

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

THÈME

***Ordonnancement des taches de
maintenance basée sur la fiabilité
Cas de : Pompe centrifuge***

***Préparé par: M. BARKET Alhadj
& M. BELAKHDAR Brahim***

Soutenu le : 29/07/2019

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
MAKHFI Souad	MCD	UIK Tiaret	Président
GUEMMOUR Mohamed	MCD	UIK Tiaret	Examineur
MAZARI Djamel	MAA	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2018/2019

Dédicaces

A Mes Très Chers Parents

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour cette profession, et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisé. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi.

Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour.

Qu'Allah tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant.

A mes chers frères et ma très chère sœur.

Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices.

Mes charmantes tantes et cousins. A toute ma famille

A tous mes amis, En témoignage de l'amitié sincère qui nous a liées et des bons moments qu'on a passés ensemble.

Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonnes promesses.

A tous les gens qui ont cru en moi et qui me donnent l'envie d'aller en avant,

je vous remercie tous, votre soutien et vos encouragements me donnent

la force de continuer.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

On voudrai dans un premier temps remercier, notre directeur de mémoire M. MAZARI Djamel.

On le remercie d'avoir accepter de nous encadrer, orienter, aider et conseiller le long de cette période de préparation de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils nous ont porté, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques pertinentes.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage de fin d'étude, en particulier

M. BOUABDELI Mohamed ainsi que tout le personnel de l'entreprise SONELGAZ pour leurs soutiens.

Nous désirons aussi remercier tous les enseignants du département de Génie Mécanique de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures et tableaux	i
Liste des abréviations	iii
Introduction générale	1
Chapitre I Maintenance basée sur la fiabilité	4
I.1 Introduction	5
I.2 Généralité sur la maintenance	5
I.2.1 Définition de La maintenance.....	5
I.2.2 Rôle de la maintenance.....	6
I.2.3 Objectifs de la maintenance	6
I.2.4 Différents types de la maintenance	7
I.2.5 Les niveaux de maintenance	9
I.2.6 Les opérations de maintenance	11
I.2.7 Critère de choix de la forme de maintenance	12
I.2.8 Système de gestion de la maintenance	12
I.2.9 Les facteurs influents sur la maintenance	13
I.3 Généralité sur la fiabilité.....	14
I.3.1 Définition de la fiabilité	14
I.3.2 Notions liés à la fiabilité	15
I.4 Lois de probabilités en fiabilité.....	18
I.4.1 Loi exponentielle.....	18
I.4.2 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "WEIBULL"	21
I.5 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	22
I.5.1 Les outils de la MBF.....	23
I.6 Conclusion	24
CHAPITRE II Ordonnancement des activités de la maintenance dans les ateliers.....	25
II.1 Introduction	26
II.2 Définition de l'ordonnancement	26
II.2.1 Les objectifs de l'ordonnancement	26
II.2.2 Missions de l'ordonnancement	27
II.3 Problème d'ordonnancement	28
II.3.1 Ressources	28
II.3.2 Tâches.....	29

II.3.3 Contraintes.....	30
II.3.4 Les techniques d'ordonnancement	30
II.3.5 Quelques éléments de la théorie des graphes.....	31
II.3.6 Les méthodes d'ordonnancement	32
II.3.6.1 Le Diagramme de Gantt.....	32
II.3.6.2 La Méthode des potentiels métra	33
II.3.6.3 La Méthode P.E.R.T	34
Chapitre III Etude de cas.....	36
III.1 Introduction	37
III.2 Présentation de l'entreprise	37
III.3 Généralités sur les pompes	38
III.3.1 Définition.....	38
III.3.2 Les différents types de pompes	38
III.4 Fiabilité opérationnelle.....	40
III.4.1 Exploitation de l'historique	40
III.5 Fiabilité prévisionnelle :	43
III.5.1 Calcul les paramètres de weibull :.....	43
III.5.2 Etude de modèle de weibull.....	47
III.6 Calcul de la maintenabilité et la disponibilité de la pompe	52
III.6.1 Calcul la maintenabilité de la pompe :	52
III.6.2 Calcul la disponibilité de la pompe	53
III.7 L'ordonnancement des taches	55
III.8 Conclusion.....	56
Conclusion générale	57
Références bibliographiques	60
Annexes	

Liste des figures et des tableaux

Figure I.1: types de maintenance	7
Figure I.2: Objectifs de la maintenance.....	13
Figure I.3: La fiabilité décroissante avec le temps	16
Figure I.4: Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire »	17
Figure I.5: Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire.	20
Figure I.6: Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique.....	20
Figure I.7: Principales propriétés de la distribution de WEIBULL	22
Figure II.1: Structure d'objectifs	27
Figure III.1: pompe centrifuge monocellulaire.	39
Figure III.2: La courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	43
Figure III.3: Détermination graphique des paramètres de la loi de weibull.....	45
Figure III.4: Graph de weibull par logiciel Minitab.	45
Figure III.5: La courbe de densité de probabilité.	48
Figure III.6: La courbe de fonction répartition.....	49
Figure III.7: La courbe de la fonction de fiabilité.	50
Figure III.8: La courbe de la fonction de taux de défaillance.	52
Figure III.9: La courbe de la maintenabilité.....	53
Figure III.10: La courbe de disponibilité.....	54
Figure III.11: Diagramme de gant par logiciel Microsoft Project.....	56
Tableau III.1 : Caractéristiques de la pompe.....	39
Tableau III. 2: l'historique des pannes.	41
Tableau III.3: les valeurs de $F(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$	42
Tableau III.4: les valeurs de $F(t)$ et $R(t)$ en%.....	44
Tableau III.5: les valeurs de $f(t)$	47
Tableau III.6: les valeurs de $F(t)$	48

Liste des figures et des tableaux

Tableau III.7: Calcul de la fiabilité.....	50
Tableau III.8: les valeurs de taux de défaillance $\lambda(t)$	51
Tableau III.9: Les valeurs de la maintenabilité de pompe.	53
Tableau III.10: les valeurs de la disponibilité instantane.	54
Tableau III.11:des taches de manipulation.....	55

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation.

SONELGAZ : Société national de l'électricité et de gaz.

AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité.

SGM : System gestion de maintenance.

MPM: Méthode des Potentiels Métra.

PERT: Program Evolution and Research Task.

MTBF : Moyenne de Temps de Bon Fonctionnement.

MTTR : Moyenne de temps de réparation.

TBF : Temps de bon fonctionnement.

TTR : Temps de réparation.

DT/TA : Temps d'arrêt.

TTR : Temps technique de réparation.

Liste des symboles

- R (t)** : La fonction de fiabilité.
- F (t)** : La fonction de répartition
- f (t)** : Densité de probabilité.
- $\lambda(t)$: Taux de défaillance.
- N** : Nombre de Temps de bon fonctionnement.
- η : Le paramètre d'échelle.
- B** : Le paramètre de forme.
- $\gamma (h)$: Le paramètre de position.
- F(i)** : La probabilité de panne au temps.
- μ (intervention / heure) : Taux de réparation.
- $D_i(h)$: Disponibilité intrinsèque.
- $D_o(h)$: Disponibilité opérationnelle.
- M(t) (h)** : Maintenabilité.

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 la maintenance basé sur la fiabilité

Le deuxième chapitre déploie l'ordonnancement des activités de la maintenance

Le troisième chapitre s'intéresse à l'application pratique du cas de l'équipement de production étudiée en l'occurrence la pompe centrifuge avec la présentation de l'entreprise ;

Et enfin, une conclusion.

Introduction générale

Chapitre I

Maintenance basée sur la fiabilité

I.1 Introduction :

L'évolution des systèmes de production et le besoin de produire vite et bien, ont obligé les industries à organiser et structurer les «ateliers d'entretien», et de créer de nouveaux concepts d'organisation et de nouvelles manières d'intervenir sur des systèmes de production concernant les produits manufacturés.

Actuellement, *l'entretien* est remplacé par la **maintenance**. Ce changement a bouleversé complètement la manière de faire et de concevoir l'«entretien» nommé aujourd'hui «maintenance».

La production intensive, la complexité des systèmes et la rentabilité, ont encouragé les industriels à créer une structure dans l'entreprise appelée :«service maintenance» qui comporte différents corps de métiers tel que les électriciens, les mécaniciens, les automaticiens. le service maintenance doit garder l'outil de production en état opérationnel, afin d'assurer une production efficace et maximale.

I.2 Généralité sur la maintenance

I.2.1 Définition de La maintenance

Selon la définition AFNOR X 60-010 (décembre 1994) : La maintenance est «l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management».

Cette définition AFNOR peut être complétée par le document d'introduction à la maintenance X 60-000 qui précise : «*Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal.*»

L'opération de maintenance est une suite d'actions organisées intervenant sur un mécanisme et ayant un double objectif :

- ✓ réparer un bien, en état de dysfonctionnement et le replacer en état de fonctionnement.
- ✓ Maintenir ce bien, par une suite d'actions préventives et planifiées, en état parfait de fonctionnement.

Ces actions de maintenance ne sont pas seulement techniques mais elles sont encadrées, pilotées par des actions de gestion et de management.

La définition de la maintenance fait conduire à trois notions, [1]:

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut
- Etat qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.

I.2.2 Rôle de la maintenance

Dans une entreprise, le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance tracé par la direction ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production et de garantir la plus grande disponibilité des équipements tout en respectant le budget alloué.

I.2.3 Objectifs de la maintenance :

Les principaux objectifs de la maintenance sont :

- Réduire au maximum les coûts des interventions et les temps d'arrêt de production.
- Maintenir l'équipement dans un bon état de marche (meilleures conditions).
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc...
- Améliorer la sécurité de travail et Conseiller la direction d'usine et la fabrication
- Maintenir l'installation dans un état de propreté absolue

I.2.4 Différents types de la maintenance

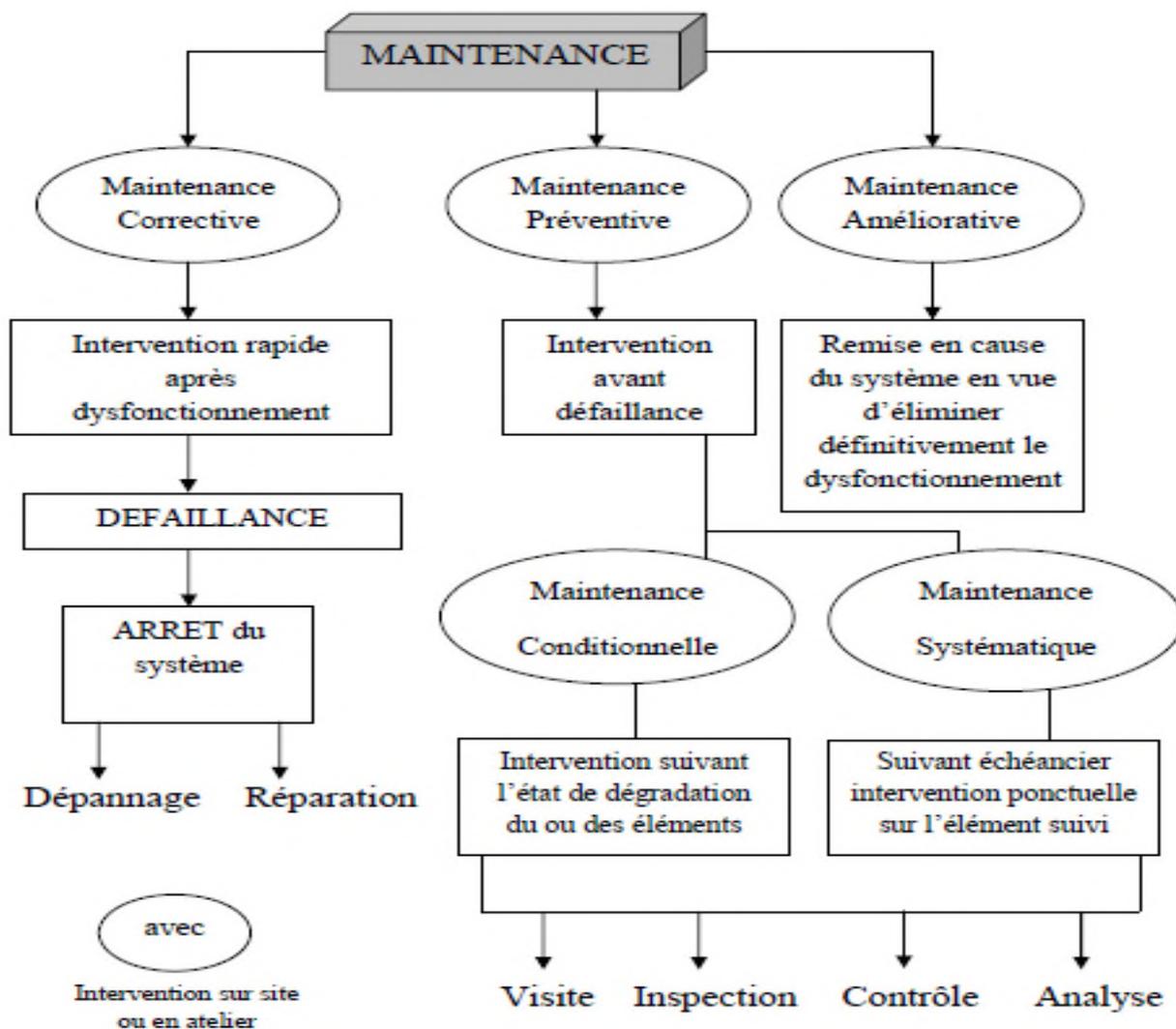


Figure I.1: types de maintenance [1].

1. La maintenance corrective :

La maintenance corrective s'inscrit aux limites du savoir bousculées par les développements et les créations qui impatientes, ne s'accordant pas toujours à la rigueur d'une recherche et pouvant subir des influence aléatoires.

La maintenance corrective est toutes les activités exécutées après la défaillance (totale ou partielle) d'un système, ou la dégradation de sa fonction, pour le remettre opérationnelle.

- a. **La maintenance palliative** : est l'ensemble d'activités de maintenance corrective destinées à permettre à un système d'accomplir provisoirement une fonction ou une partie de fonction (dépannage).

- b. *La maintenance curative*** : est les activités de maintenance corrective (réparations, modifications, aménagement) qui rétabli un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise (un caractère permanent des résultats).

2. La maintenance préventive [1]:

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Elle permet de réduire les risques et probabilités de dysfonctionnement des systèmes de production selon trois modes (systématique ; conditionnelle ; prévisionnelle.)

- a. *La maintenance préventive systématique [1]***: La maintenance préventive systématique permet d'effectuer des actions de maintenance, afin d'éloigner ou de diminuer les risques de dysfonctionnement des systèmes. Elle s'effectue suivant un calendrier prévu et établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage du bien. Cette méthode de maintenance s'applique à des équipements soumis à une réglementation sécuritaire (ponts roulants, installations sous pression,...) et présentant des coûts de défaillance très élevés.
- b. *La maintenance préventive conditionnelle [1]*** : Les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchés suivant des critères prédétermines significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. Les remplacements ou les remises.

En état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation .une décision volontaire est alors prise pour effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaire. La maintenance préventive conditionnelle sert à éviter les démontages inutiles lies à la systématique ; accroitre la sécurité des biens et personnes et éviter les interventions d'urgence en suivant l'évolution dans le temps de début d'anomalies

Ce type de maintenance préventive se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement, il caractérise la mise en évidence des points faibles suivant le cas.Tous les matériels son concernes, il est souhaitable de les mettre sous surveillance pour pouvoir décider une intervention lorsque un certain seuil est atteint.

- c. *Maintenance préventive prévisionnelle [1]*** : La maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillé de paramètres significatifs de la dégradation du bien

permettant de retarder et de planifier les interventions, elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive.

➤ **But de la maintenance préventive :**

- ✓ Augmenter la durée de vie des matériel et de sécurité ;
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- ✓ Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective ;
- ✓ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- ✓ Supprimer les causes d'accidents graves ;

I.2.5 Les niveaux de maintenance :

A partir de la nature de l'intervention ; la qualification de l'intervenant et des moyens mis en œuvre on définit un niveau de maintenance. La norme *NF X 60-010* donne, à titre indicatif, cinq niveaux de maintenance, en précisant le service qui en a la responsabilité, la production ou la maintenance. [1]

➤ **Niveau 1 :**

Il s'agit de réglages simples prévus par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement. Ces interventions peuvent être réalisées par l'exploitant du bien, sans outillage particulier à partir des instructions d'utilisation. [1]

• **Exemples:**

- ✓ Echanges en toute sécurité d'éléments consommables tels que: fusibles, voyants,...
- ✓ Dégagement d'un produit défectueux sur une machine automatisée après la mise en sécurité de la machine.

➤ **Niveau 2 :**

Il s'agit de dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet et d'opérations mineures de maintenance préventive. Ces interventions peuvent être réalisées par un technicien ou l'exploitant du bien dans la mesure où ils ont reçu une formation pour les exécuter en toute sécurité. [1]

- **Exemples:**

- ✓ Graissage d'une machine;
- ✓ Contrôle du bon fonctionnement d'un four de traitements thermiques;
- ✓ Remplacement d'une électrovanne sur un système de serrage de pièce.

- **Niveau 3 :**

Il s'agit d'identification et de diagnostic de pannes suivis éventuellement:

- D'échanges de constituants;
- De réparations mécaniques mineures;
- De réglage et ré étalonnage général des mesureurs.

- **Exemples:**

- ✓ Remplacement d'une bobine de contacteur défectueuse à la suite d'une surtension;
- ✓ Démontage d'un manomètre donnant des indications erronées, réétalonnage sur un banc de contrôle, remontage sur la machine;
- ✓ Remplacement d'une clavette cisailée nécessitant l'ajustage de la nouvelle clavette.

Les interventions de troisième niveau peuvent être réalisées par un technicien spécialisé directement sur le site ou dans un atelier de maintenance. [1]

- **Niveau 4 :**

Il s'agit de tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ces interventions de quatrième niveau peuvent être réalisées par une équipe disposant d'un encadrement technique très spécialisé et de moyens importants bien adaptés à la nature de l'intervention. [1]

- **Exemples :**

- ✓ Révision générale d'un compresseur;
- ✓ Démontage, réparation, remontage, réglage d'un treuil de levage;
- ✓ Remplacement du coffret d'équipement électrique de démarrage d'une machine-outil.

- **Niveau 5 :**

- ✓

I.2.6 Les opérations de maintenance [2]

1. Le dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de condition de réalisation hors règle de procédures, de cout et de qualité, et dans ce cas sera suivi de réparation.

2. La réparation

Intervention définitive et limitée à la maintenance corrective après panne ou défaillance, 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.

3. Les inspections

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies exécuter des réglages simple ne pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

4. Les visites :

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée, ces interventions correspond à une List d'opérations défini au prenable et qui peuvent entrainer des montages d'organes et une immobilisation du matériel.

5. Les contrôles :

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

6. Les révisions :

Ensemble des actions d'examens, de contrôle, et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unité d'usage donne.

I.2.7 Critère de choix de la forme de maintenance :

En résumant les divers facteurs influençant sur le choix de la forme de maintenance par :

- ✓ Connaissance sur le comportement du matériel.
- ✓ Jugement d'expert.
- ✓ Coûts importants entraînés par les défaillances.
- ✓ Coûts inconnus.
- ✓ Panne totalement aléatoire.

I.2.8 Système de gestion de la maintenance :

Le système de gestion de la maintenance (SGM) est très important vis-à-vis du type de la maintenance retenue. Il comporte 4 étapes :

- 1^{er} étape concerne la réception du matériel et la documentation
- 2^{ème} étape est relative au choix de du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis.
- 3^{ème} étape comporte les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention,
- 4^{ème} étape concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance..

I.2.9 Les facteurs influents sur la maintenance

La maintenance est une fonction contributive de la production .ces objectifs sont :

La disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité des équipements de production au niveau requis par le plan directeur de l'entreprise figure I.2 elle peut être modélisée à une pyramide la base est triangulaire pour individualiser les aspects techniques, organisationnelles et administratifs, tandis que le sommet de la pyramide représente la fonction gestion.

Ce qui montre qu'on est dans l'obligation de coordonner étroitement entre ces différents aspects et au moindre coût.

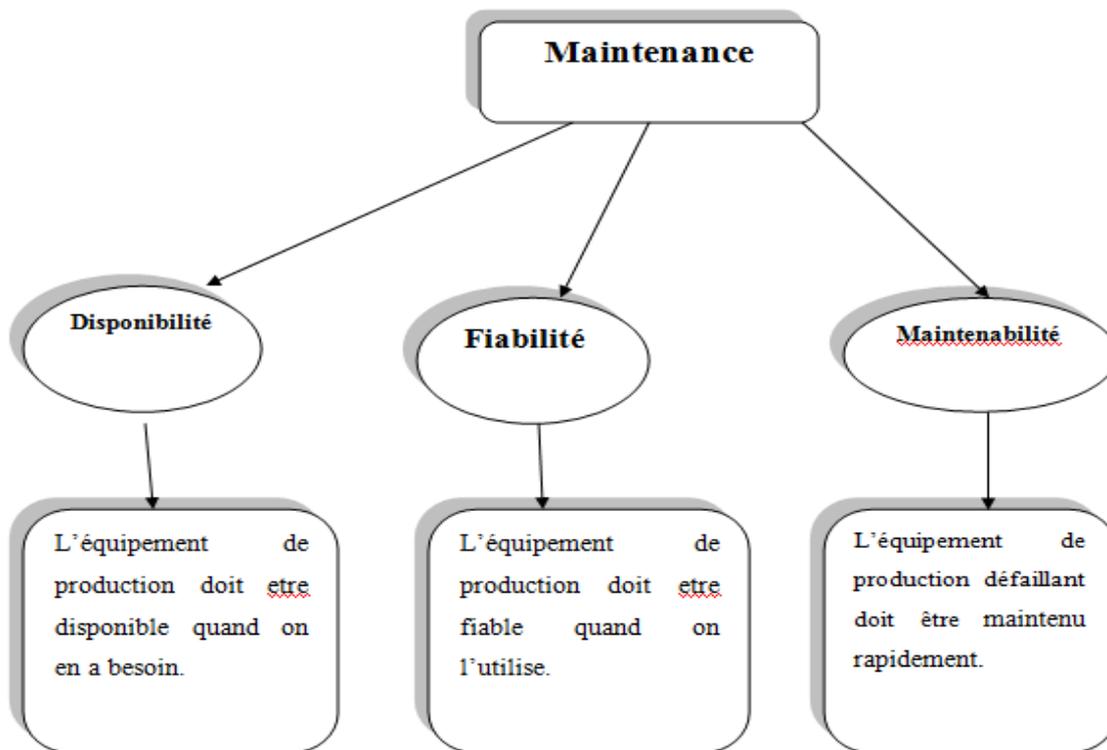


Figure I.2: Objectifs de la maintenance.

A. Disponibilité:

«Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée.» [3]

B. Maintenabilité:

«Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.» [3]

C. Fiabilité:

«Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné.» [3]

I.3 Généralité sur la fiabilité

I.3.1 Définition de la fiabilité

Selon AFNOR X60-500 la fiabilité est l'aptitude d'un système à accomplir une fonction donnée durant une période donnée et dans des conditions spécifiées d'exploitation. Les conditions sont toutes les contraintes externes, quelles que soient l'origine : humaine, climatique, physique.

La fiabilité est une caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction dans des conditions données pendant un temps donné. Elle se caractérise donc par quatre concepts :

- La probabilité :

Une probabilité est définie par le rapport entre le nombre de cas favorables et le nombre de cas possibles concernant la réalisation d'un événement. Dans le cas de la fiabilité, la probabilité exprimant les chances d'accomplir une fonction.

- L'accomplissement d'une fonction:

Le dispositif que l'on étudie du point de vue de la fiabilité de vérité être dans un état tel qu'il lui permet d'accomplir la fonction requise d'une manière satisfaisante.

- Les conditions données:

Les conditions sont les contraintes physiques, chimiques, électroniques et mécaniques subies par le dispositif du fait de son environnement.

- Le temps:

C'est le temps exprimé au sens large. Ce sera bien souvent, un nombre de cycles ou caractéristiques qui expriment la durée de vie.

La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du système :

1. **La fiabilité prévisionnelle** : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.

2. **La fiabilité estimée** : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci a l'aide d'un ensemble d'essais.
3. **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logique.

I.3.2 Notions liés à la fiabilité

Ce paragraphe est un recueil de principaux éléments probabilistes permettant de mesurer la fiabilité.

Fonction fiabilité ou fonction de survie

La fiabilité d'un dispositif au bout d'un temps t correspond à la probabilité pour que ce dispositif n'ait pas de défaillance entre 0 et l'instant t . En désignant par T la variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif, la fiabilité s'exprime par la fonction $R(t)$ – de l'anglais "à" – telle que [5]

$R(t)$ = Probabilité (qu'une entité E soit non défaillante sur la durée $[0 ; t]$, en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant $t = 0$)

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (I.1)$$

$F(t)$ est la fonction de répartition de la variable t .

On note que, la variable "temps" doit être considéré comme une unité d'usage. En effet, dans le cas de certains dispositifs particuliers, il conviendra de considérer : une distance parcourue (kilomètre), nombre de tours, nombre de sollicitations, ..., etc.

La fonction de fiabilité en général, la forme suivante (Figure I.3):

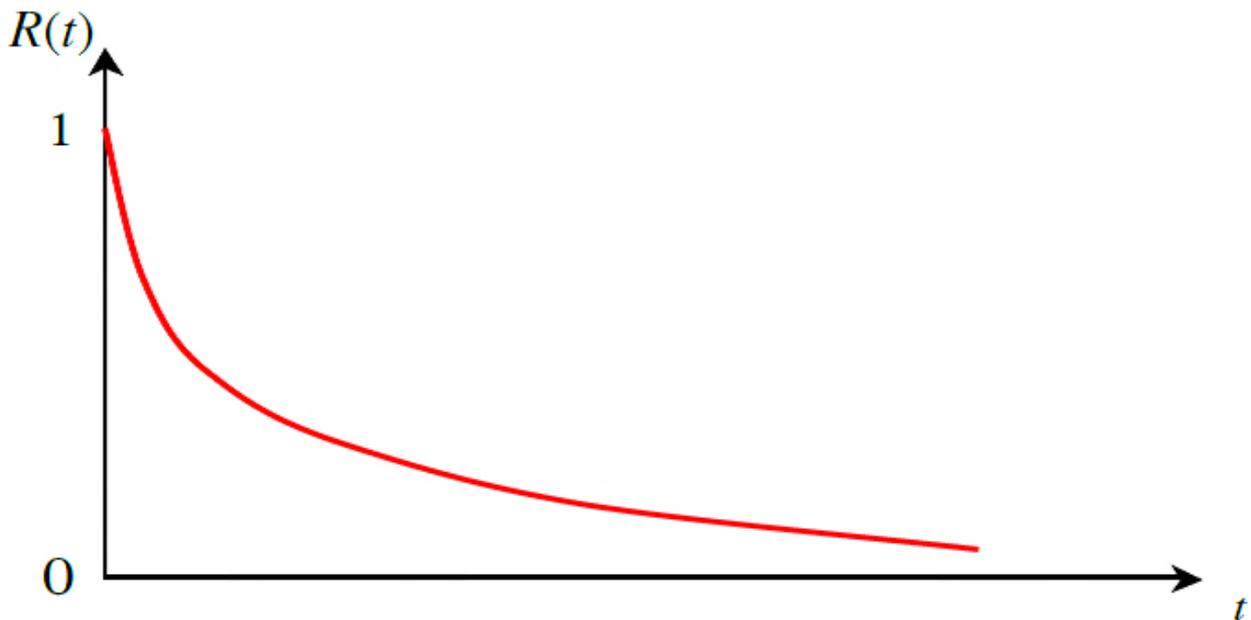


Figure I.3: Evolution de la fiabilité en fonction de temps [5].

- *Taux de défaillance instantané :*

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, est la suivante [5]

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (\text{I.2})$$

Physiquement le terme $\lambda(t)\Delta t$, mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps $[t, t + \Delta t]$ sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant t .

Le taux de défaillance d'un dispositif à l'instant t est donc défini par

$$\lambda(t) = - \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{I.3})$$

Le comportement temporel du taux de panne est représenté par la courbe « en baignoire » de la Figure I.4 Cette courbe comporte trois phases pour lesquelles on détaille les causes potentielles et les actions à entreprendre pour améliorer le comportement du système.

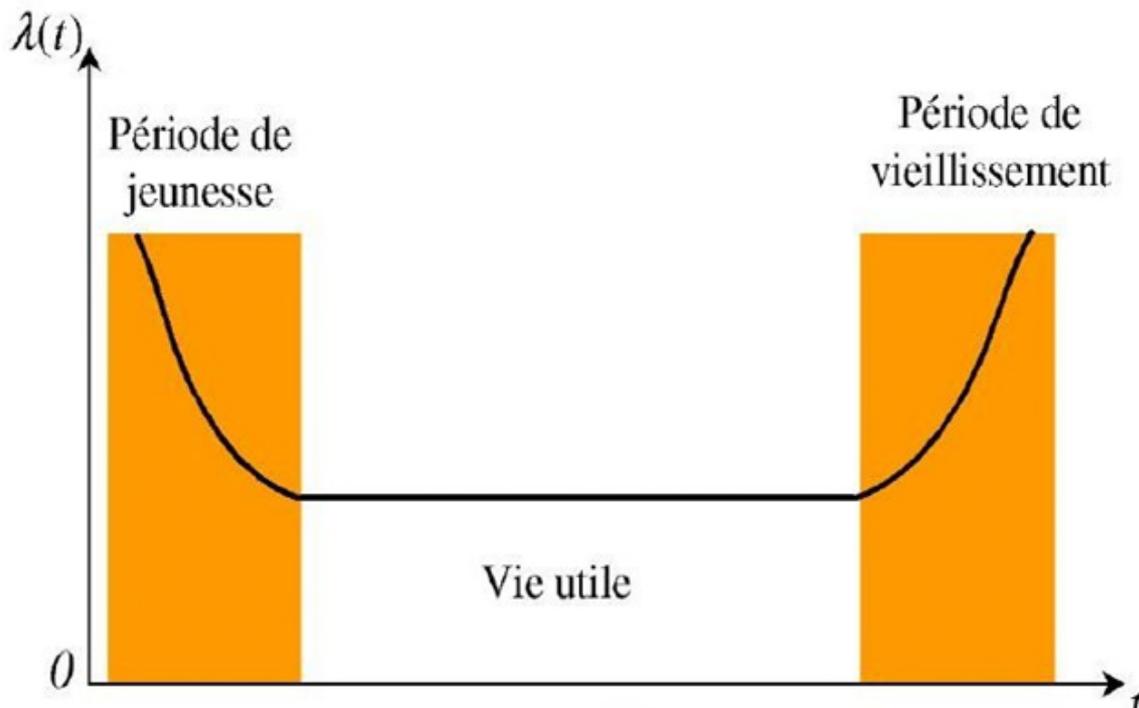


Figure I.4: Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire » [4].

- **Zone 1 → Période de défaillance précoce ou période de jeunesse.**
 - Cette zone représente la période de début de fonctionnement,
 - Le taux de défaillance décroît avec le temps, car les pannes précoces dues à des **défauts de fabrication ou de conception** sont de moins en moins nombreuses.
- **Zone 2 → Période de défaillance à taux constant ou zone de maturité**
 - Cette zone représente la période de maturité, ou vie utile
 - le taux de défaillance reste à peu près constant ; pendant cette période, les pannes qui paraissent sont dues au hasard.
- **Zone 3 → Période de défaillance par vieillissement ou période de fin de vie ou zone d'usure**
 - Cette zone représente la période d'usure
 - le taux de défaillance augmente avec le temps, car les pannes sont dues à **l'usure croissante du produit**

➤ *Les indicateurs MTBF, MTTR :*

- MTTF : moyen de temps avant 1^{er} défaillance.
- MTBF : moyen de temps entre 2 défaillances consécutives.

$$MTBF = \frac{\sum \text{des temps de fonctionnement satisfaisant}}{\text{Nombre de périodes de bon fonctionnement}}$$

- MTTR : temps moyen de réparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{des temps de réparation}}{\text{Nombre de réparations}}$$

I.4 Lois de probabilités en fiabilité

Dans ce paragraphe, nous présenterons quelques distributions de vie qui interviennent fréquemment dans l'analyse des données de vie. Nous parlerons en particuliers des lois continues. Nous énoncerons les principales propriétés de ces lois (densité de probabilité, fonctions fiabilité et taux de défaillance).

I.4.1 Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales.

a) Propriétés de la loi exponentielle.

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec (λ) constant. La probabilité de survie entre 0 et (t) devient [5]

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t} \quad (I.5)$$

✓ Densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (I.6)$$

✓ Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (I.7)$$

✓ Espérance mathématique :

$$E(t) = 1/\lambda = \text{MTBF} \quad (I.8)$$

b) Domaine d'utilisation de la loi exponentielle.

La courbe en baignoire relative à la durée de vie d'un système fait apparaître une période de maturité plus ou moins longue pendant laquelle le taux de défaillance d'un système est sensiblement constant. C'est le champ d'application de la loi exponentielle qui repose sur l'hypothèse ($\lambda = \text{constante}$), donc ($\text{MTBF} = 1/\lambda$), les équipements électroniques se prêtent bien à l'utilisation de la loi exponentielle lorsque les composants sont déterminés.

c) Représentation graphique de λ

La relation linéaire de la loi exponentielle s'obtient sur un simple papier semi logarithmique. La droite ayant pour pente la valeur de $\lambda / 2,3$ ou la valeur $1/\lambda$.

Si $R(t) = e^{-\lambda t}$, alors $R(t) = -\lambda t$ ou $\log R(t) = \frac{-\lambda}{2,3} t$, or ($\ln 10 = 2,3$)

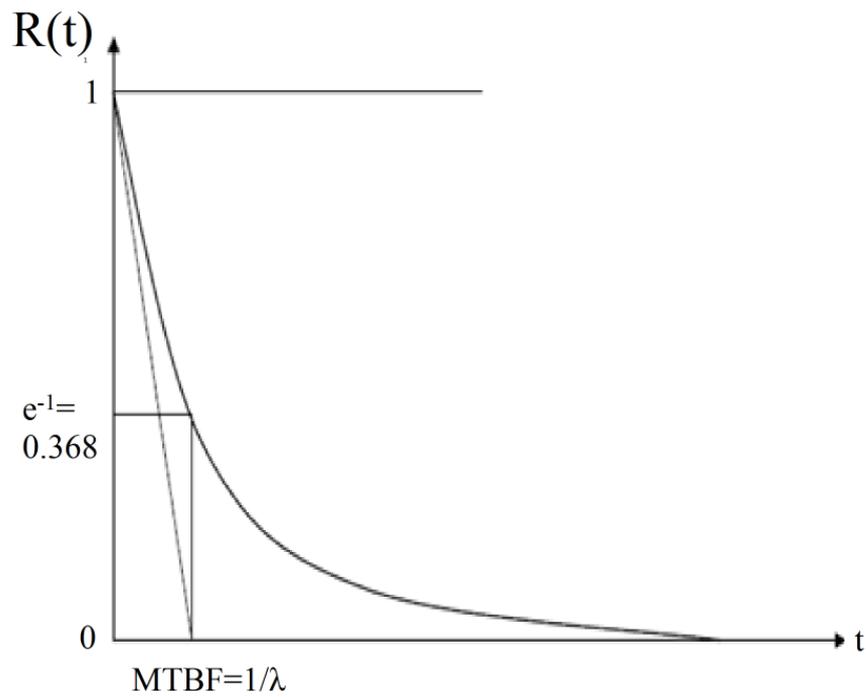


Figure I.5: Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire.

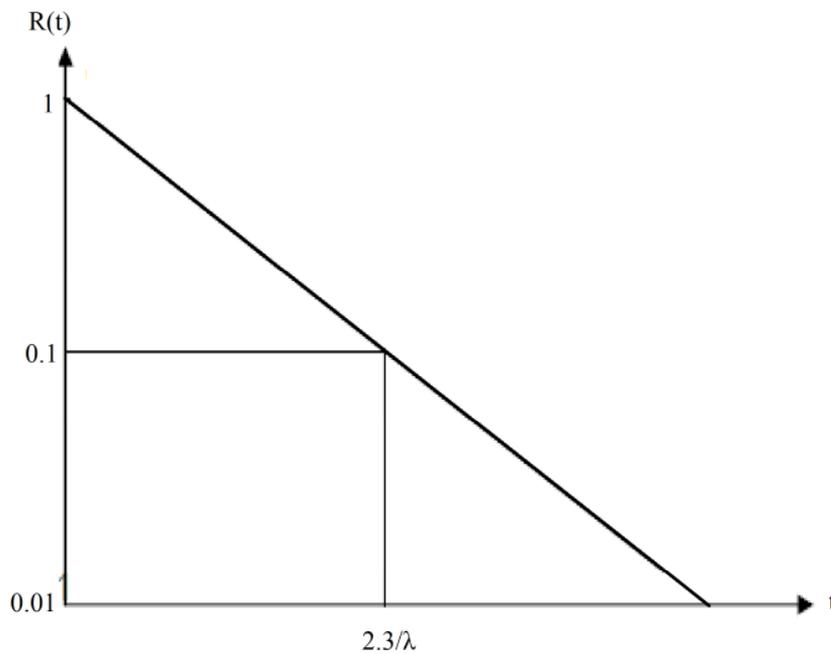


Figure I.6: Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique.

I.4.2 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "WEIBULL"

C'est la plus populaire des lois, utilisée dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de WEIBULL dépend des trois paramètres suivants : β , η et γ . La densité de probabilité d'une loi de WEIBULL a pour expression [5]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (t \geq \gamma) \quad (\text{I.9})$$

β est le paramètre de forme ($\beta > 0$)

- Si $\beta < 1$ alors le taux de défaillance décroît, période de jeunesse (rodage).
- Si $\beta = 1$ alors le taux de défaillance est constant, nous sommes en zone de maturité. On retrouve la loi exponentielle.
- Si $\beta > 1$ le taux de défaillance croît, nous sommes en phase de vieillesse, avec:
 - Si $1,5 < \beta < 2,5$ dégradation due à la fatigue.
 - Si $3 < \beta < 4$ dégradation essentiellement due à l'usure ou la corrosion.
 - Si $\beta = 3,5$ on retrouve la loi normale.

η est le paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

γ est le paramètre de position ($\gamma \geq 0$)

La fonction fiabilité s'écrit:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{I.10})$$

Fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{I.11})$$

Le taux de défaillance est donnée par:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{I.12})$$

Moyenne des temps de bon fonctionnement s'écrit :

$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (\text{I.13})$$

Durée de vie associée à un niveau de fiabilité

$$t = \gamma + \eta \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (\text{I.14})$$

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de WEIBULL permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

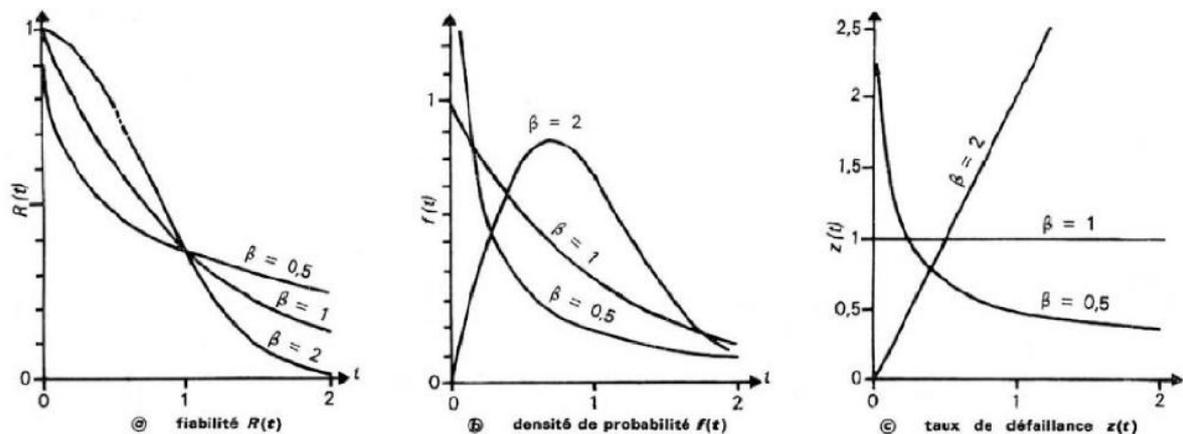


Figure I.7: Principales propriétés de la distribution de WEIBULL [6].

I.5 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF) :

La **MBF** est un outil permettant d'optimiser les actions de maintenance programmées. Les critères pris en compte sont généralement la sécurité, la disponibilité (tenant compte d'un consensus fiabilité-maintenabilité) et le coût de maintenance. Lorsqu'il s'agit de produits fabriqués, la notion de qualité est, elle aussi, prise en compte. [7]

La **MBF** a pour objectifs :

- De définir et de justifier en conception les actions de maintenance programmée à mettre en place.
- De redéfinir en exploitation les actions de maintenance programmée.

- D'assurer et d'augmenter les performances de l'outil de production en matière de sûreté de fonctionnement.
- De déterminer les recommandations relatives aux enjeux technico-économiques (investissements, rénovation, procédure, justification). [7]

L'application de cet outil provoque des effets positifs indirects :

- Il permet une meilleure connaissance de son système sur le plan statique et dynamique (comportement dans le temps).
 - Il permet de mieux appréhender l'environnement dans le quelle système évolue.
 - Il responsabilise le personnel.
 - Il assure une cohésion entre différentes entités de l'entreprise (production, maintenance, qualité, services économiques et direction) et amorce une nouvelle organisation dans un axe TPM.
 - Il agit sur la sécurité des biens et des personnes.
 - Il valide les modifications réalisées au fur et à mesure de la vie du produit ou du process. [7]
- **La MBF est un outil fédérateur**, Tous les acteurs sont concernés :
- Le personnel de maintenance,
 - La production,
 - Le service après-vente pour les retours clients,
 - La qualité,
 - Les services économiques,
 - La direction. [7]

I.5.1 Les outils de la MBF:

Cette approche MBF utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues tels que la matrice de criticité, les grilles d'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effet set de leur Criticité (AMDEC) et le logigramme de décision:

- La matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité,
- La grille AMDEC définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets,
- Le logigramme de décision sert, en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre. [7]

L'application de la MBF nécessite une bonne connaissance des équipements ainsi que de leurs défaillances, de même que l'impact de ces défaillances. C'est pourquoi l'implication de l'ensemble des opérateurs, techniciens et experts de l'entreprise est indispensable pour obtenir les résultats souhaités et souhaitables tant au niveau de la sûreté de fonctionnement, de la sécurité que des coûts globaux. [7]

I.6 Conclusion :

La mise en place d'un plan de maintenance optimisé dans l'entreprise qui s'appuie sur la démarche MBF provoque souvent une diminution du nombre de tâches de maintenance préventive qui sont supprimées ou remplacées par de la maintenance corrective ; la maintenance conditionnelle augmente ; le besoin en pièces détachées diminue et le remplacement est mieux justifié. La MBF est un outil de justification en conception et en exploitation.

Chapitre II

Ordonnancement des activités de la
maintenance dans les ateliers

II.1 Introduction :

L'ordonnancement dans un service maintenance est caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de l'ordonnancement influé vite sur l'opération de maintenance. Il se situe entre la fonction méthode, chargée de la définition des tâches à effectuer et des moyens à mettre en œuvre, et la fonction réalisation chargée de leur exécution. Dans la littérature le traitement de l'ordonnancement s'est tout d'abord orienté vers une optimisation monocritère.

II.2 Définition de l'ordonnancement :

L'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement, etc.) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises par les tâches. Un ordonnancement décrit l'ordre d'exécution des tâches et l'allocation des ressources au cours du temps, afin de satisfaire un ou plusieurs critères d'optimisation. [8]

II.2.1 Les objectifs de l'ordonnancement :

L'environnement industriel évoluant hâtivement et la concurrence devenant de plus en plus acharnée, les objectifs des entreprises se sont variés et le processus d'ordonnancement est devenu de plus en plus multicritère. Les critères que doit satisfaire un ordonnancement sont variés aussi. D'une manière générale, on distingue plusieurs classes d'objectifs concernant un ordonnancement [9] :

- ✓ **Les objectifs liés au temps :** on trouve par exemple la minimisation du temps total d'exécution, du temps moyen d'achèvement, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison.
- ✓ **Les objectifs liés aux ressources :** maximiser la charge d'une ressource ou minimiser le nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches sont des objectifs de ce type.
- ✓ **Les objectifs liés au coût :** ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts de lancement, de production, de stockage, etc.,
- ✓ **Les objectifs liés à une énergie ou un débit :** Les objectifs à satisfaire au

niveau de l'ordonnancement sont issus des objectifs globaux de l'entreprise, par décomposition. Cette décomposition conduit à une structure d'objectifs qui permet de gérer les contradictions et les compromis

Un exemple de structure d'objectifs est présenté Figure II.1.

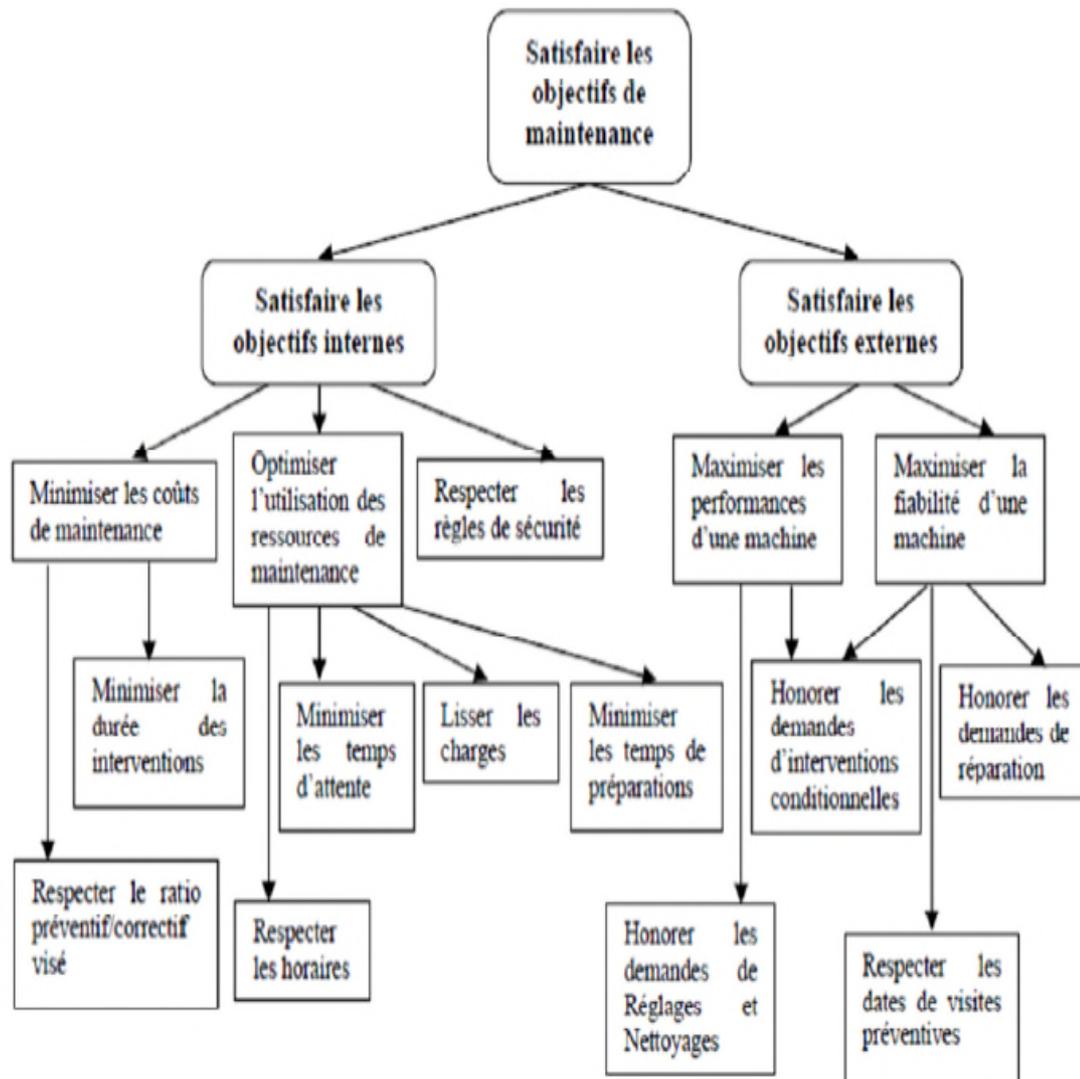


Figure II.1: Structure d'objectifs [9].

II.2.2 Missions de l'ordonnancement :

- ✓ Sachant la responsabilité de la conduite et de la synchronisation des actions de maintenance internes ou externes, la fonction ordonnancement a pour mission :
- ✓ Prévoir la chronologie de l'enchaînement des différentes tâches ;

- ✓ Optimiser les moyens nécessaires en fonction des délais et des chemins critiques.
- ✓ Ajuster les charges aux capacités éprouvées.
- ✓ Lancer les travaux au moment choisi, en rendant tous les moyens nécessaires disponibles.
- ✓ Contrôler l'avancement et la fin des travaux.
- ✓ Gérer les projets (prévision, optimisation logistique, avancement).
- ✓ Analyser les écarts entre prévisions et réalisation.

Cela peut s'exprimer sous la forme : prévoir un instant t et un endroit x où un personnel p muni d'un outillage o et des matières m exécutera la tâche M en harmonie avec les autres travaux connexes.

Cette fonction stratégique est peu visible et souvent peu étudiée, mais elle repose sur des méthodes à connaître. Son absence ou son insuffisance conduit à des tâches préventives négligées, gaspillage de temps en recherche de moyens indispensables, améliorations toujours reportées à plus tard, techniciens parfois inoccupés associés à des heures supplémentaires évitables, etc. [10]

II.3 Problème d'ordonnancement

Un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement, etc.), et de contraintes portant sur l'utilisation, la disponibilité des ressources requises pour les tâches, et visant à minimiser (resp. maximiser) un certain critère d'optimalité. Dans un problème d'ordonnancement interviennent trois notions fondamentales: les ressources, les tâches, et les contraintes.

II.3.1 Ressources

Une ressource est un moyen technique ou humain qui sert à l'exécution d'une tâche. On distingue plusieurs types de ressources [11]:

- **Ressources renouvelables:**

Une ressource est dite renouvelable si, les ressources qui sont affectées à une tâche

redeviennent disponibles après l'achèvement de cette dernière pour les tâches suivantes. C'est le cas pour les machines, les processeurs, les fichiers, le personnel, etc.

- **Ressources consommables :**

Contrairement aux ressources renouvelables, les ressources consommables ne redeviennent plus disponibles après leurs utilisations. C'est le cas pour l'argent, la matière première, etc.

- **Ressources doublement contraintes :**

Une ressource est doublement contrainte, si, son utilisation instantanée et sa consommation globale sont toutes les deux limitées. C'est le cas pour les sources d'énergies, de financement, etc.

- **Ressources disjonctives :**

Une ressource est dite disjonctive, si, elle ne peut exécuter qu'une seule tâche à la fois, alors elle est non partageable. C'est le cas pour les machines, robots, ..., etc.

- **Ressources cumulatives :**

Différemment à une ressource disjonctive, une ressource cumulative est partageable, peut être utilisée par plusieurs tâches en même temps.

II.3.2 Tâches

Une tâche i est une entité élémentaire de travail localisé dans le temps par une date de début t_i et de fin C_i dont la réalisation est caractérisée par [11] :

- Une durée d_i (on a $d_i = t_i + C_i$) ;
- R_{ik} : L'intensité avec laquelle la tâche i consomme un certain moyen ou ressource k .

Exemples :

- En construction : pose des dalles, plomberie, ..., etc.
- En informatique : exécution d'un programme, impression d'un document, ...etc.

Donc, il n'y a pas de définition formelle d'une tâche, mais elle dépend du domaine. En ordonnancement de projet, nous conservons le terme tâche pour désigner les activités constitutives d'un projet, l'ensemble des tâches est généralement noté I , le nombre de tâches par n et chaque tâche est notée par i et elle est décrite par les

caractéristiques suivantes :

- La date de disponibilité de la tâche i (date au plus tôt) ;
- La date de début au plus tard de la tâche i ;
- La date de fin au plus tôt ;
- La date échue de tâche i (date de fin au plus tard) ;
- t_i : 'Date de début d'exécution de la tâche i ' ;
- C_i : 'Date de fin d'exécution de la tâche i ' ;
- d_i : 'Durée d'exécution de la tâche i '.

II.3.3 Contraintes

Les contraintes expriment des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre conjointement les variables de décisions. On distingue différents types de contraintes [12] :

- **Contraintes potentielles:** On distingue deux classes :
 - **Contraintes d'antériorité:** l'activité j commence dès que l'activité i soit achevée, par exemple, la construction des piliers suit les fondations.
 - **Contraintes de localisation temporelle:** L'activité j ne peut débuter avant une certaine date ou qu'elle peut s'achever.
- **Les contraintes disjonctives:** Deux tâches i et j sont en disjonction si elles ne peuvent être exécutées simultanément, ce type de contrainte peut figurer dans le cas d'utilisation d'une ressource présente en un seul exemplaire ou bien pour des raisons de sécurité.
- **Contraintes cumulatives:** C'est une généralisation des contraintes disjonctives, elles sont relatives à l'évolution au cours du temps, des moyens de réalisation des différentes tâches.

II.3.4 Les techniques d'ordonnancement :

La réalisation d'un projet nécessite souvent une succession de tâches aux quelles s'attachent certaines contraintes :

- **De temps** : délais à respecter pour l'exécution des tâches ;
- **D'antériorité** : certaines tâches doivent s'exécuter avant d'autres ;
- **De production** : temps d'occupation du matériel ou des hommes qui l'utilisent.

Les techniques d'ordonnancement dans le cadre de la gestion d'un projet ont pour objectif de répondre au mieux aux besoins exprimés par un client, au meilleur coût et dans les meilleurs délais, en tenant compte des différentes contraintes.

L'ordonnancement se déroule en trois étapes :

- **La planification** : qui vise à déterminer les différentes opérations à réaliser, les dates correspondantes, et les moyens matériels et humains à affecter.
- **L'exécution** : qui consiste à la mise en œuvre des différentes opérations définies dans la phase de planification.
- **Le contrôle** : qui consiste à effectuer une comparaison entre planification et exécution, soit au niveau des coûts, soit au niveau des dates de réalisation.

II.3.5 Quelques éléments de la théorie des graphes

Dans cette section nous présentons quelques éléments de la théorie des graphes qui nous seront nécessaires dans la suite de ce mémoire.

- **Date au plus tôt**

On appelle date au plus tôt d'une tâche j , notée t_j la date la plus hâtive à laquelle une activité peut commencer. Il s'agit de l'achèvement au plus tôt le plus tardif de toutes les activités qui la précèdent immédiatement.

- **Date au plus tard**

On appelle date au plus tard d'une tâche i , notée par T_i l'ultime date à laquelle toutes les activités antérieures à i doivent être réalisées de manière à ne pas retarder le projet.

- **Tâche critique**

Si tout retard dans l'exécution de cette tâche se répercute automatiquement (par un retard égal) dans la durée de réalisation du projet. On dit alors que cette tâche est critique.

- **Chemin critique**

C'est le chemin qui relie les tâches dont les dates au plus tôt sont égales aux dates au plus tard. Il est défini comme l'ensemble des tâches dont la marge totale est nulle.

Il est déterminé en établissant l'éventail des activités qui disposent toutes de la même marge minimale [13].

- **Une marge**

Elle est définie pour chaque tâche, comme la différence entre sa date de début au plus tard et sa date de début au plus tôt. On distingue les marges suivant :

- **Marge totale:** C'est la durée de flottement qui égale la différence entre les dates au plus tôt et les dates au plus tard d'une activité.
- **Marge libre:** Est le retard maximal sur cette activité non critique sans affecter la date au plus tôt de l'évènement final de cette activité.

II.3.6 Les méthodes d'ordonnancement

Il existe trois méthodes d'ordonnancement : Le diagramme de Gantt, la méthode MPM (Méthode des potentiels Métra), le PERT (Program Research Technic).

II.3.6.1 Le Diagramme de Gantt.

Le diagramme de Gantt est un outil permettant de modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Le principe de ce type de diagramme est de représenter au sein d'un tableau, en ligne les différentes tâches et en colonnes les unités de temps (exprimées en mois, semaines, jours, etc.). Cette méthode a été développée au début des années 1960 et elle est actuellement intégrée dans tous les logiciels de planification de projets (MS Project, Gantt Project) [13].

1. Principe

- Ce type de diagramme a été mis au point par un américain Henry Gantt.
- On représente au sein d'un tableau, en **ligne les différentes tâches** et en **colonne les unités de temps** (exprimées en mois, semaines, jours, heures...)
- La durée d'exécution d'une tâche est matérialisée par un trait au sein du diagramme.

2. Réalisation

Les différentes étapes de réalisation d'un diagramme de Gantt sont les suivantes :

- ✓ **Première étape** : On détermine les différentes tâches (ou opérations) à réaliser et leur durée.
- ✓ **Deuxième étape** : on définit les relations d'antériorité entre tâches.
- ✓ **Troisième étape** : on représente d'abord les tâches n'ayant aucune antériorité, puis les tâches dont les tâches antérieures ont déjà été représentées, et ainsi de suite...
- ✓ **Quatrième étape** : on représente par un trait parallèle en pointillé à la tâche planifiée la progression réelle du travail.

3. Avantage :

- Permet de déterminer la date de réalisation d'un projet.
- Permet d'identifier les marges existantes sur certaines tâches (avec une date de début au plus tôt et une date au plus tard).
- La date au plus tard de début d'une tâche, la date à ne pas dépasser sans retarder l'ensemble du projet.

4. Inconvénient :

- Ne résout pas tous les problèmes, en particulier si l'on doit planifier des fabrications qui viennent en concurrence pour l'utilisation de certaines ressources.

II.3.6.2 La Méthode des potentiels métra :

La méthode des potentiels a été développée vers la fin des années 50 parallèlement à la méthode PERT. Elle est appelée également la méthode MPM (Méthode des Potentiels Métra) [14] ou encore méthode des potentiels tâche [13].

Dans la méthode des potentiels métra, le problème est représenté sous forme d'un graphe tel que les tâches sont représentées par des nœuds et les contraintes de succession par des arcs. A chaque nœud sont associées une date de début au plus tôt et une date de fin au plus tard. A chaque arc est associée un délai d'attente entre les tâches. La date de début au plus tôt d'une tâche dépend de la date de fin des tâches qui la précèdent. La tâche début est

initialisée avec une date de début au plus tôt égale à zéro. Cette méthode permet de déterminer la date de réalisation d'un projet ainsi que la date de début et de fin de chaque tâche, mais elle est incapable de résoudre des problèmes qui prennent en compte plus de contraintes telles que l'incertitude et les coûts d'exécution des tâches .

1. Principe

- Les tâches sont représentées par des sommets et les contraintes de succession par des arcs.
- Chaque tâche est renseignée par la date à laquelle elle peut commencer (date au plus tôt) et celle à laquelle, elle doit se terminer (date au plus tard).
- A chaque arc est associée une valeur numérique, qui représente **soit une durée d'opération, soit un délai.**

II.3.6.3 La Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Research Task)

La méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique) s'est développée, parallèlement à la méthode du potentiel, aux Etats-Unis en 1958 pour la planification de la construction de la fusée Polaris. Elle se distingue de la méthode du potentiel par le fait que les tâches ne sont plus associées aux nœuds mais plutôt aux arcs du réseau. Le modèle PERT fait intervenir les étapes du projet et son but principal est l'étude finale de la réalisation. La méthode PERT cherche donc à déterminer la chronologie des tâches dans le temps en déterminant la date de début, la date de fin et les marges de chaque tâche par rapport au projet. Et ceci, en prenant en compte les contraintes de précédences, de délai, et une date au plus tôt et au plus tard de chaque tâche. Ainsi, cette méthode permet d'identifier les tâches critiques ce qui permet donc d'estimer une durée minimale d'un projet.[14]

2. Principe

Dans un graphe PERT :

- Chaque tâche est représentée par **un arc**, auquel on associe un chiffre entre parenthèses qui représente la durée de la tâche.
- Entre les arcs figurent des cercles appelées « Sommets » ou « Événements » qui

marquent l'aboutissement d'une ou plusieurs tâches. Ces cercles sont numérotés afin de suivre l'ordre de succession des divers événements.

3. Réalisation

Pour construire un graphe PERT, on utilise la méthode des niveaux.

- On détermine les tâches sans antécédents, qui constituent le niveau 1.
- On identifie ensuite les tâches dont les antécédents sont exclusivement du niveau
- Ces tâches constituent le niveau 2 et ainsi de suite...

Chapitre III

Etude de cas

III.1 Introduction

Dans cette chapitre on a présenté l'entreprise SONELGAZ ou on a fait le stage et choisi la pompe centrifuge pour notre étude peut-être, la pompe est la deuxième type de machines la plus utilisée, après le moteur électrique. Les pompes et les ventilateurs consomment environ le quart de l'énergie électrique générée sur la terre.

Les pompes centrifuges sont des équipements qui doivent pouvoir fonctionner longtemps et de façon fiable afin d'amortir les coûts d'investissement. Les actions de maintenance préventives réduisent les risques de panne et augmentent la durée de vie et la fiabilité des équipements.

III.2 Présentation de l'entreprise

La Centrale de Tiaret est une unité de production de l'énergie électrique. Elle est située sur l'axe TIARET – SOUGUEUR route nationale N°23. Elle est entourée par des terrains agricoles et un terrain vague. Elle est implantée à 7Km du centre-ville de TIARET

Elle est divisée en deux centrales (FIAT et ALSTHOM) et sa production globale est de 420MW.

- La centrale FIAT est composée de 04 groupes TG20B2 d'une puissance de 30MW chacun.
- La centrale ALSTHOM est composée de 03 groupes TG9001E d'une puissance 100MW chacun. Ou on a fait notre travail.

Chaque groupe est constitué de :

- 01 Pompe auxiliaire de graissage.
- 01 Pompe de secours.
- 01 Pompe H.P.
- **02 Pompes de circulation d'eau de refroidissement d'huile.**
- 02 Ventilateurs.
- 01 Moteur de virage.
- 01 Dispositif de démarrage (un moteur de lancement, un convertisseur de couple et un réducteur des auxiliaires).
- 01 Bac à huile de graissage de 12000 litres.
- 01 Bâche de reprise de 6000 litres.
- 01 Bâche de charge de 6000 litres.
- 02 Pompes de circulation d'eau de refroidissement alternateur.

- 01 Excitatrice.
- 01 Alternateur.

On a fait notre étude sur la pompe centrifuge de circulation d'eau de refroidissement d'huile.

III.3 Généralités sur les pompes

III.3.1 Définition

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide. [15]

III.3.2 Les différents types de pompes

Il existe différentes pompes qui peuvent se classer en deux grandes familles :

- Pompes volumétriques ;
- Pompes centrifuges ;

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide.

De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tan dis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges. [15]

III.3.2.1 Pompes centrifuges

Et est le type que nous allons étudier dans cette thèse, les pompes centrifuges sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute.

III.3.2.2 Description d'une pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus utilisable dans le domaine industrielle .leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc.

La pompe centrifuge la plus simple est la pompe monocellulaire à roue en porte à faux comme représentée sur la figure (III.1).

Les pompes centrifuges sont destinées à véhiculer les liquides à un débit de refoulement important avec une faible pression comparativement aux pompes volumétriques. [15]

Les principales composantes des pompes centrifuges sont les suivant :

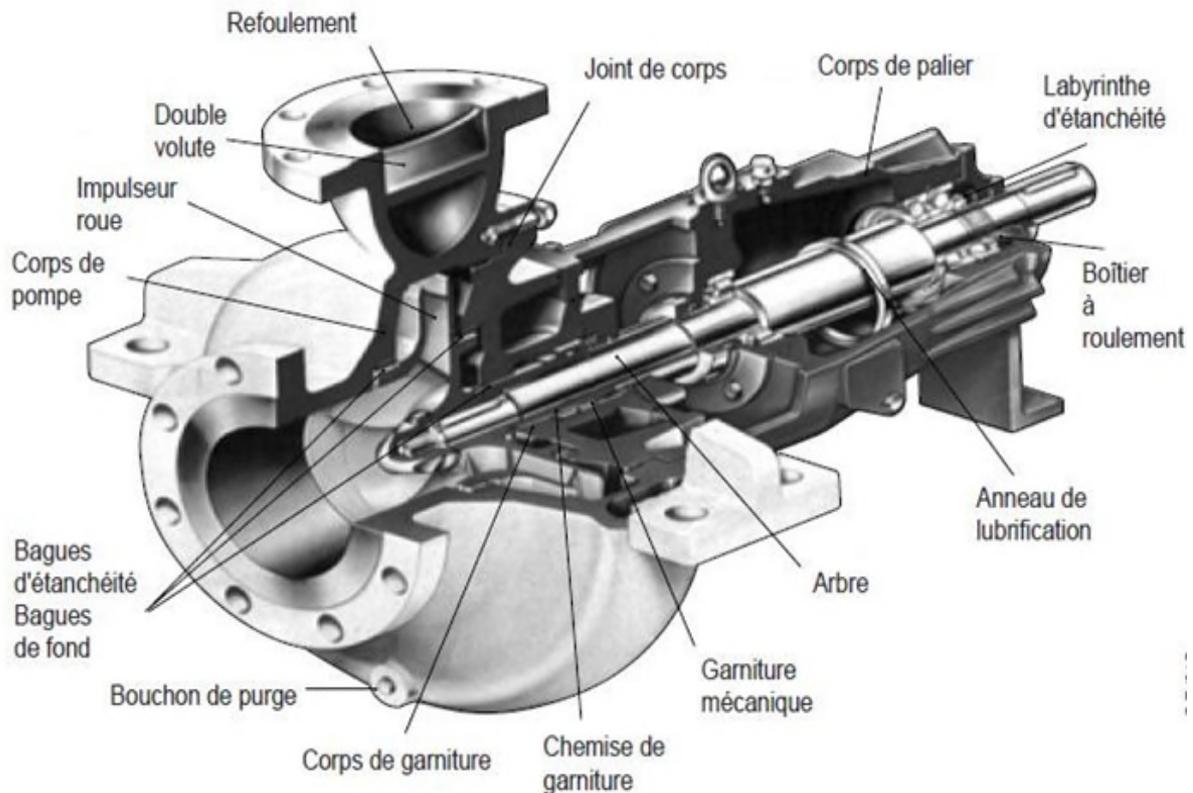


Figure III.1: pompe centrifuge monocellulaire.

III.3.2.3 Caractéristiques de la pompe

Le Tableau suivant présente les caractéristiques et conditions normales de fonctionnement de la pompe centrifuge.

Tableau III.1 : Caractéristiques de la pompe

Code de la gamme, taille et <i>version</i>	ETN 050-032-160 GB X A 10G A 2
Viscosité cinématique du fluide pompé	1.0 mm ² /s
Hauteur manométrique	34 m
Début	30 m ³ /h
Diamètre de roue	174 mm
Vitesse de rotation	2900 tr/min

III.3.2.4 Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

1. L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre de la roue par une ouverture appelée 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.

2. Le refoulement :

La roue transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique.

À 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. [15]

III.4 Fiabilité opérationnelle

III.4.1 Exploitation de l'historique

Pour assurer bien la mise en place de plan de maintenance préventive le service planification et organisation de la maintenance élaborer des fichiers historique pour chaque équipement pour la détermination de le temps de fonctionnement normal et travail sur la réduction de temps d'arrêts ; L'historique de panne (pompe centrifuge) :

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau III. 1), passe par :

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

Tableau III. 2: l'historique des pannes.

N° d'ordre	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TA (h)	TTR q(h)
1	11.06.2012	04.07.2012	552	24	1
2	04.07.2012	06.08.2012	768	24	2
3	07.08.2012	20.09.2012	1032	24	4
4	02.09.2012	01.10.2012	696	24	1
5	04.01.2015	01.03.2015	1368	24	2
6	01.03.2015	04.03.2015	72	24	1
7	01.10.2015	04.10.2015	72	24	6
8	04.10.2015	16.11.2015	1008	24	3
9	16.11.2015	13.12.2015	648	24	1
10	14.12.2015	17.12.2015	72	24	3
11	17.12.2015	13.01.2016	624	24	2

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la

méthode des ranges médians $F(t_i) = \frac{N_i - 0,3}{N_{tot} + 0,4}$

(Dans notre cas $N = 11 \leq 20$).

Après le calcul de $F(t_i)$ on calculé la fiabilité et le taux de défaillance $\lambda(t)$ par les équations suivants :

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

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)}$$

Tableau III.3: les valeurs de F(t), R(t) et $\lambda(t)$.

TBF (h)	Ni	Fi(t)	Fi(t)%	R(t)	$\lambda(t)$
72	1	0,061404	6,140351	0,938596	0,093458
72	2	0,149123	14,91228	0,850877	0,103093
72	3	0,236842	23,68421	0,763158	0,114943
552	4	0,324561	32,45614	0,675439	0,12987
624	5	0,412281	41,22807	0,587719	0,149254
648	6	0,5	50	0,5	0,175439
696	7	0,587719	58,77193	0,412281	0,212766
768	8	0,675439	67,54386	0,324561	0,27027
1008	9	0,763158	76,31579	0,236842	0,37037
1032	10	0,850877	85,08772	0,149123	0,588235
1368	11	0,938596	93,85965	0,061404	
	Ntot=11				

III.4.1.1 Calcul les indicateurs MTBF, MTTR, Di

De faire comme suite :

Exemple de calcul

$$MTBF = \frac{\sum \text{des temps de bon fonctionnement satisfaisant}}{\text{Nombre de périodes de bon fonctionnement}}$$

$$MTTR = \frac{\sum \text{des temps de réparation}}{\text{Nombre de réparation}}$$

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{NP + 1} = \frac{6912}{12} = 576h$$

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps de réparation}}{NP} = \frac{26}{11} = 2.363h$$

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{576}{576 + 2.363} = 0,996$$

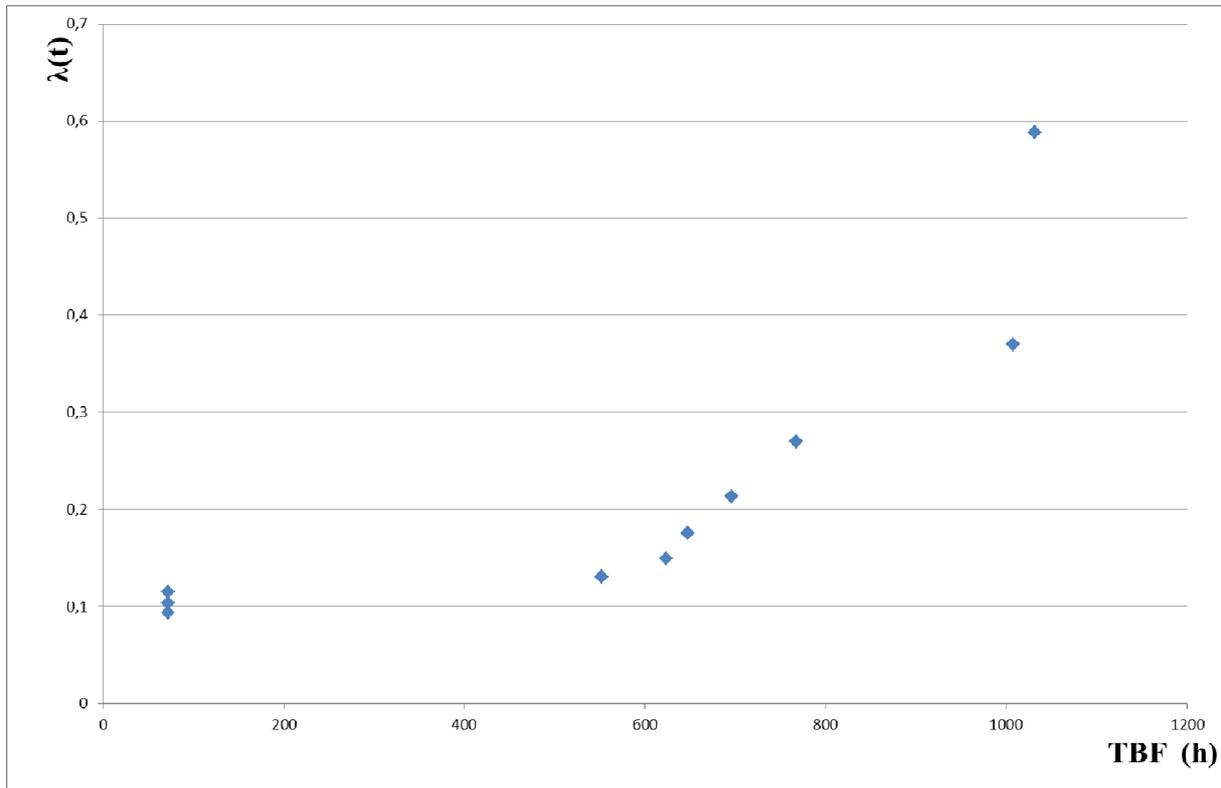


Figure III.2: La Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$.

III.4.1.2 Analyse de courbe de taux de défaillance :

Figure présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$. D'après cette figure on remarque que le taux de défaillance et croissant avec le temps.

III.5 Fiabilité prévisionnelle :

Dans cette partie on utilise la loi de weibull comme modèle pour estime une loi de fiabilité.

III.5.1 Calcul les paramètres de weibull :

Le tableau suivant présenté les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la méthode des ranges médians.

$$F(t_i) = \frac{n_i - 0,3}{N + 0,4}$$

Après le calcul de $F(t_i)$ en % nous avons porté les couples de points $t_i ; F(t_i)$ (Dans notre cas $N = 11 \leq 20$) et on trace la courbe de WeiBull :

Tableau III.4: les valeurs de F(t) et R(t) en%.

TBF(h)	F (t_i)	F (t_i)%	R(t)	R(t) %
72	0,061404	6,140351	0,938596	93,85965
72	0,149123	14,91228	0,850877	85,08772
72	0,236842	23,68421	0,763158	76,31579
552	0,324561	32,45614	0,675439	67,54386
624	0,412281	41,22807	0,587719	58,77193
648	0,5	50	0,5	50
696	0,587719	58,77193	0,412281	41,22807
768	0,675439	67,54386	0,324561	32,45614
1008	0,763158	76,31579	0,236842	23,68421
1032	0,850877	85,08772	0,149123	14,91228
1368	0,938596	93,85965	0,061404	6,140351

Papier de WEIBULL : d'après le tableau (III.4) on a tracé le graph sur papier de weibull

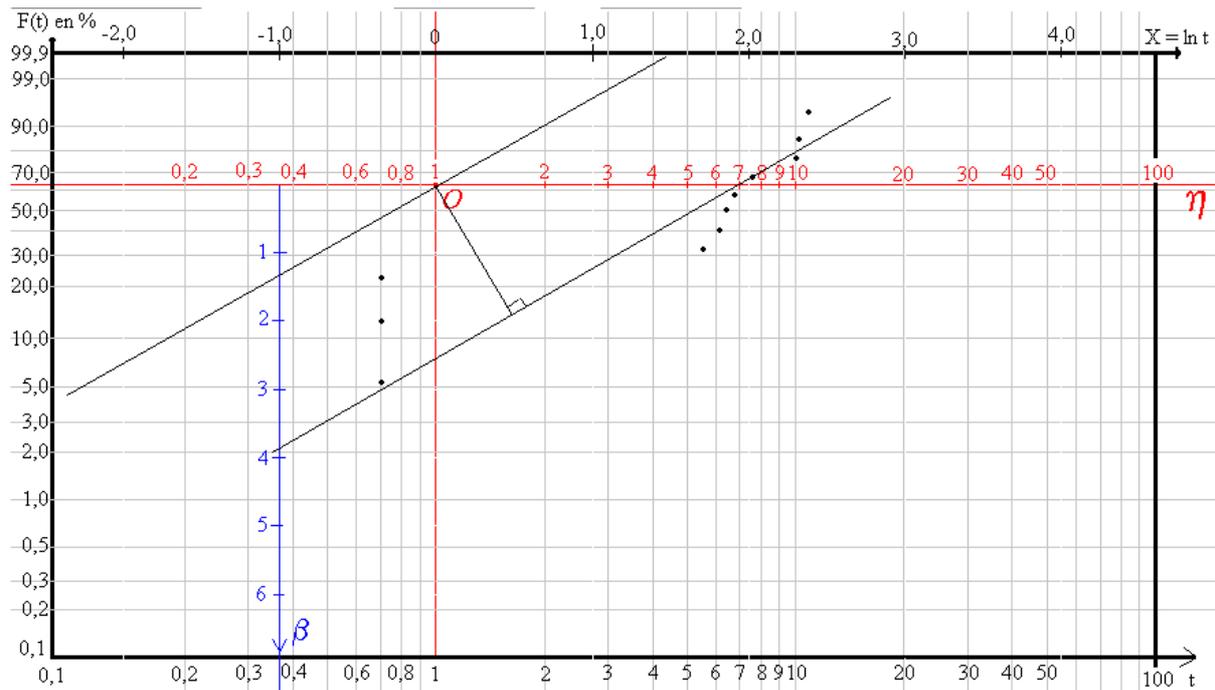


Figure III.3: Détermination graphique des paramètres de la loi de weibull.

Et en plus on a tracé le graph par logiciel Minitabe

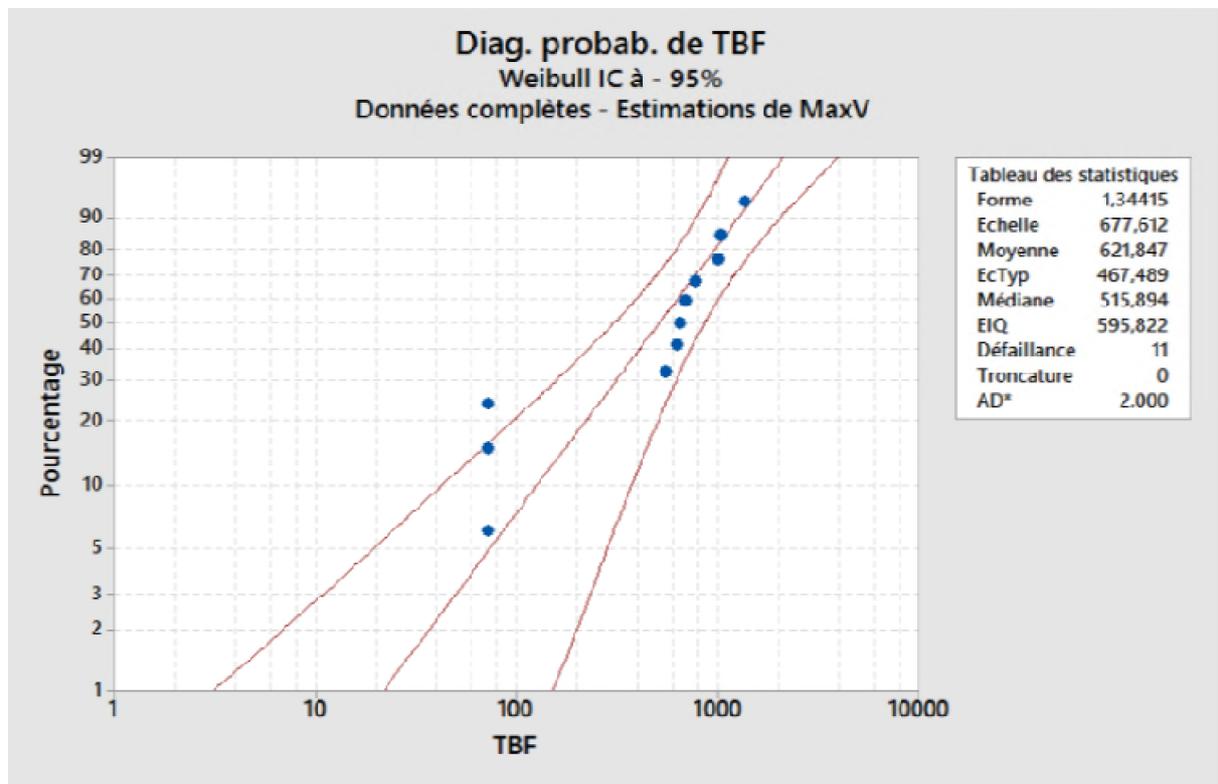


Figure III.4: Graph de wiabull par logiciel Minitabe.

A partir du papier de WEIBULL On a obtenu les valeurs suivant :

$$\eta=677.612 ; \quad \beta=1,3415 ; \quad \gamma=0$$

Exploitation des paramètres de WEIBULL

a. Le MTBF:

Le tableau de MTBF donne A= 0.9236 B=0,716 (voir annexe 2)

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

$$\text{MTBF} = 0.9236 \cdot 677.612 + 0 = 625.84\text{h}$$

$$\text{MTBF} = 625.84\text{h.}$$

b. La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t = \text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.3415}{677.612} \left(\frac{625.84}{677.612} \right)^{0.3415} \times e^{-\left(\frac{625.84}{677.612} \right)^{1.3415}}$$

$$f(t = \text{MTBF}) = 0,008 = 0.8 \%$$

c. La fonction de défaillance en fonction de MTBF

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

$$F(t = \text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{625.84}{677.612} \right)^{1.3415}} = 0.71 = 71\%$$

d. La fiabilité en fonction de MTBF

$$R(t = \text{MTBF}) = 1 - F(t = \text{MTBF}) = 1 - 0,71 = 0,29$$

$$R(\text{MTBF}) = 29\%$$

e. Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t = \text{MTBF}) = \frac{1.3415}{677.612} \left(\frac{625.84}{677.612} \right)^{0.3415} = 0.0019267 \text{panne/heure}$$

f. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.9) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = -t/\eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 677.612 \left[\ln\left(\frac{1}{0.8}\right) \right]^{1.3415} = 221.51 \text{ h}$$

Pour garder la fiabilité de pompe 80% il faut intervenir chaque temps systématique 221.51h

III.5.2 Etude de modèle de weibull

III.5.2.1 La fonction de la densité de probabilité

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

$$f(t) = R(t) \cdot \lambda(t)$$

Tableau III.5: les valeurs de f(t).

N°	TBF (h)	f(t)10 ⁻³
1	72	0.7735
2	72	0.7735
3	72	0.7735
4	552	0.5996
5	624	0,5422
6	648	0,5237
7	696	0,4880
8	768	0,4377
9	1008	0,2985
10	1032	0,2870
11	1368	0,1624

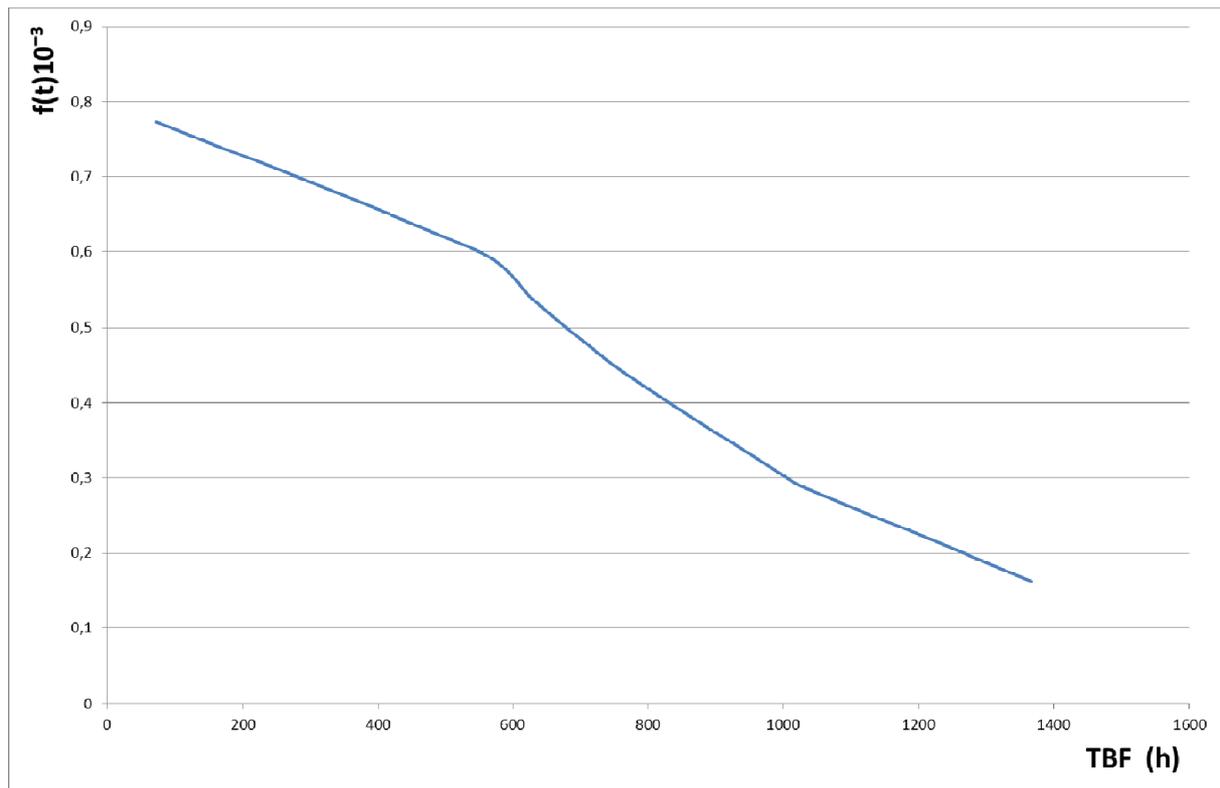


Figure III.5: La Courbe de densité de probabilité.

▪ **Analyse de la courbe :**

La figure III.5 présente l'évolution de la fonction densité de probabilité. D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) est décroissante avec le temps.

III.5.2.2 Fonction de défaillance $F(t)$

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

Tableau III.6: les valeurs de $F(t)$.

N°	TBF (h)	F(t)
1	72	0.1329
2	72	0.1329
3	72	0.1329
4	552	0.6648
5	624	0,7093
6	648	0,7228
7	696	0,7479
8	768	0,7814
9	1008	0,8641
10	1032	0,8704
11	1368	0,9334

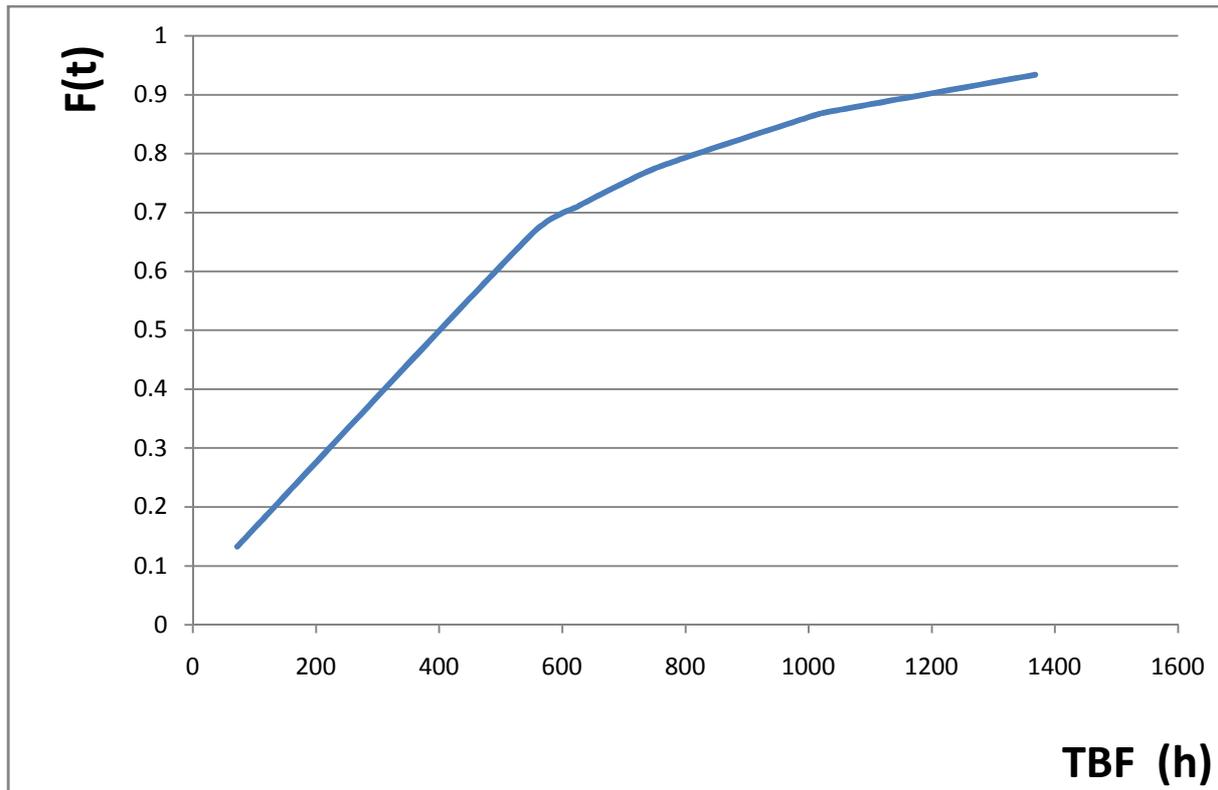


Figure III.6: La courbe de fonction répartition.

▪ **Analyse de la courbe:**

La figure III.6 présente l'évolution de la fonction répartition. Cette courbe est croissante en fonction de temps, et pour $t=MTBF$, $F(MTBF)=0,64=64\%$

III.5.2.3 La fiabilité

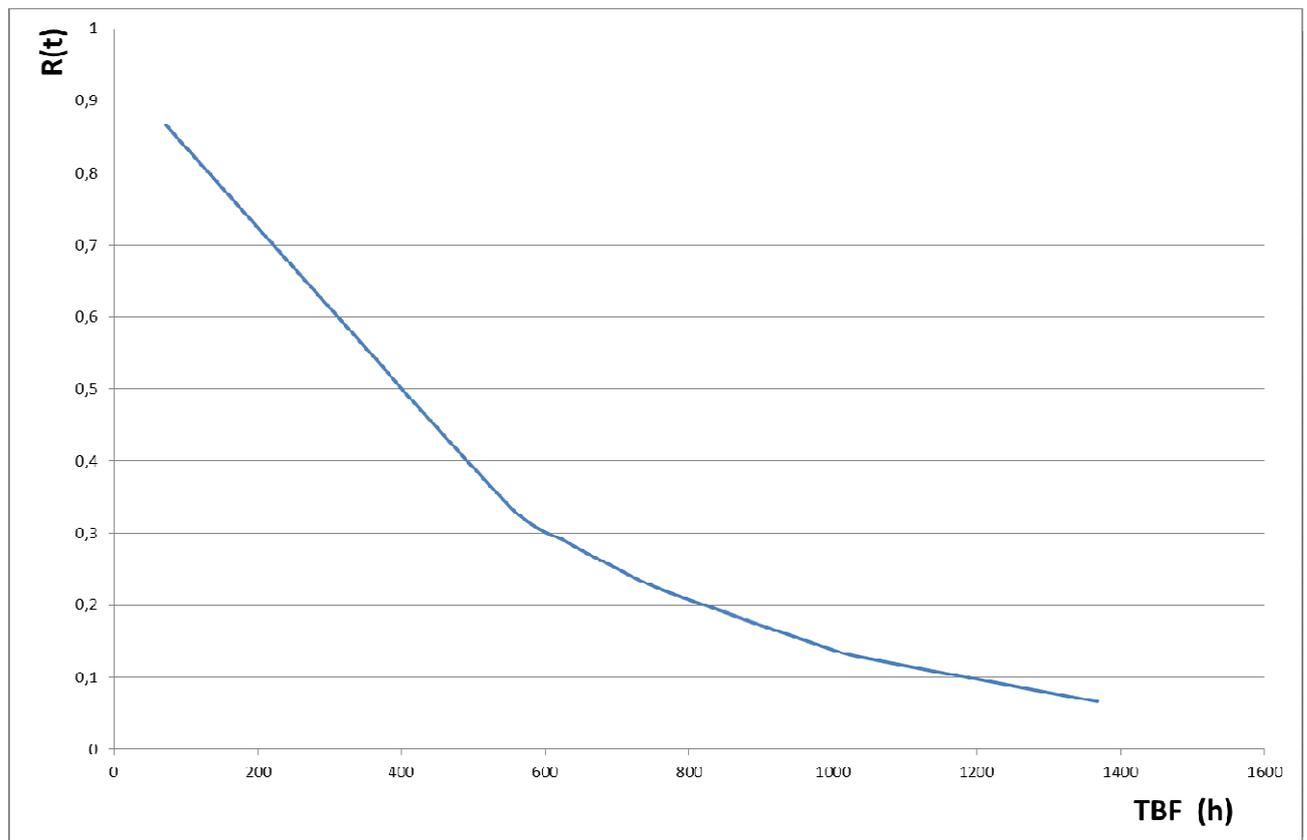
La fonction fiabilité de celle de répartition: $R(t) = 1-F(t)$, après calcul la fiabilité de pompe aux temps $t=MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la pompe n'est pas fiable à $t=MTBF$.

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

$$R(t = MTBF) = 0,66$$

Tableau III.7: Calcul de la fiabilité.

N^{\bullet}	TBF (h)	$R(t)$
1	72	0,8671
2	72	0,8671
3	72	0,8671
4	552	0,3352
5	624	0,2907
6	648	0,2772
7	696	0,2521
8	768	0,2186
9	1008	0,1359
10	1032	0,1296
11	1368	0,0666

**Figure III.7:** La Courbe de la fonction de Fiabilité.

- **Analyse de la courbe:**

Le graphe décroissant en fonction de temps ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure.

L'amélioration de la fiabilité de la pompe passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

III.5.2.4 Le taux de défaillance

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

Tableau III.8: les valeurs de taux de défaillance $\lambda(t)$.

N°	TBF (h)	$\lambda(t) \times 10^{-3}$
1	72	0,8921
2	72	0,8921
3	72	0,8921
4	552	1,7888
5	624	1,8653
6	648	1,8894
7	696	1,9361
8	768	2,0023
9	1008	2,1971
10	1032	2,2148
11	1368	2,4387

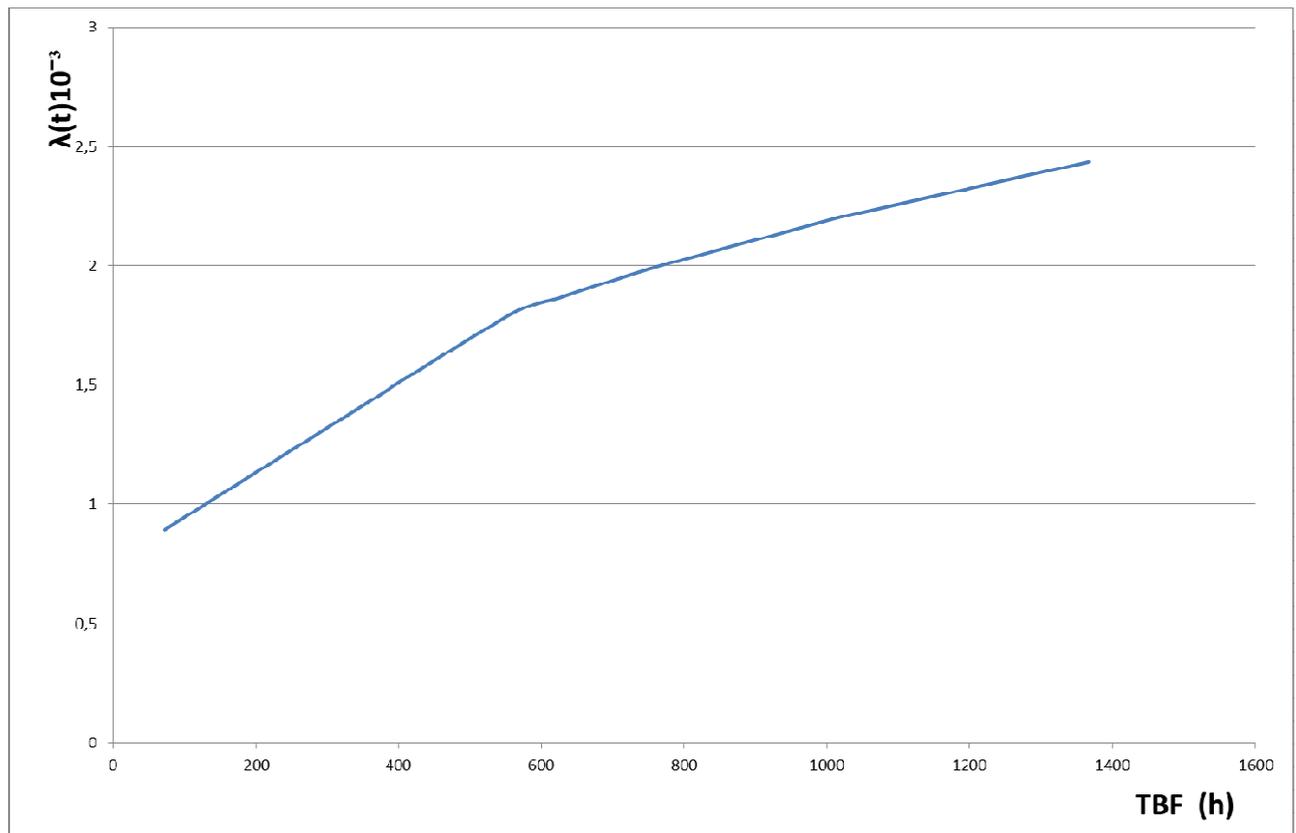


Figure III.8: La Courbe de la fonction de taux de défaillance.

- **Analyse de la courbe:**

La figure présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance. On remarque que la courbe de la fonction de taux de défaillance est décroissante en fonction de temps.

III.6 Calcul de la maintenabilité et la disponibilité de la pompe :

III.6.1 Calcul la maintenabilité de la pompe :

D'après l'historique des pannes de pompe:

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

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

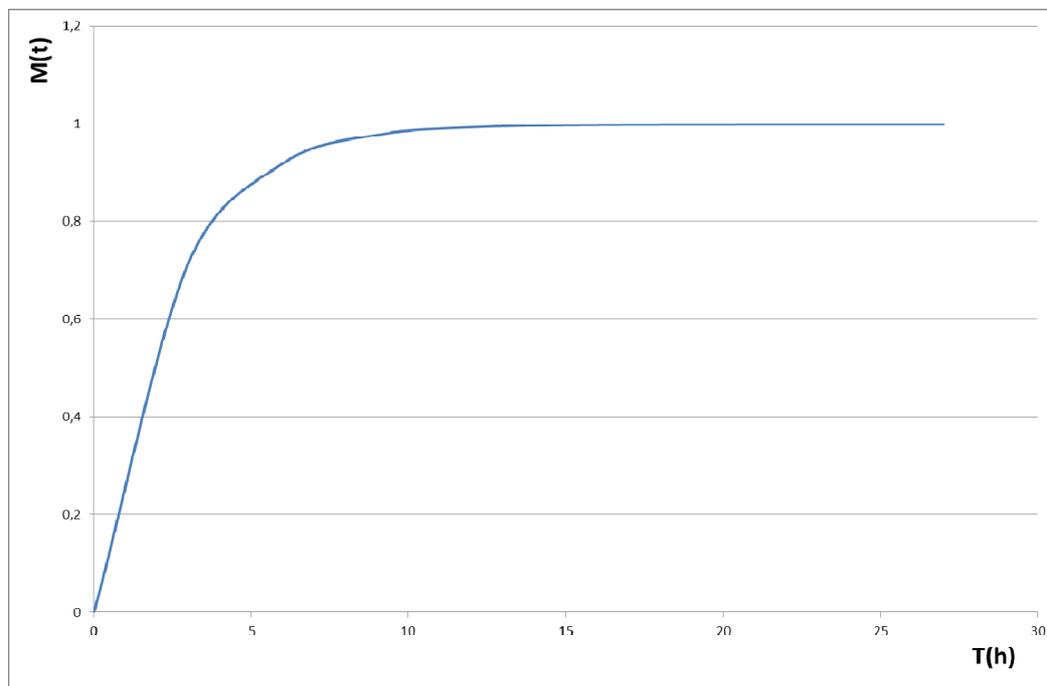
$$MTTR = 26 / 11 = 2,363 \text{ h.}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/2,363 = 0,42$ intervention / heure.

Tableau III.9: Les valeurs de la maintenabilité de pompe.

T(h)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
M(t)	0	0,7163	0,9195	0,9771	0,9935	0,9981	0,9994	0,9998	0,9999	0,9999

**Figure III.9:** La courbe de la maintenabilité.

- **Analyse de la courbe:**

La figure présente l'évolution de la fonction de maintenabilité. D'après cette figure on remarque que la Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant T=27 heures, la maintenable 99,99%.

III.6.2 Calcul la disponibilité de la pompe

- **Disponibilité intrinsèque au asymptotique**

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{576}{576 + 2.363} = 0,996$$

- **Disponibilité instantané**

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{576} = 0,42319$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{2.363} = 0,15$$

$$\mu + \lambda = 0.15 + 0,42319 = 0.5731$$

$$D(t) = \frac{0,42319}{0,5731} + \frac{0,15}{0,5731} e^{-(0,5731)t}$$

Tableau III.10: les valeurs de la disponibilité instantée.

T(h)	3	6	9	12	15	18	21	24	27
D(h)	0.7853	0.7468	0.7399	0.7387	0.7385	0.7384	0.7384	0.7384	0.7384

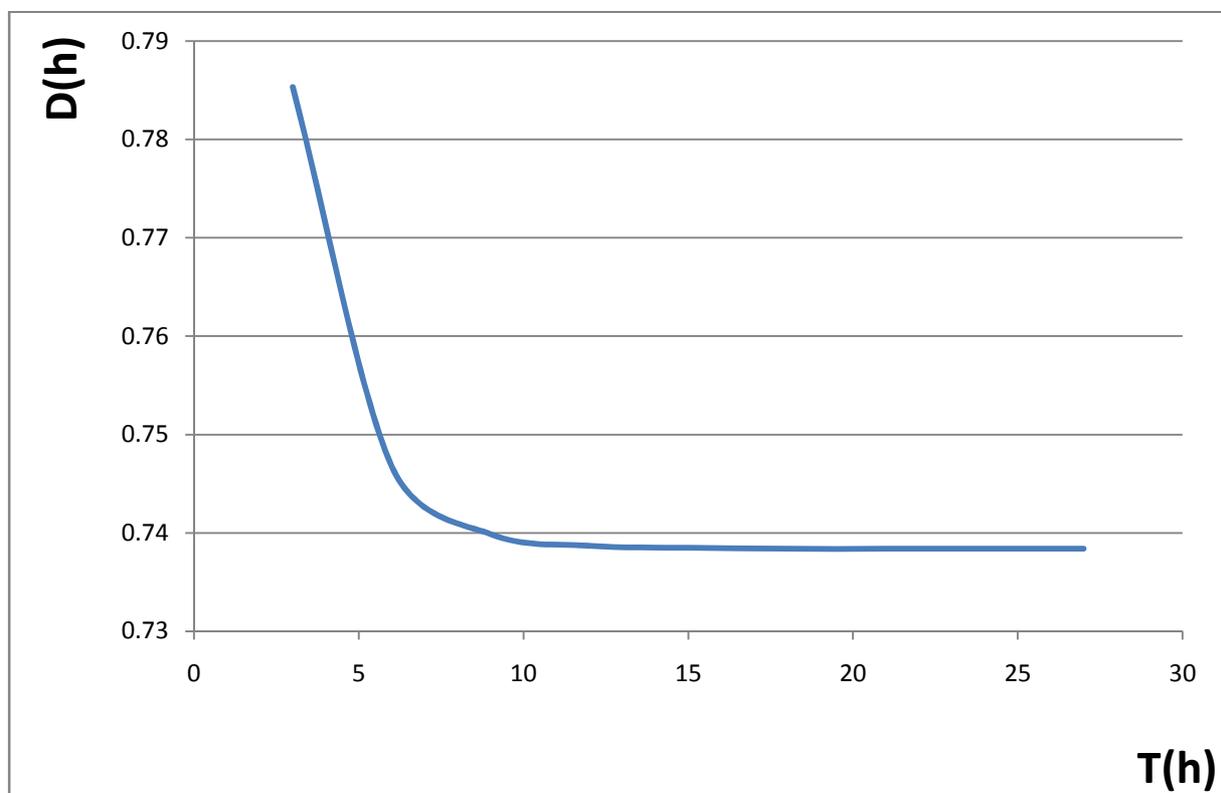


Figure III.10: La courbe de disponibilité.

- **Analyse de la courbe:**

La disponibilité est croissante en fonction de temps, donc on peut dire que la pompe est disponible, Pour augmenter la disponibilité d'une pompe consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenté sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci.

III.7 L'ordonnement des tâches

Nous allons d'abord présenter les activités sur le tableau III.11 suivantes

Tableau III.11: des tâches de manipulation.

Reps	Les tâches	Antériorité	Temps (min)		
			Pessimiste	Moyenne	Optimise
A	Dévisser l écrou ET Démonte cage de turbine	-	20	15	12
B	Dévisser l écrou ET Démonte l impulseur (Roue)	A	15	10	8
C	Enlever corps intermédiaire	B	10	5	3
D	Enlever la bague	C	10	5	3
E	Vidange	C	5	3	3
F	Dévisser l écrou ET Enlever les deux couvercles de palier	D-E	10	5	2
G	sortir l'arbre avec les roulements	F	10	5	3
H	Enlever les roulements avec la piasse	G	20	15	10

Pour représenter les conflits et par la suite l'ordonnement des tâches de maintenance on a utilisé logiciel Microsoft projet (Figure III.11)

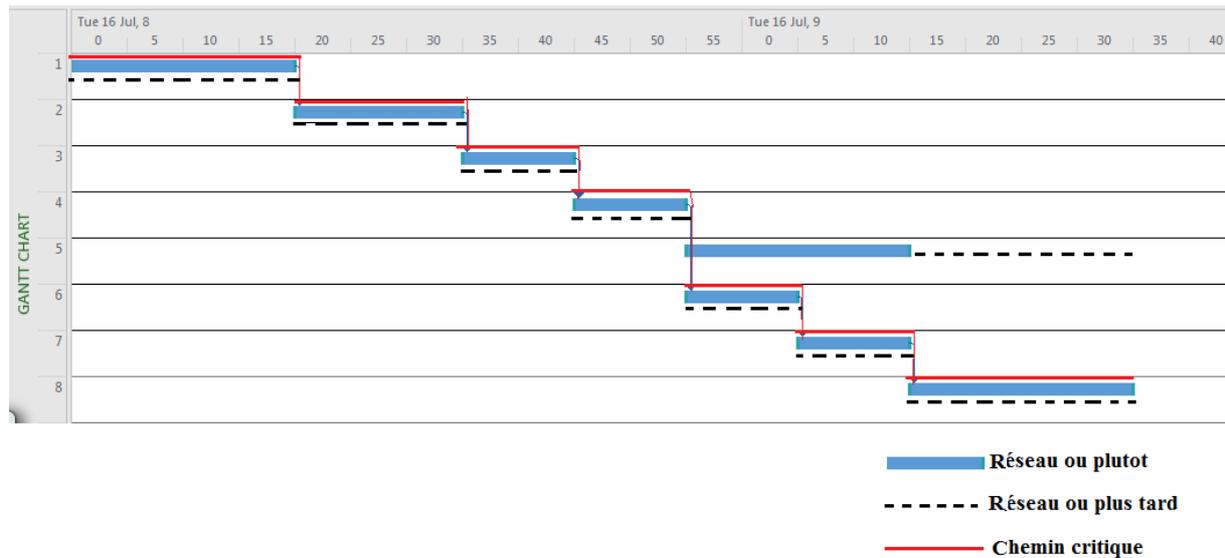


Figure III.11: Diagramme de Gant par logiciel Microsoft project.

III.8 Conclusion

L'étude de cas ayant porté sur la mise en œuvre du concept de la FMD appliquée à un four arc électrique, il a été question d'évaluer sa fiabilité opérationnelle à travers son aspect statistique en exploitant les données du fichier historique fourni par l'entreprise, en suite de prédire sa fiabilité prévisionnelle à travers son aspect probabiliste pour dégager l'expression du taux de défaillance, la fonction fiabilité et la fonction de défaillance en utilisant la loi de Weibull.

Terminer le chapitre par la programmation par « MS PROJECT » de l'ordonnancement des opérations de maintenance tout en minimisant le temps d'intervention

conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de cette étude ,je peux constater et conclure qu'il est très important de connaître la méthode de calcul de tous les équipements des pompes centrifuge avec une étude détaillée des problèmes qu'on peut rencontrer dans la roue, volute, le diffuseur et les différents éléments de la pompe tels que joints d'étanchéité tuyauterie Etc. Ainsi de connaître les comportements avec une étude détaillée de

La F.M.D qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité.

Dans un premier temps définir et d'analyser des concepts F.M.D, d'après cette analyse je peux confirmer que la disponibilité varie avec la variation de la fiabilité et de la maintenabilité, et de savoir la situation d'un équipement sur la courbe en baignoire qui veut dire connaître l'état de fonctionnement de cet équipement.

Dans un deuxième temps j'ai procédé et définis les différents composants de notre pompe, son démarrage et son principe de fonctionnement, cette définition me a faciliter le maintien de notre système et d'avoir une durée de vie maximum à l'aide des actions de sécurité qu'il faut prévoir.

Par ailleurs, mon étude pourrait être plus détaillée si un temps plus important j'ai été alloué; j'aurai pu déceler d'avantage les causes principales de la défaillance et de proposer des remèdes plus développés, en se basant sur les méthodes d'analyse, utilisé le modèle de WEIBULL, reconnu pour sa modélisation des trois phases de vie d'un équipement (jeunesse - maturité-vieillesse), Les résultats obtenus (présentés) selon notre démarche sont acceptables pour l'ordonnement des tâches de maintenance prévisionnelle et curative Par diagramme de GANTT Et peuvent aider l'entreprise à organiser ces moyens humains et matériels pour une utilisation rationnelle

On peut dire d'après l'étude que nous faites de ce mémoire que la pompe a une grande fiabilité malgré subite des défaillances pendant leur travail mais est influent sur leur bon fonctionnement dans la station de SONELGAZ

Enfin, Une étude technico- aurait été plus convaincante sur le type de maintenance recommandé, par rapport aux pertes enregistrées par ces pompes.

Dans le but d'augmenter d'avantage la production et d'améliorer la qualité et l'efficacité du service maintenance, le résultat de ce travail peut servir comme référence pour assurer

Conclusion générale

la disponibilité et améliorer la fiabilité des équipements de production.

Annexes

Annexe 01 :

Photo réel des pompes GRUNDFOS_CRN-45 (1et2)



Annexes

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	1 901	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	92,625	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	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	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	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	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	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
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] L. BENALI, « Maintenance Industrielle », Office des Publications Universitaires 09-2006.
- [2] Samuel Bassetto, Stéphane Hubac, méthode employant les connaissance d'experts, Thèse, Colloque C2EI Nancy 1-2 décembre 2004.
- [3] François MONCHY, « Maintenance : Méthodes et organisation», Édition DUNOD, 2000.
- [4] Jean Heng, « Pratique de la Maintenance préventive », édition" Dunod", Paris, 2002.
- [5] Ouahiba TEBBI, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, thèse, 09 mars 2005.
- [6] Pierre Chapouille, Fiabilité et maintenabilité. Les techniques de l'ingénieur ; traité de l'entreprise industrielle, Edition Eyrolles 1999.
- [7] Daniel RICHEL, Marc GABRIEL, Denis MALON et Gaëtan BLAISON, «Maintenance Basée sur la Fiabilité, un outil pour la certification», Édition MASSON, 1996.
- [8] Youssef HARRATH, « Contribution à l'ordonnancement conjoint de la production et de la maintenance: Applications au cas d'un JOB SHOP», Thèse de Docteur de l'université de FRANCHE-COMTE en Automatique et Informatique, 2003.
- [9] P. ESQUIROL et P. LOPEZ, « *L'ordonnancement* », Economica, 1999.
- [10] François MONCHY, « Maintenance : Méthodes et organisation», 2^{ème} édition, Édition DUNOD, 2003.
- [11] M. Nassereddine, Algorithmes de construction de graphes dans les problèmes d'ordonnancement de projet, Thèse de doctorat, Université Farhat abbas-setif ,2011.
- [12] B. Baki, Planification et ordonnancement probabilistes sous contraintes temporelles, These de doctorat, Université de CAEN/BASSE-NORMANDIE U.F.R, Novembre 2006.
- [13] C. Gray, Management de projets, Ellipses Ed.paris. Janvier 2007.
- [14] B.R et M. Dibon, l'ordonnancement par la méthode des potentiels le programme CONCORD, Automatismes, pages 1-11, fevrier 1966.

Références

[15] ENSPM Formation industrie IFP_ Training _ Ingénieure en _ Sécurité _ Industrielle –
TECHNOLOGIE ET FONCTIONNEMENT DES POMPES CENTRIFUGES19-04-2005.

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. et faire de l'ordonnancement des opérations de maintenance pour minimisant le temps d'intervention

Mots clés : pompe centrifuge, fiabilité, disponibilité, maintenabilité, l'ordonnancement.

الخلاصة

أصبحت صيانة النظم الصناعية عنصرا ضروريا لتطوير الشركات التي تسعى إلى التغلب على المزيد والمزيد من الأسواق. في دراسة الحالة الخاصة بنا ، نحن مهتمون بمضخة الطرد المركزي التي يتمثل دورها الرئيسي في زيادة ضغط السائل. سمحت لنا دراسة صيانة لأداة الإنتاج هذه واستغلال البيانات المتعلقة بالمواعيد النهائية للتدخلات التصحيحية والوقائية باستخراج مؤشرات الموثوقية وحساب الأوقات المثلى للصيانة الوقائية. جدولة عمليات الصيانة لتقليل وقت التدخل. الكلمات الرئيسية: مضخة الطرد المركزي ، الموثوقية ، التوافر ، الصيانة ، الجدولة.

Abstract

The maintenance of industrial systems has become a necessary element for the development of companies seeking to conquer more and more markets. In our case study, we are interested in the centrifugal pump whose main role is to increase the pressure of the fluid. A maintenance study of this production tool as well as the exploitation of the data relating 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. scheduling of maintenance operations to minimize intervention time

Key words: centrifugal pump, reliability, availability, maintainability, scheduling .