de démarrage	Date d'arrêt	TTR (h)	TBF (h)		Cause	Action
1	14/01/2009	08/08/2009	04	5064	24	Haut temperature palier avant	Changement d'huile
2	09/08/2009	29/12/2009	04	3432	24	Haut température palier arrière	Changement d'huile
3	30/12/2009	05/04/2010	07	2304	24	Fuite au niveau de la garniture mécanique	Changement des deux garniture mécanique
4	06/04/2010	15/10/2010	13	3816	72	Bruit anormal de palier avant	Changement de roulement avant
5	18/10/2010	22/04/2011	25	4656	36	Haut température palier avant	Débouchage circuit d'eau
6	24/04/2011	17/12/2011	08	4872	20	Vibration important palier arrière	Changement roulements arrière
7	18/12/2011	30/07/2012	49	5328	60	Vibration sur palier avant et arrière	Démontage et équilibrage de rotor
8	03/08/2012	12/10/2012	25	1695	45	Vibration palier avant	Contrôle d'alignement du groupe

Tableau (III.1) : Dossier historique de la pompe. [1]

III.1.2. Calcul les paramètres de Weibull:

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{\sum n_i - 0.3}{N + 0.4}$ (dans notre cas $N = 8 \leq 20$) et on trace la courbe (de Weibull (**Figure III.1**) et on déduit les paramètres: β , η et γ : (**Tableau III.2**)

N°	TBF(h)	F(i) %	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(i))))
1	1695	8.33%	7.44	-2.44
2	2304	20.24%	7.74	-1.49
3	3432	32.14%	8.14	-0.95
4	3816	44.05%	8.25	-0.54
5	4656	55.95%	8.45	-0.20
6	4872	67.86%	8.49	0.13
7	5064	79.76%	8.53	0.47
8	5328	91.67%	8.58	0.91

β	2.56
η	4458.88
γ	0
R	0.97

Tableau (III.2) : Fonction de réparation réelle et paramètres de Weibull.

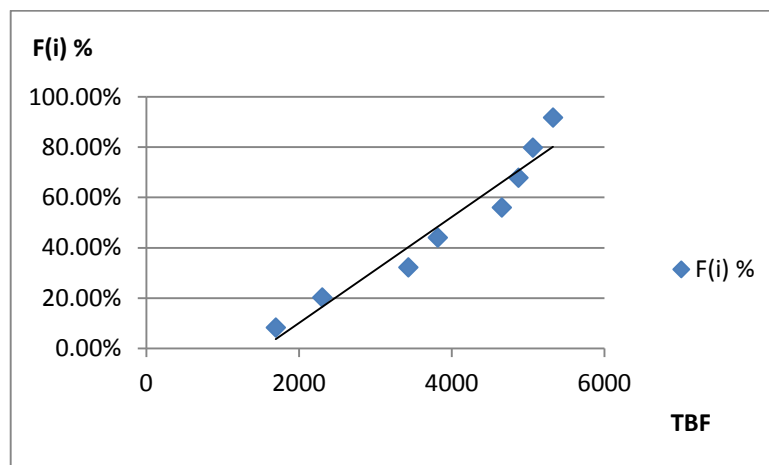


Figure (III.1) : Papier de Weibull.

Avec :

β : Pente de la droite de corrélation.

η : La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse t .

$\gamma = 0$: Par ce que les pannes passent à l'origine du temps.

R : Coefficient de corrélation.

III.1.2.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV) :

Afin de valider la loi de fiabilité, nous avons calculé les écarts absolus entre le modèle théorique et le modèle réel (**Tableau III .3**) et le comparé au valeurs seuils $D_{N \alpha}$ (voir **Annexe2**).

N°	TBF	F (i)	F(t)	F(i) - F(t)
1	1695	0.083	0.081	0.002
2	2304	0.202	0.169	0.033
3	3432	0.321	0.441	-0.120
4	3816	0.440	0.489	-0.049
5	4656	0.560	0.673	-0.113
6	4872	0.679	0.715	-0.036
7	5064	0.798	0.75	0.048
8	5328	0.917	0.794	0.123

Tableau (III.3) : Test de Kolmogrov-Smirnov.

D'après le tableau de K-S :

$$D_{N \max} = |F(i) - F(t)| = 0,123 \text{ tandis que } D_{N \alpha} = D_{8,0.20} = 0,358.$$

0,123 < 0,358 donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

III.1.2.2. Exploitation les paramètres de Weibull :

Le tableau (**Annexe 2**) nous permet d'identifier les paramètres : A= 0, 8873, B=0, 38

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma \tag{III.1}$$

$$MTBF = 0,8873 \times 4458.88 + 0.$$

$$MTBF = 3956.36 \text{ h.}$$

f(t=MTBF)	F (t=MTBF)	R(t=MTBF)	$\lambda(t=MTBF)$
20 %	53 %	47 %	0.0004256

Tableau (III.4) : Les paramètres de Weibull en fonction de MTBF.

- **Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :**

$$R(t) = 80 \% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{III.2}$$

$$\ln R(t) = -(t/\eta)^\beta = \ln(0.8) \Rightarrow [\ln R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln R(t)]^{1/\beta}$$

$t_{\text{sys}} = 2482$ heures.

Pour garder la fiabilité de la pompe 80% il faut intervenir chaque temps systématique 2482 h.

III.1.3. Étude du modèle de Weibull :

Les valeurs de la fonction de fiabilité, de défaillance, de la fonction de probabilité et du taux de défaillance pour la pompe sont calculées dans le (Tableau III.5).

N°	TBF	TTR	F (i)	R(t)	F(t)	I(t)	f(t)
1	1695	4	0.083	0.919	0.081	0.127	0.117
2	2304	4	0.202	0.831	0.169	0.203	0.169
3	3432	7	0.321	0.559	0.441	0.381	0.213
4	3816	13	0.440	0.511	0.489	0.446	0.228
5	4656	25	0.560	0.327	0.673	0.614	0.201
6	4872	8	0.679	0.285	0.715	0.66	0.188
7	5064	49	0.798	0.25	0.75	0.7	0.175
8	5328	25	0.917	0.206	0.794	0.758	0.156

Tableau (III.5) : Les valeurs de R (t) , F(t), f(t) et λ(t).

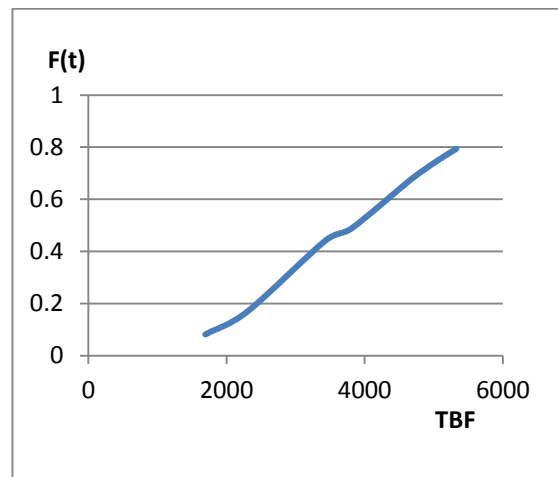
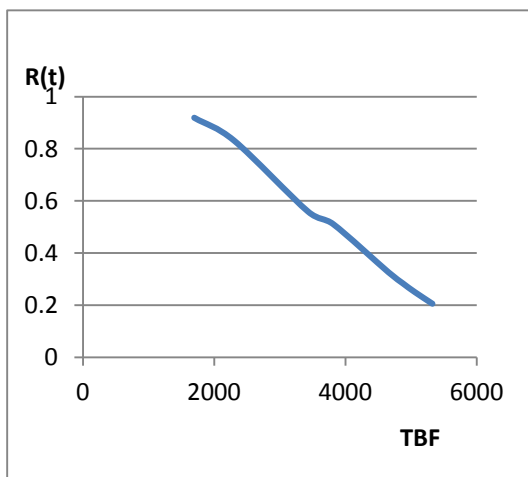


Fig Figure (III.2): La courbe de fonction de fiabilité.

Figure (III.3): La courbe de fonction de répartition.

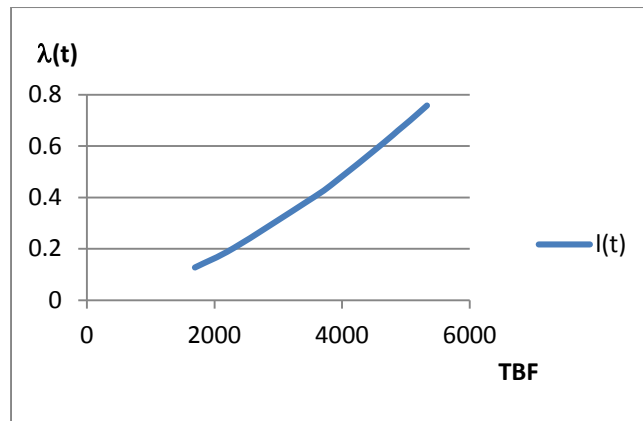


Figure (III.4): La courbe taux de défaillance.

❖ **Analyses de courbes:**

Pour les courbes relatives à la fiabilité, à la fonction de défaillance, au taux de défaillance et la fonction de densité de probabilité de défaillance on peut tirer les constats suivants:

- Pour la fonction de fiabilité (**Figure III-2**) la fiabilité diminue d'une façon exponentielle avec le temps.
- Pour la fonction de défaillance (**Figure III-3**) contrairement à la fonction de fiabilité elle augmente avec le temps avec des valeurs complémentaires.
- Pour le taux de défaillance (**Figure III-4**) il a une allure croissante avec le temps ce qui est caractéristique de la zone vieillesse de la courbe en baignoire. (**Figure III.5**).

III.1.4. Calcul la maintenabilité de la pompe :

D'après l'historique des pannes de la pompe :

$$MTTR = \Sigma TR/N.$$

TR : Temps de réparation.

N : Nombre de pannes.

$$MTTR = 135/8 = 16.87 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \tag{III.3}$$

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/16.87 = 0,0593$ intervention / heure.

T(h)	M(t)
0	0
20	0.694
40	0.906
60	0.971
70	0.984
80	0.991
110	0.998
130	0.999
140	0.999

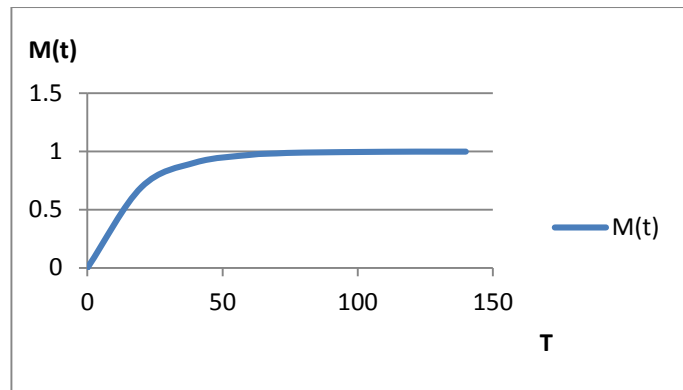


Tableau (III.6) : La maintenabilité.

Figure (III.5) : La Courbe de maintenabilité de la pompe.

D'après la courbe de maintenabilité (Figure III-5) on constate que sa valeur croit avec le temps et c'est autant vrai que les défaillances se manifestent d'une de façon de plus en plus récurrente.

III.1.5. Calcul la disponibilité de la pompe :

❖ Disponibilité intrinsèque au asymptotique :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{3956.36}{3956.36 + 16.87} = 0.996$$

❖ Disponibilité instantané :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \tag{III.4}$$

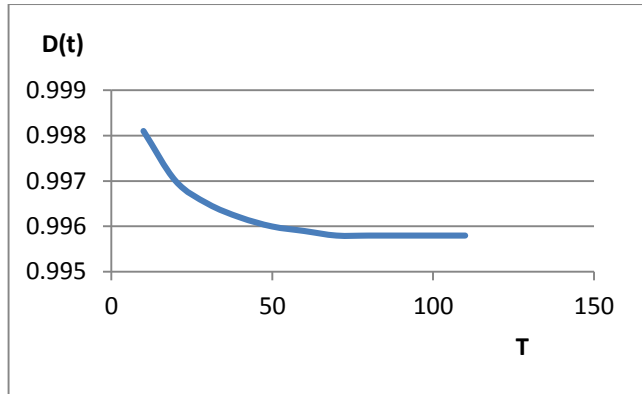
$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{3956.36} = 0,000252h$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{16.87} = 0.059277(\text{intervention / heure}).$$

$$\mu + \lambda = 0,000252 + 0.059277 = 0.059528$$

$$D(t) = \frac{0.059277}{0.059528} + \frac{0,000252}{0.059528} e^{-(0.059528)t}$$

T(h)	D(t)
10	0.9981
20	0.997
30	0.9965
40	0.9962
50	0.996
60	0.9959
70	0.9958
80	0.9958
90	0.9958
100	0.9958
110	0.9958



Tabl **Tableau (III.7) :** Disponibilité instantané. **Figure (III.6) :** La Courbe de disponibilité instantané.

D’après la courbe de disponibilité (**Figure III-6**) on constate que sa valeur décroît avec le temps et c’est autant vrai que les défaillances se manifestent d’une de façon de plus en plus récurrente.

I III.2. Etude des différents types de renouvellement préventif :

III.2.1. Renouvellement optimal à dates fixes :

A défaut de données réelle d’exploitation et de maintenance, nous allons supposer des coûts approximatifs (**Tableau .III.8**).

Cp	100	kDZ
Cd	500	kDZ
T:	2450	h
Ct.h	0.008045	kDZ/h

Tableau (III.8) : Le coût de maintenance à dates fixes.

t	R(t)	C _{ph}	C _{d.h}	C _{t.h}
0	1			
1000	0.9784	0.1	0.0108	0.1108
1500	0.9403	0.066667	0.0199	0.086567
2000	0.8794	0.05	0.03015	0.008015
2500	0.7966	0.04	0.04068	0.008068
3000	0.6958	0.033333	0.0507	0.008403
3500	0.5839	0.028571	0.059442857	0.008801
4000	0.4689	0.025	0.0663875	0.009139
4500	0.3592	0.022222	0.0712	0.009342
5000	0.2616	0.02	0.07384	0.009384
5500	0.1806	0.018182	0.074490909	0.009267
6000	0.1178	0.016667	0.073516667	0.009018
6500	0.0724	0.015385	0.071353846	0.008674
7000	0.0418	0.014286	0.068442857	0.008273
7500	0.0226	0.013333	0.06516	0.007849
8000	0.01114	0.0125	0.06180375	0.00743
8500	0.0054	0.011765	0.058505882	0.007027
9000	0.0023	0.011111	0.055427778	0.006654
9500	0.0009	0.010526	0.052584211	0.006311
10000	0.0003	0.01	0.049985	0.005999
10500	0.000128675	0.009524	0.04761292	0.005714

Tableau (III.9) : Les valeurs de C_{p.h}, C_{d.h} et C_{t.h} en dates fixes.

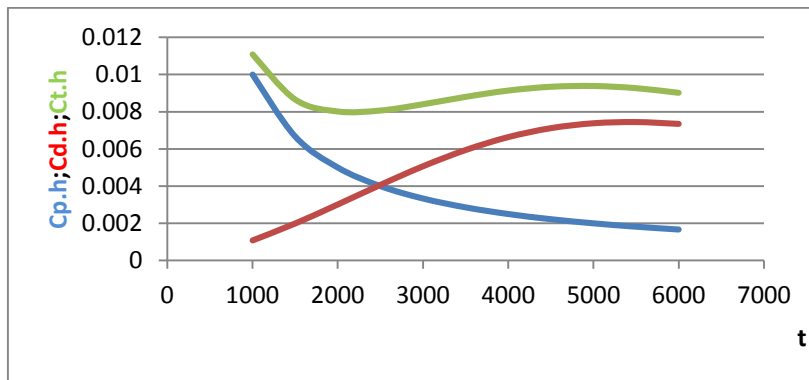


Figure (III.7) : La courbe de C_{p.h}, C_{d.h} et C_{t.h} en dates fixes.

On remarque d'après la (Figure III.7) qui représente l'évolution des coûts horaires des interventions correctives et préventives ainsi que leurs sommes, que le coût du préventif diminue avec le temps, par contre le coût du correctif augmente. Ceci est justifié par le fait qu'avec le temps les équipements vieillissent et l'occurrence des défaillances devienne de plus en plus importante. Par ailleurs, la courbe du coût total de maintenance présente un minimum au point 2450 heure qui

n'est autre que le temps optimal de la maintenance préventive à dates fixes avec un coût horaire correspondant égal à 0.008045 kDZ/h.

III.2.2. Renouvellement optimal à âges fixes :

A défaut de données réelle d'exploitation et de maintenance, nous allons supposer des coûts approximatifs (**Tableau III.10**).

Cp	10	KDZ
Cd	50	KDZ
T	[2432.36;2457.18]	h
Cth	0.072522	KDZ/h

Tableau (III.10) : Le coût de maintenance à âges fixes.

T	R(t)	Cph	Cdh	Cth
0				
24.82	0.999998	4.029001	4.02901E-05	4.02904
49.64	0.99999	2.014484	0.000100725	2.01459
74.46	0.99997	1.342963	0.00020145	1.34316
99.28	0.99994	1.007192	0.000302176	1.00749
124.1	0.99989	0.805713	0.000443191	0.080616
148.92	0.99983	0.671387	0.000570776	0.067196
173.74	0.99975	0.575429	0.000719466	0.057615
198.56	0.99965	0.50345	0.000881346	0.050433
223.38	0.99953	0.447457	0.001052019	0.044851
248.2	0.99938	0.402651	0.001248993	0.04039
273.02	0.99921	0.365984	0.00144678	0.036743
297.84	0.99902	0.335422	0.001645179	0.033707
322.66	0.9987	0.309521	0.002014504	0.031154
347.48	0.9985	0.287355	0.002158398	0.028945
372.3	0.9982	0.268117	0.002417405	0.027052
397.12	0.9979	0.251284	0.002644037	0.025388
.				
.				
.				
2382.72	0.8178	0.034322	0.038233615	0.072556
2407.54	0.8134	0.033786	0.03875325	0.072539
2432.36	0.809	0.03326	0.03926228	0.072522
2457.18	0.8045	0.032741	0.039781375	0.072522
2482.00	0.7999	0.032228	0.040310234	0.072538
2506.82	0.7953	0.031725	0.04082862	0.072554
2531.64	0.7907	0.031233	0.041336841	0.07257

Tableau (III.11) : Les valeurs de Cp.h ; Cd.h et Ct.h en âge fixe.

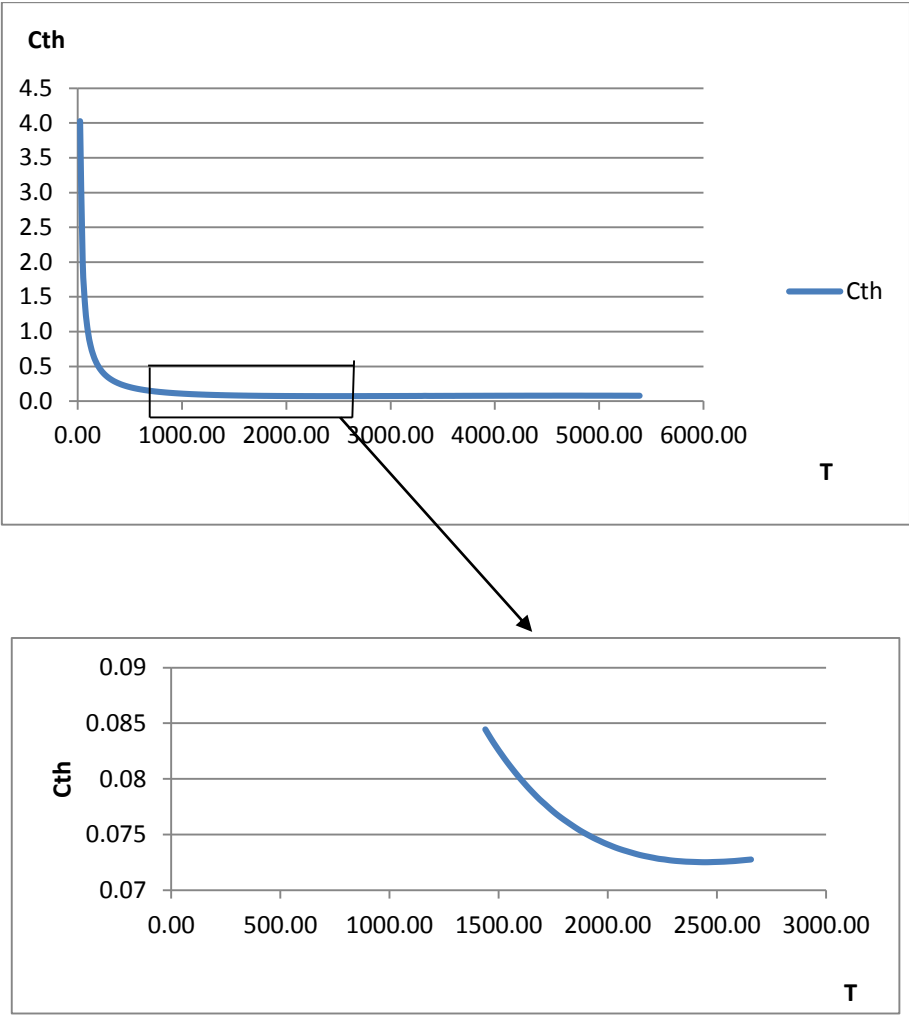


Figure (III.8) : La courbe de Ct.h en âge fixe.

On remarque d’après la (Figure III.8) qui représente l’évolution des coûts total de maintenance présente un minimum au point [2432.36 ; 2457.18] heure qui n’est autre que le temps optimal de la maintenance préventive à âge fixe avec un coût horaire correspondant égal à 0.072522 kDZ/h.

A decorative border in a light teal color, forming an oval shape. It features four ornate floral motifs at the corners, each with green leaves, yellow and red flowers, and a small white flower with a red center.

Conclusion

Générale

Conclusion générale :

Au terme de notre étude, nous pouvons conclure qu'une analyse de fiabilité des systèmes de production relève d'une importance majeure pour le maintien et la disponibilité des équipements qui les constituent. La connaissance des indicateurs de fiabilité en l'occurrence la MTBF, la disponibilité et la maintenabilité nous permet d'acquérir des éléments de réponse par rapport à la stratégie de maintenance à déployer. Par ailleurs l'étude des coûts de maintenance qu'elle soit de type préventif ou correctif nous a permis de calculer la périodicité optimale de la maintenance préventive dans les cas du renouvellement à âge fixe et date fixe. Les résultats montre dans le cas étudié qu'un remplacement à date fixe revient moins cher que celui à âge fixe, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts et l'indisponibilité et à un coût minimal.

Annexe

Annexe 01 :

Tableau de loi Kolmogorov -Smirnov :

N	Niveau significatif				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.318	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.252	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>36	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0.180}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Annexe 02 :

Distribution de Weibull : Valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme.

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0.2	120	1901	1.5	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
0.3	9.2625	50.08	1.6	0.8966	0.574	4.2	0.9086	0.244
0.35	5.291	19.98	1.65	0.8942	0.556	4.3	0.9102	0.239
0.4	3.3234	10.44	1.7	0.8922	0.54	4.4	0.9146	0.235
0.45	2.4686	6.46	1.75	0.8906	0.525	4.5	0.9125	0.23
0.5	24	47	1.8	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
0.6	1.546	2.65	1.9	0.8874	0.486	4.8	0.916	0.218
0.65	1.3663	2.18	1.95	0.8867	0.474	4.9	0.9171	0.214
0.7	1.2638	1.85	2	0.8862	0.463	5	0.9162	0.21
0.75	1.1906	1.61	2.1	0.8857	0.443	5.1	0.9192	0.207
0.8	1.133	1.43	2.2	0.8856	0.425	5.2	0.9202	0.203
0.85	1.088	1.29	2.3	0.8859	0.409	5.3	0.9213	0.2
0.9	1.0522	1.17	2.4	0.8865	0.393	5.4	0.9222	0.197
1	1	1	2.6	0.8882	0.367	5.6	0.9241	0.191
1.05	0.9803	0.934	2.7	0.8893	0.355	5.7	0.9251	0.186
1.1	0.9649	0.878	2.8	0.8905	0.344	5.8	0.926	0.165
1.15	0.9517	0.83	2.9	0.8919	0.334	5.9	0.9269	0.183
1.2	0.9407	0.787	3	0.893	0.316	6	0.9277	0.18
1.25	0.99314	0.75	3.1	0.8943	0.325	6.1	0.9266	0.177
1.3	0.9236	0.716	3.2	0.8957	0.307	6.2	0.9294	0.175
1.35	0.917	0.667	3.3	0.897	0.299	6.3	0.9302	0.172
1.4	0.9114	0.66	3.4	0.8984	0.292	6.4	0.931	0.17
1.45	0.9067	0.635	3.5	0.8997	0.285	6.5	0.9316	0.168
1.5	0.9027	0.613	3.6	0.9011	0.278	6.6	0.9325	0.166
1.55	0.8994	0.593	3.7	0.9025	0.272	6.7	0.9335	0.163
1.6	0.8966	0.574	3.8	0.9083	0.266	6.8	0.934	0.161
1.65	0.8942	0.556	3.9	0.9051	0.26	6.9	0.9347	0.15

Bibliographie

- [1] Documentation Sonatrach Hassi R'mell .
- [2] Total support de formation: Exp-Pr-Eq070 revision 0.1, "Les Pompes", dernière révision : 13/04/2007.
- [3] Bernard, techniques d'ingénieur (B 4320) pompes volumétriques Pour liquides, Paris.
- [4] Total support de formation exp-Pr-Eq150-Fr révision 0.2, "Générateurs et moteurs électriques ", dernière révision : 18/04/2007.
- [5] Jean-Pierre Caron, "Modélisation et commande de la machine asynchrone", vol. 7, technip, coll. « Méthodes et pratiques », 1995.
- [6] Dagi Samir "Etude des paramètres de la maintenance de la turbine a vapeur" mémoire d'ingénieur, université de Skikda 2010.
- [7] Abdelhadi Benkhelifa "Fiabilité des équipements de D.T.M., analyse fonctionnelle et Implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport" mémoire de master ,université d'Ouargla 2011.
- [8] Des pujols A, optimisation de la maintenance par la fiabilité. techniques de l'ingénieur, dossier MT9310, 2004.
- [9] Zille V, « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systems multi-composants », université troyes, 2009.
- [10] "Le mémoire FHC", 2004.
- [11] Villemeur J.A, «Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. fiabilité - facteurs humains Informatisation». Edition EYROLLES, 1988.
- [12] Castanier B, Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle. Thèse de doctorat, université de technologie de Troyes, 2002.
- [13] Robert 95, dictionnaire de la langue française, nouveau petit robert. Mars 1995.
- [14] Bayesia Lab, logiciel de construction et de calcul des réseaux bayésiens, commercialisé depuis 2002. Jouffe L.
- [15] Pearl J, probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of Plausible Inference. library of congress cataloging in publication data. 1988.

- [16] Kang C.W, Golay M.W «A bayesian belief network-based advisory system for operationalLyonnais.P., aintenance mathématique et méthodes, troisième édition, techniques et méthodes, édition lavoisier, France, 1992.
- [17] Celeux G, corset F, lannoy A, ricard B «Designing a bayesian network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way». Reliability engineering and system safety 91 (2006).
- [18] Haviland «Technique de fiabilité et de durée de vie des équipements » édition "Eyrolles", 1969.
- [19] J. Ligeron, A.Delage, M.Neff « Fiabilité en exploitation » éditio "Lavoisier",1994.
- [20] B.SDHILLON « life cycle costing, techniques models and applications » university Ottawa, Gordan and Breach science .Publishers New York 1989.
- [21] Y.Martin, N.Guirago. J.Faucher. P.Lyonnet « Détermination par simulation d'une politique de maintenance » Paris ISDF 1994.
- [22] Mathieu Glade « Modélisation des coûts de cycle de vie : prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité. Application à l'aéronautique » thèse de doctorat. École centrale de Lyon, 2005.